



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

**“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA
DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE BOMBEO DE AGUA DE RIEGO MEDIANTE
EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA CINÉTICA DEL RÍO TAHUANDO EN
LA COMUNIDAD SANTA ROSA- CANTÓN IBARRA”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN
ENERGÍAS RENOVABLES**

AUTOR:

PAOLA FERNANDA CHECA LANDETA

DIRECTOR:

ING. GRANJA RUALES JORGE EDWIN, MSC.

IBARRA - ECUADOR

Octubre, 2022



**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

**CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Ibarra, 04 de octubre del 2022

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE BOMBEO DE AGUA DE RIEGO MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA CINÉTICA DEL RÍO TAHUANDO EN LA COMUNIDAD SANTA ROSA- CANTÓN IBARRA", de autoría de la señorita Paola Fernanda Checa Landeta estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES** el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que el/la autor/a o autores ha procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencia realizadas por este tribunal.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

FIRMA

MSc. Jorge Granja Ing
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

MSc. Luis Álvarez Ing
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Biol. Renato Oquendo A MSc
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TRITULACIÓN

Misión Institucional:

Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN NRO. 001-073-CEAACES-2013-13
Buenos Aires-Ecuador

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte de manera digital para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA :	1004177505
NOMBRES Y APELLIDOS:	Paola Fernanda Checa Landeta
DIRECCIÓN:	General Pintag 11-196 y Duchicela
EMAIL:	pfchecal@utn.edu.ec paiola_fernand@utn.edu.ec
TELEFONO FIJO Y MOVIL:	062650241 0984875479

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE BOMBEO DE AGUA DE RIEGO MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA CINÉTICA DEL RÍO TAHUANDO EN LA COMUNIDAD SANTA ROSA- CANTÓN IBARRA.”
AUTOR:	Paola Fernanda Checa Landeta
FECHA:	06 de octubre del 2022
SOLO PARA TRABAJO DE TITULACIÓN	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PRESGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Energías Renovables
DIRECTOR:	MSc. Jorge Edwin Granja Ruales Ing

MISIÓN INSTITUCIONAL: Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN NRO. 001-073-CEAACES-2013-13
Ibarra-Ecuador

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 06 días del mes de octubre de 2022

EL AUTOR:

(Firma).....
Nombre: Paola Fernanda Checa Landeta

MISIÓN INSTITUCIONAL: Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme culminar la carrera y a todas las personas quienes estuvieron pendientes para se lleve a cabo la investigación.

A mi familia que me ha brindado apoyo incondicional

A la Universidad Técnica del Norte y Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales – FICAYA, quien me permitió crecer profesionalmente en compañía de mis compañeros y docentes.

Al ing. Jorge Granja, Msc. Director de trabajo de titulación, por los importantes conocimientos impartidos, el tiempo invertido al guiarme y brindarme sugerencias y comentarios lo cual me permitió llevar a cabo mis objetivos propuestos.

Al ing. Luis Álvarez, Msc. asesor de trabajo de titulación, por brindarme sus conocimientos, consejos, paciencia y estar dispuesto a que la investigación salga de la mejor manera lo cual ha sido un aporte invaluable no solamente en el desarrollo de la tesis, también me ayudó en mi formación como profesional.

DEDICATORIA

A mis abuelitos quienes fueron el pilar fundamental para poder formarme profesionalmente tanto económico y moral.

A mi hijo quien es mi motivación para poder seguir culminado mi carrera profesional.

A mis padres Elsa y Marcelo quienes estuvieron siempre para mí, al incentivarme que siga adelante cuando muchas veces me rendía.

A mis hermanos que de una u otra manera estuvieron apoyándome a culminar mis estudios.

A mis amigos que conocí en la carrera formamos un gran grupo de trabajo y logramos obtener buenos y malos momentos.

Paola Fernanda Checa Landeta

Índice de contenidos

Capítulo I	1
Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Problema de investigación y justificación	3
1.3. Pregunta directriz de la investigación	5
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo General	5
1.4.2. Objetivos Específicos.....	5
1.5. Hipótesis	5
Capítulo II.....	6
Marco teórico.....	6
1.1 Marco teórico referencial.....	6
1.1.1 Parámetros del recurso hídrico.....	6
• Ph.	6
• DBO5.	6
• DQO.	6
1.1.2 Bomba espiral	7
1.1.2.1 Tipos de bomba espiral.	7
• <i>Ruedas por encima Admisión Superior (Overshot).</i>	7
• <i>Ruedas de costado Admisión intermedia (Breastshot).</i>	7
• <i>Ruedas por debajo Admisión inferior (Undershot).</i> ..	7
1.1.3 Funcionamiento de la bomba espiral	7
1.1.4 Presión Hidrostática	8
1.1.5 <i>Partes principales de la bomba espiral</i>	9
a) Manguera enrollada.	9
b) Espiras.	9

c)	Manguera de descarga	10
d)	Articulación Hidráulica	10
e)	Boca de Entrada	10
f)	Paletas	10
g)	Radios	10
1.2	Marco legal	11
1.2.1	<i>La Constitución de la república del Ecuador</i>	11
1.2.2	<i>Plan de Creación de Oportunidades 2021 – 2025</i>	11
Capítulo III	.....	12
Metodología	.....	12
3.1	Caracterización del área de estudio.....	12
3.2	Métodos	13
3.2.1	<i>Medición de caudal</i>	13
3.2.2	<i>Dimensionamiento de la bomba espiral</i>	14
•	Potencia aprovechada del sistema de bombeo de agua	14
•	Longitud del álabe	16
•	Diámetro interior	16
•	Velocidad de la rueda	16
3.2.3	<i>Caracterización fisicoquímica de la calidad del agua</i>	17
3.2.4	<i>Modelamiento de la bomba espiral</i>	18
3.2.5	<i>Eficiencia de la bomba</i>	20
3.3	Materiales.....	21
Capítulo IV	.....	23
Resultados y discusión	.....	23
4.1	Calidad de agua.....	23
4.2	Diseño de la bomba espiral	25
4.2.1	Medición de caudal	25

4.1.2	Diseño de los componentes de la bomba	28
4.1.3	Modelado de la bomba.....	30
4.1.4	Dimensionamiento de los componentes de la bomba	31
4.2.	Construcción de la bomba espiral	32
4.2.1.	Elaboración de la bomba espira	32
4.3.	Evaluación de impulso de la rueda hidráulica a diferentes alturas	33
4.3.1	Análisis de eficiencia de la rueda hidráulica y bomba convencional	34
Capítulo V	.....	36
Conclusiones y Recomendaciones	.....	36
5.1	Conclusiones	36
5.2	Recomendaciones	36
Referencias	.....	37

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Ejemplo cálculo del caudal</i>	13
Tabla 2. <i>Longitud del álabe en base al flujo volumétrico del canal</i>	16
Tabla 3. <i>Descripción de los componentes de la bomba espiral</i>	19
Tabla 4. <i>Desglose de Equipos y materiales</i>	21
Tabla 8. <i>Muestras de pH</i>	23
Tabla 9. <i>Muestras de DBO</i>	23
Tabla 10. <i>Muestras de DQO</i>	24
Tabla 5. <i>Medición de velocidad</i>	27
Tabla 6. <i>Caudal de diseño</i>	28
Tabla 7. <i>Dimensiones de la rueda hidráulica</i>	29
Tabla 8. <i>Diferentes alturas en la aplicación de la bomba</i>	33
Tabla 9. <i>Cálculo potencia de salida</i>	34
Tabla 10. <i>Potencias del sistema de bombeo de agua</i>	35
Tabla 11. <i>Rendimiento de una bomba convencional</i>	35

Índice de figuras

Figura 1. <i>Esquema del funcionamiento de una bomba espiral</i>	8
Figura 2. <i>Análisis de presión hidrostática en bomba espiral</i>	9
Figura 3. <i>Mapa base de la zona implementación de la bomba espiral</i>	12
Figura 4. <i>Representación del diámetro interior y exterior</i>	15
Figura 5. <i>Tramo del Rio Tahuando en la parte alta de la quebrada La Quinta</i>	25
Figura 6. <i>Relación Caudal vs Precipitación</i>	26
Figura 7. <i>Modelado del canal</i>	27
Figura 8. <i>Modelado final</i>	30
Figura 9. <i>Rueda hidráulica vista central</i>	31
Figura 10. <i>Plano vista frontal de la rueda hidráulica</i>	31
Figura 11. <i>Mecanismo de torno</i>	32
Figura 12. <i>Anclaje de los componentes de la bomba</i>	32
Figura 13. <i>Obtención de la rueda hidráulica</i>	33

Índice de Anexos

Anexo 1. Plano de vista frontal de la bomba con cotas	42
Anexo 2. Plano vista lateral de la bomba.....	44
Anexo 3. Plano final de la bomba espiral	43
Anexo 4. Collage del proceso de construcción y finalización del prototipo de la rueda hidráulica	45

CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES
EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN SISTEMA DE
BOMBEO DE AGUA MEDIANTE LA ENERGÍA CINÉTICA DEL RÍO
TAHUANDO COMUNIDAD SANTA ROSA CANTÓN IBARRA

Trabajo de titulación

Resumen

En el sector agrícola es importante utilizar sistemas de riego, usualmente de difícil implementación por razones económicas o físicas; la presente investigación consistió en evaluar la eficiencia energética de una bomba espiral instalada en el río Tahuando con propósito de irrigación. El método utilizado para obtención de caudal es el método velocidad/superficie, a la vez se obtiene datos de precipitación mediante una interpolación se obtienen caudales en época seca y lluviosa. Para el dimensionamiento de la bomba se utilizó varias expresiones matemáticas que determinaron las características de cada componente, mediante el programa INVENTOR se logra visualizar el modelado de la bomba con las diferentes cotas. A partir del diseño, selección de materiales adecuados para la construcción y funcionamiento de un prototipo de bomba con una capacidad de elevar hasta 10m y con una velocidad de giro de 3 rpm; accionada mediante una rueda hidráulica de 1.14 m de diámetro y 0.45m de ancho. Adicionalmente se verificó la calidad de agua del Río Tahuando apta para la agricultura con base a los parámetros DQO, DBO y pH. El prototipo de bomba espiral presentó una eficiencia del 45% superior al 17% obtenido en una bomba convencional con un motor a diésel marca KIPOR.

Palabras clave: Bomba espiral, rueda hidráulica y eficiencia energética.

Abstract

In the agricultural sector it is important to use irrigation systems, usually difficult to implement for economic or physical reasons; the present research consisted of evaluating the energy efficiency of a spiral pump installed in the Tahuando river for irrigation purposes. The method used to obtain the flow rate is the velocity/surface method; at the same time, precipitation data is obtained through an interpolation to obtain dry and rainy season flow rates. For the sizing of the pump, several mathematical expressions were used to determine the characteristics of each component, using the INVENTOR program to visualize the modeling of the pump with the different dimensions. From the design, selection of suitable materials for the construction and operation of a pump prototype with a capacity to lift up to 10m and with a rotation speed of 3 rpm; driven by a hydraulic wheel of 1.14 m in diameter and 0.45m wide. In addition, the water quality of the Tahuando River was verified to be suitable for agriculture based on the parameters COD, BOD and pH. The prototype spiral pump had an efficiency of 45%, higher than the 17% obtained with a conventional pump with a KIPOR diesel engine.

Key words: Spiral pump, water wheel and energy efficiency.

Capítulo I

Introducción

1.1. Antecedentes

Las fuentes de energía esenciales para satisfacer la demanda energética de varios países son los combustibles fósiles en el transcurso del tiempo se crean nuevas tecnologías de extracción del petróleo, gas natural y carbón (Rodríguez, 2018); según la Organización de Naciones Unidas (2019) los gases de efecto invernadero aumentaron el 60% a nivel mundial. El futuro energético a partir de los derivados del petróleo es incierto y es oportuno incentivar nuevas alternativas para fomentar una matriz energética a partir de fuentes de energía limpia energía hidráulica, fotovoltaica, eólica, mareomotriz y biomasa, considerados como objetivos principales de cada país (Fernández, 2014). En el 2019 las energías renovables alcanzaron el 72% de la capacidad de generación y con un aumento del 33.3% al 34.7% (International Renewable Energy Agency [IRENA, 2019]).

La mayoría de los países han construido centrales hidroeléctricas y la capacidad instalada a nivel mundial es 1 189 448 MW (IRENA, 2019). La energía hidráulica es una alternativa para mitigar el cambio climático, consiste en aprovechar la energía cinética y potencial del recurso hídrico, mediante diferentes aplicaciones: obtención de electricidad, bombeo de agua para cultivos, entre otros (Ministerio de Agricultura, 2015). Existen sistemas de bombeo se utilizan en instalaciones industriales que representan el 20% del uso de energía del mundo, los motores pueden consumir entre el 25 y 50% del consumo total de electricidad de la planta (Garrido, 2016).

Durante el año 2007 en el Ecuador se creó el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) para promover las energías renovables, la energía hidroeléctrica representa el 91% de generación eléctrica total (Operador Nacional de Electricidad [CENACE, 2019]).

En el mundo el agua destinada al riego representa el 43% (UnWater, 2015), adicionalmente se utiliza bombas convencionales accionadas mediante motores eléctricos o de combustión interna con elevados costos de operación, mantenimiento y riesgos de contaminación del recurso hídrico (Bush, 2017). Sin embargo, existen otras alternativas de bombas, tipo Barsha creada en el año 1746, Zurich-Suiza conformada por una tubería espiral (Martínez & Castro, 2017); no necesita electricidad ni combustible, tampoco genera gases de efecto invernadero.

Los costos de operación con esta alternativa de bombeo se podrían ahorrar hasta el 70% del costo total de riego (Portal, 2019).

La bomba Barsha ha demostrado rentabilidad en los sistemas de riego españoles, debido a la mayor eficiencia con respecto a las bombas convencionales y al aumento de los precios de energía (agrarízate, 2017). En diferentes partes del mundo, Nepal, Indonesia, Turquía y Zambia se han instalado las bombas espirales (EcoInventos, 2019); igualmente en Guatemala, Panamá y Colombia (AQT, 2019).

Ecuador tiene una gran riqueza hidrográfica, ríos caudalosos y excelente potencial, en la época prehispánica existían grandes sistemas hidráulicos, con funciones de drenaje y riego (INEC, 2016), en la actualidad los agricultores utilizan diferentes tipos de bombas de agua, representando un costo elevado, una alternativa para bombear agua sin costos de operación, bajo mantenimiento y baja emisión de CO₂ es la bomba Barsha, (EcoInventos, 2019). El Gobierno Nacional tiene como propósito ampliar la cobertura y mejorar la eficiencia del riego, mediante el fortalecimiento de organizaciones, la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) y el Ministerio del Ambiente (MAE) brindan políticas asegurando la calidad del agua para riego, además de vigilar el cumplimiento de la normativa ambiental cubriendo el 40% y el 50% de la totalidad de los sistemas comunitarios existentes (Ganadería, 2017).

1.2. Problema de investigación y justificación

Ecuador es uno de los países ricos en recursos hídricos, sin embargo; el desconocimiento del contexto ecuatoriano no permite desarrollar instalaciones alternativas para sistemas de riego, al realizar un riego mal aplicado genera problemas: erosión o salinización de suelo, el uso de aguas contaminadas genera un problema ambiental y salud (PNAD, 2019). El 31.56% representa la superficie regada, es decir el 68.2% no tienen acceso a un sistema de riego, generando un problema importante y esto dependería su producción (INEC, 2016.).

Las actividades agrícolas familiares y campesinas son afectadas debido al alto costo económico en sistemas de regadío en bombas convencionales energizadas de combustible y electricidad, el riego fomenta condiciones de equidad social, al facilitar a dichos productores incrementar su producción garantizando localmente la soberanía alimentaria e ingresos debido al excedente productivo (PNAD, 2019).

La economía de varias provincias del Ecuador depende de la agricultura, para mejorar la eficiencia de los cultivos y la productividad de los suelos es necesario promover una cultura de regadío agrícola adecuada (Erazo, 2015). La relación entre el riego y la economía agraria local, provincial y regional son importantes para obtener sistemas de riego adecuado ayudando a afrontar la inestabilidad de la oferta de productos agropecuarios, al mismo tiempo contribuir y estabilizar los precios del mercado e incrementa de forma notable las condiciones de productividad y competitividad agrícola (PNAD, 2019).

El diseño y construcción de la bomba espiral permite impulsar el agua necesaria para los agricultores, su mantenimiento representa un costo reducido para los usuarios, la duración de los mecanismos solo dependerá del material utilizado y la energía cinética del agua (Portal, 2019). En el sector agrícola al crear un sistema de bombeo más eficiente y económico, genera mayor productividad al contar con el recurso hídrico de forma permanente desde la fuente hacia las plantaciones o almacenándolo en reservorios para su posterior uso, genera un bajo costo en mantenimiento para los usuarios depende del material utilizado y la energía cinética del agua del río o canal; además, sectores alejados con cotas superiores del nivel del agua podrán acceder a dicho recurso (Castro & Martínez, 2017).

La bomba barsha, tiene varias ventajas respecto a las bombas tradicionales: no genera gases de efecto invernadero, es capaz de bombear agua hasta 25 metros de altura, puede regar entre 0,5 a 3 hectáreas, bombea hasta 45.000 litros/día, no utiliza ningún tipo de combustible ni

electricidad para su funcionamiento, funciona las 24 horas del día y la instalación es rápida y sencilla (EcoInventos, 2019).

Existen terrenos que no están siendo utilizados, los agricultores no cuentan con los recursos económicos para adquirir sistemas de bombeo tradicionales, operación y mantenimiento (Fajardo & Quevedo, 2018), Al adquirir una bomba barsha se obtendrá una alternativa para bajar el costo de riego y generar mayor producción.

La investigación permite obtener un sistema de bombeo de agua, utilizando energía renovable con instrumentos técnicos de observación, diseño, entre otros, que serán validados y confiables, también en el ámbito socioeconómico mejorará la calidad de vida de la población al no estar expuesta a perjuicios económicos porque los costos de operación y mantenimiento disminuirán.

1.3.Pregunta directriz de la investigación

¿Se puede evaluar la eficiencia e impulsar el agua aprovechando la energía cinética del Río Tahuando en la Comunidad Santa Rosa para uso de riego?

1.4.Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar eficiencia energética de la Bomba Espiral para impulsar agua de riego del Río Tahuando en la Comunidad Santa Rosa.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Diseñar una Bomba Espiral para impulsar agua de riego del Río Tahuando en la Comunidad Santa Rosa.
- Construir una Bomba Espiral para impulsar agua de riego.
- Comparar la fiabilidad de funcionamiento del sistema de riego con las bombas convencionales.

1.5.Hipótesis

El sistema de riego impulsado con una bomba espiral es eficiente para impulsar agua desde el Río Tahuando hacia la comunidad Santa Rosa.

Capítulo II

Marco teórico

1.1 Marco teórico referencial

Este capítulo expone la información utilizada para el desarrollo de la investigación, se tomó referencias de investigaciones, artículos científicos y estudios con enfoque a los parámetros técnicos y estudio del recurso hídrico.

1.1.1 *Parámetros del recurso hídrico*

- **Caudal.** Es el volumen de agua que pasa por una sección específica en una quebrada, río o arroyo por un tiempo determinado (Piragua, 2014).
- **Calidad de agua.** Es una variable que describe al recurso hídrico, desde el punto de vista ambiental, como desde la perspectiva de la planificación y gestión hidrológica se puede ver afectado por causas naturales o por factores externos (Blanco, 2016).

Lo factores externos, es la prevención, control y resolución de los problemas derivados de la contaminación del agua formando uno de los objetivos planteados en cualquier política avanzada de gestión de recursos hídricos para describir las características físico, químicas y biológicas (Ponce, 2004).

- **Ph.** Es una medida de acidez o alcalinidad que indica la cantidad de iones de hidrógeno presentes en una solución o sustancia, puede medir en una solución acuosa utilizando una escala de valor numérico midiendo las soluciones ácidas (mayor concentración de iones de hidrógeno) y alcalinas (base, de menor concentración) de las sustancias (pH, 2020).
- **DBO5.** Es la demanda bioquímica de oxígeno que tiene el agua también es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aeróbicas o anaeróbicas), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra (Kasetsu, 2017).
- **DQO.** Representa la cantidad de oxígeno necesario para descontaminar el agua procedente de grandes ciudades, de viviendas individuales, de aguas pluviales, del alcantarillado o de fosas sépticas, entonces se podría decir que el DQO5 constituye es el parámetro clave para establecer las tasas y autorizar a una depuradora a verter sus aguas en el medio natural (Air liquede, 2016).

1.1.2 Bomba espiral

La bomba espiral es un mecanismo simple se compone de: una rueda hidráulica con un cierto número de palas y un espiral fijada a la misma rueda girando alrededor de su eje horizontal, quedando sumergido en la corriente del agua, el mismo flujo de agua mueve la rueda (Da Rocha, 2014).

Es un tipo de bomba de accionamiento hidráulico que ayuda de forma económica para aprovechar el agua de un cauce donde puede ser inaccesible extraer el agua para los cultivos debido a una serie de factores (Castro & Martínez , 2017).

1.1.2.1 Tipos de bomba espiral.

- **Ruedas por encima Admisión Superior (Overshot).** Se mueven por el peso del agua están formadas por un árbol horizontal y una serie de cajones distribuidos a la periferia del cilindro. El agua puede llenar los cajones desde el alto, o en una parte intermedia, de la rueda es llenada en el vértice o en los cajones, respectivamente (Cordova, 2006).
- **Ruedas de costado Admisión intermedia (Breastshot).** La rueda de alimentación intermedia recibe el agua hacia la altura del eje, donde los álabes son llenados de líquido hasta alcanzar el peso necesario por efecto de la gravedad impulse el giro de la rueda (Mera, 2016)
- **Ruedas por debajo Admisión inferior (Undershot).** Son ruedas que aprovechan el golpe o choque del agua que pasa por debajo del canal está instalada la rueda al pasar toda el agua choca con los álabes (Albarracín, 2012).

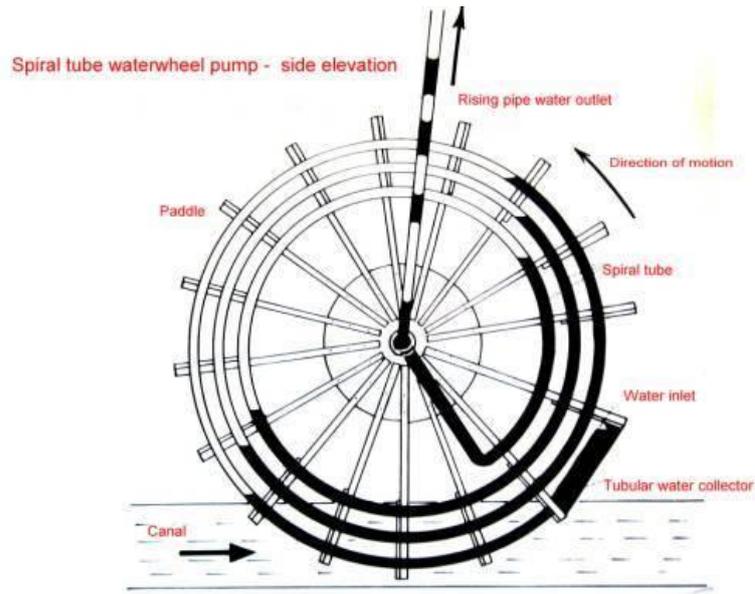
1.1.3 Funcionamiento de la bomba espiral

La bomba tipo espiral consiste fundamentalmente en una manguera enrollada al rotar ingresan por los orificios tramos de agua y aire. El aire es comprimido con el agua de cada espira y a salida se obtiene una presión logrando elevar el fluido debido a dos principios: la presión hidrostática y el empuje de la burbuja de aire (Terán 2012, p.10).

En la figura 1 representa como es el funcionamiento de la bomba al momento que empieza su movimiento cada nueva rotación, la mitad del volumen de la primera espira se llena de agua y la otra mitad de aire, al generar un movimiento constante, permite el incremento de presión, que avanza hacia el centro de la espiral para finalmente bombear el líquido a una zona superior (Barrientos, 2016).

Figura 1

Esquema del funcionamiento de una bomba espiral



Nota. Tomado de (Guitierrez & Tafur, 2019).

1.1.4 Presión Hidrostática

Es la fuerza que produce un líquido a cierta profundidad y depende del tipo de líquido, a mayor profundidad, mayor será la presión (Procuna, 2018).

$$P_{HID} = \rho g h = \left(\frac{kg}{m^3}\right) \left(\frac{m}{s^2}\right) (m) = \frac{N}{m^2} = Pascales = Pa$$

$$P_{HID} = \rho g h + P_0 \quad [1]$$

Donde:

P_{HID} = Presión hidrostática (Pa)

ρ = Densidad del fluido (kg/m^3)

g = Aceleración de la gravedad (m/s^2)

h = Altura del fluido (m)

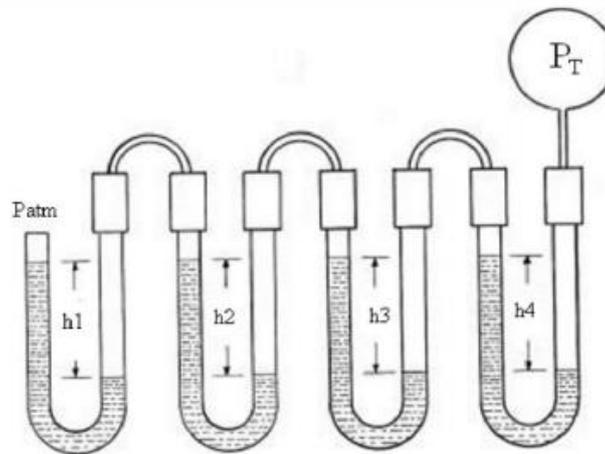
P_0 = Presión atmosférica (Pa)

Se define como un líquido o fluido en reposo, se considera una presión natural, que el líquido ejerce de manera propia, sin necesidad de aplicar una fuerza o movimiento, todos los fluidos ejercen presión hidrostática, es una fuerza natural e inevitable, al igual que la gravedad (Gori, 2019).

La presión hidrostática en la bomba espiral analizada mediante un conjunto de tubos en U conectados como representa en la figura 2, aplican todos los principios de Arquímedes y Pascal (Guitierrez et al.Tafur, 2019).

Figura 2

Análisis de presión hidrostática en bomba espiral



Nota: Tomado de (Guitierrez et al.Tafur, 2019)

En cada espira, el volumen de líquido es constante a diferencia de la altura se aumenta la presión del aire y éste se comprime, reduciéndose su volumen y relacionándose estas magnitudes por la ley de Boyle (Guitierrez et al.Tafur, 2019).

1.1.5 Partes principales de la bomba espiral

- a) **Manguera enrollada.** Es el conducto donde ingresa agua y aire alternadamente, conforme gira el dispositivo se encuentra enrollado formando una rueda (Martinez & Castro, 2017).
- b) **Espiras.** Están conformadas por cada vuelta de la manguera enrollada en forma de rueda y son colocadas a partir de la vuelta externa hasta la interna (Santamartín, 2022).

- c) **Manguera de descarga.** Es el conducto que transporta el fluido desde el eje de la bomba hasta el destino final donde se desea transportar el agua. Esta manguera no tiene movimiento y se encuentra fija en el terreno, con dirección hacia el destino que se requiera (Santamartín, 2022).
- d) **Articulación Hidráulica.** Es un elemento ubicado al centro de la rueda, también conocido como eje está formado por la manguera enrollada, su función es unir el paso del flujo desde la manguera enrollada hacia la manguera de descarga encontrándose fija hacia el que se desee (Martinez & Castro, 2017).
- e) **Boca de Entrada.** Es una abertura donde ingresan los fluidos de agua y aire alternadamente conforme gira la rueda sumergidos en el agua; está conectado al extremo de la manguera enrollada, que ayuda a captar el ingreso del agua y facilita el ingreso de la manguera (Santamartín, 2022).
- f) **Paletas.** Recibe la fuerza del movimiento del agua del río o acequia permite el giro de la rueda; es decir, aprovecha la energía cinética del agua y la trasfiere a la rueda para que ésta gire, se encuentran ubicadas alrededor de la rueda sumergiéndose al agua mientras gira la rueda (Martinez & Castro, 2017).
- g) **Radios (Estructura).** Es el soporte y anclaje de la rueda permitiendo estabilidad y seguridad mientras este en movimiento (Martinez & Castro, 2017).

1.2 Marco legal

1.2.1 La Constitución de la república del Ecuador

“El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua, indicado en el Art 413 de la constitución de la Republica del Ecuador” (Constitucion de la republica del Ecuador, 2008).

1.2.2 Plan de Creación de Oportunidades 2021 – 2025

“Mejorar la competitividad y productividad agrícola, acuicultura, pesquera e industrial, incentivando el acceso a infra estructura adecuada, insumos y uso de tecnologías modernas y limpias indica como política 3.1 en el objetivo 3 de la Secretaría Nacional de Planificación”, (Secretaria Nacional de planificación, 2021).

Capítulo III Metodología

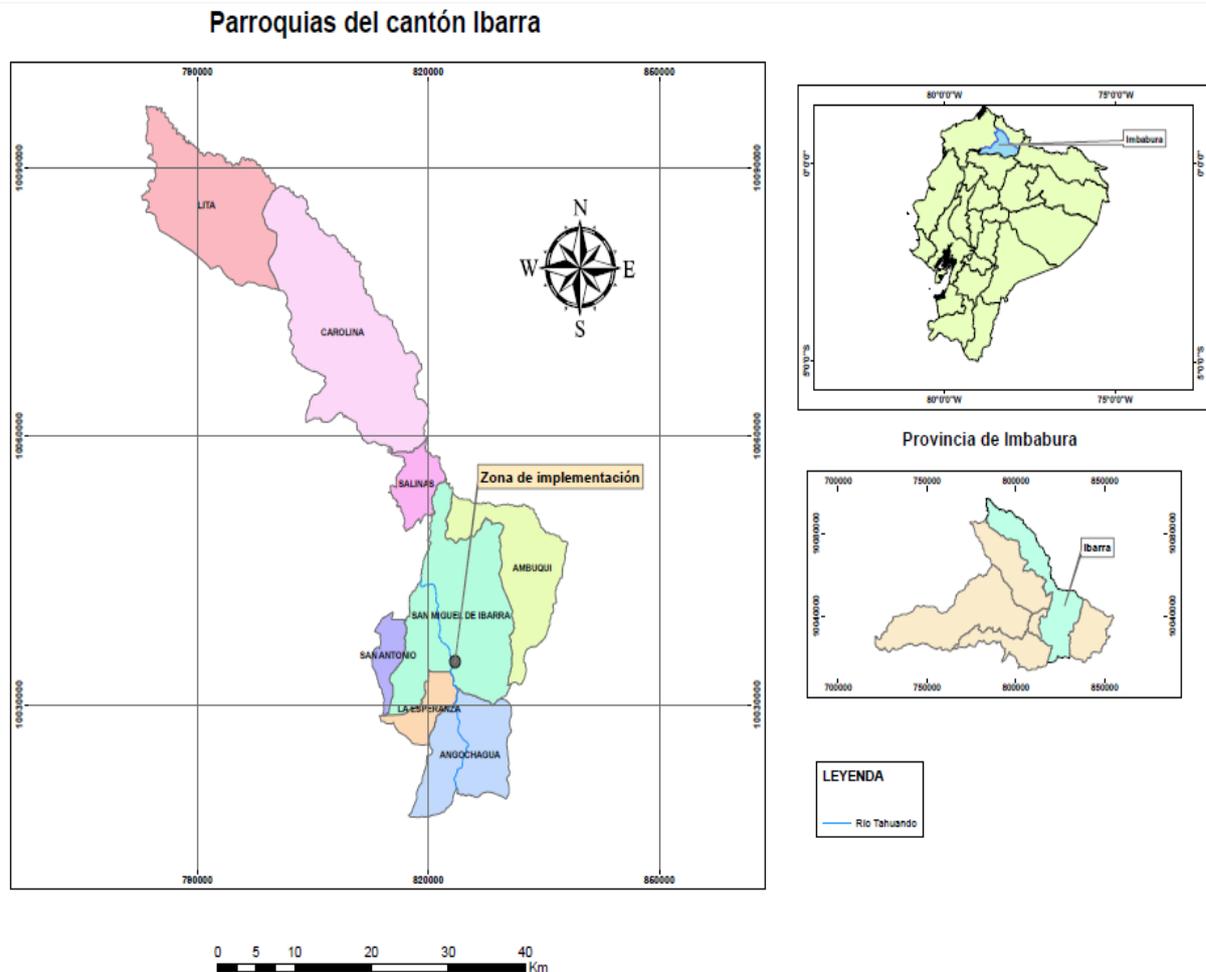
La investigación se realizó con un enfoque experimental y descriptivo, desde la caracterización del área de estudio, metodología articulada con los objetivos propuestos y procedimientos acordes al contexto local, para lograr los resultados de la investigación.

3.1 Caracterización del área de estudio

El lugar de investigación se encuentra el Río Tahuando comunidad Santa Rosa ubicado en la vía San Eduardo; parroquia San Francisco, Cantón Ibarra, provincia de Imbabura, en las coordenadas de latitud: $00^{\circ} 18' 23.7''N$ y longitud: $78^{\circ} 05' 58.6''W$. En la figura 3 representa el mapa de ubicación del área de estudio.

Figura 3

Mapa base de la zona implementación de la bomba espiral



3.2 Métodos

3.2.1 Medición de caudal

Método velocidad/ superficie: Se trata de medir la velocidad media y área de sección transversal del canal, calculándose a partir de la fórmula:

$$Q = A * V \quad [2]$$

Donde:

Q= Caudal (m³/s)

A= Área (m²)

v= velocidad (m/s)

Este método consiste en trazar e identificar franjas de igual ancho, midiendo la velocidad media correspondiente a cada franja, se calcula el caudal multiplicando la velocidad medida obtenida por la profundidad de cada franja la suma de cada franja es el caudal total de las franjas (FAO). Al calcular el caudal, se obtiene datos de precipitación del instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, logrando realizar una interpolación obteniendo el caudal en época seca y lluviosa.

En la tabla 1 muestra los caudales de las franjas seleccionadas del lugar de investigación, se logra identificar que en la franja 2 existe mayor caudal, facilitando el funcionamiento correcto del sistema de bombeo.

Tabla 1

Ejemplo cálculo del caudal

	Sección	Velocidad del caudal (m/s)			Altura (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	Caudal (m ³ /s)
		Fondo	Medio	Inicio				
Franja 1	1	0.2	0.4	0.4	0.12	6.4	0.76	0.307
	2	0.5	0.5	0.6	0.18	6.4	1.15	0.691
	3	0.2	0.5	0.7	0.16	6.4	1.02	0.71
Franja 2	1	0.1	0.1	0.0	0.11	6.0	0.66	0.06
	2	0.6	0.8	0.6	0.25	6.0	1.50	1.20
	3	0.4	0.2	0.1	0.20	6.0	1.20	0.48
Franja 3	1	0.0	0.0	0.0	0.40	7.0	2.8	0.00
	2	0.1	0.6	0.7	0.54	7.0	3.78	2.64
	3	0.0	0.0	0.0	0.14	7.0	0.98	0.00
Total								6.10

3.2.2 Dimensionamiento de la bomba espiral

El diseño considera los siguientes parámetros:

- Potencia hidráulica (P)
- Potencia aprovechada (PT)
- Diámetro interior (Di)
- Diámetro exterior (De)
- Velocidad de la rueda (N)
- Longitud del álabe u paletas (a)

Con base a (Moya & Acosta, 2021) se determina la potencia hidráulica del canal de riego del sistema de bombeo de agua se toma en cuenta la velocidad y caudal medio, para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$P = \frac{1}{2} (\rho * Q * v^2) [3]$$

Donde:

P= Potencia [Watt]

ρ = densidad $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

Q= Caudal $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

v= velocidad [m/s]

- **Potencia aprovechada del sistema de bombeo de agua**

Para obtener la potencia del sistema de bombeo de agua se debe tomar en cuenta la capacidad del canal y las espiras para ello se obtiene la siguiente fórmula:

$$ap = \frac{A2*100}{A1} [4]$$

$$PT = P * ap [5]$$

Donde:

ap = porcentaje de aprovechamiento [%]

A_2 = área alabe $[m^2]$

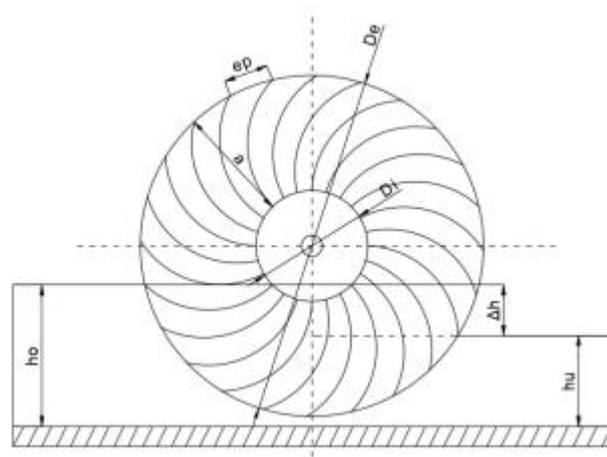
A_1 = área mojada $[m^2]$

PT = Potencia aprovechada [W]

En la figura 4 se observa el detalle de los diámetros interior y exterior de la rueda hidráulica.

Figura 4

Representación del diámetro interior y exterior



Nota. Tomado de (Moya & Acosta, 2021)

Para identificar el diámetro exterior se aplica la siguiente expresión matemática:

$$De = 2 * (\Delta h + h_0) \quad [6]$$

$$\Delta h = h_0 - h_u \quad [7]$$

Donde:

De = Diámetro exterior [m]

Δh = diferencia de alturas de agua [m]

h_0 = Altura inicial del agua [m]

h_u = Altura final del agua [m]

- **Longitud del álabe.** Para calcular la longitud del alabe es necesario conocer el diámetro exterior según los parámetros como se observa en la tabla 2.

Tabla 2

Longitud del álabe a base de flujo volumétrico del canal

$Q \leq 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$	$0.5 < Q \leq 1 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q > 1 \text{ m}^3/\text{s}$
$a = \frac{De}{6} \text{ o } \frac{De}{5}$	$a = \frac{De}{5} \text{ o } \frac{De}{4}$	$a = \frac{De}{4}$

Nota: Tomado de (Moya & Acosta, 2021)

Donde:

De = Diámetro exterior [m]

a = Longitud del álabe [m]

- **Diámetro interior.** Se calcula en base al resultado del diámetro exterior y la longitud del álabe expresada en la siguiente fórmula:

$$Di = De - (2 * a) \text{ [8]}$$

Donde

Di = Diámetro interior [m]

a = Longitud del álabe [m]

- **Velocidad de la rueda.**

$$N = \frac{u_a * 60}{\pi * De} \text{ [9]}$$

Donde:

u_a = Velocidad periférica [m/s]

De = Diámetro exterior [m]

N = Velocidad de la rueda [RPM]

- **Separación y número de espiras**

$$Z = \frac{D_e \times \pi}{ep} \quad [10]$$

$$ep = \frac{D_e \times \pi}{Z} \quad [11]$$

Donde:

Z= Número de espiras

D_e= Diámetro exterior [m]

ep= Separación de espiras[m]

3.2.3 *Caracterización fisicoquímica de la calidad del agua*

- **Metodología para determinar el DQO, DBO y pH en muestras del río Tahuando**

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) son dos análisis a nivel mundial de compuestos orgánicos en el agua brindando aproximación adecuada total de contaminantes orgánicos. Estas dos medidas son cuantificaciones indirectas del contenido orgánico del agua basadas en procesos de oxidación (Morales et al., 2019).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

De acuerdo con APHA et al., (1985), define al DQO es la medida de oxígeno equivalente al contenido de materia orgánica de una muestra susceptible de oxidación química por un oxidante químico fuerte (no necesariamente dicromato). La oxidación del dicromato logra oxidar entre el 95 y el 100% de las sustancias orgánicas durante la cuantificación del DQO. El método DQO APHA 5520 D permite la cuantificación de DQO utilizando un colorimétrico con reflujo cerrado solo se requiere un espectrofotómetro visible, volúmenes de muestra y reactivos; son sustancialmente más pequeños que con reflujo abierto, generando menos desechos peligrosos (ASTM, 2012). La presencia de concentraciones considerables de compuestos orgánicos volátiles alifáticos lineales, halógenos, nitritos y especies inorgánicas reducidas (Fe²⁺, S²⁻, Mn²⁺, entre otros.) son las principales interferencias en la detección de DQO, donde las muestras con niveles bajos de nitritos e interferencias químicas (los cloruros suelen ser los únicos presentes en la mayoría de las muestras), el método APHA 5220D requiere solo dos soluciones: la solución de digestión (dicromato de potasio) y la solución catalítica (sulfato de plata en ácido sulfúrico concentrado), si el número de cloruros es importante,

entonces se debe agregar (sulfato de mercurio a la solución de dicromato) (Colegio Nacional de Químicos Farmacéuticos Biólogos México A.C, 2002).

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

El método DBO APHA B 5210 determina midiendo el oxígeno utilizado para la degradación bioquímica de materia orgánica y oxidación de materia inorgánica presente en la muestra después de un período de incubación de 5 días a 20°C, es un análisis empírico permitiendo estimar el oxígeno consumido por los microorganismos para degradar la materia orgánica contenida en una muestra de agua (IDEAM, 2007). Las muestras de agua diluida se colocan en botellas Winkler de 300 ml, diluyéndose para garantizar una concentración residual mínima de oxígeno disuelto al final del periodo de incubación, el contenido de oxígeno disuelto remanente después de cinco días 1 mg O₂/L, y la materia orgánica en la muestra debe haber absorbido al menos 2 mg O₂/L del oxígeno contenido en la dilución del agua durante toda la prueba (Severiche et al., 2013).

- **Análisis de pH**

El método APHA 4500 para medir el pH, consta de un pHmetro con electrodo de vidrio generando una corriente eléctrica proporcional a la concentración de protones en la solución, se mide en un galvanómetro, cuya corriente se puede convertir fácilmente en unidades de pH o mV mediante diferentes procedimientos de calibración, además, el valor de pH se ve afectado por la temperatura, por lo que el medidor de pH se calibra potenciométricamente con un electrodo indicador de vidrio y una referencia electrodo (que se puede combinar en uno), utilizando estándares trazables (INTI, 2017).

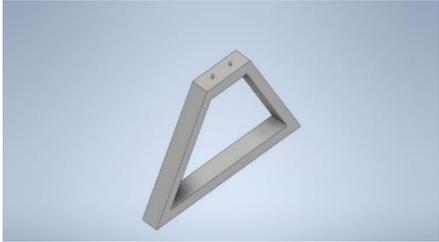
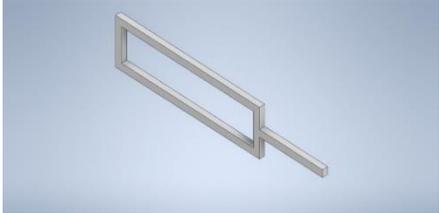
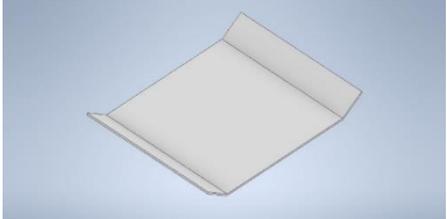
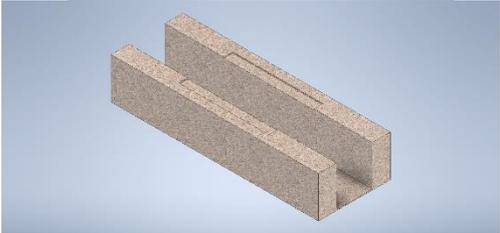
3.2.4 Modelamiento de la bomba espiral

Una vez identificado el dimensionamiento de la bomba para su previa construcción es necesario reproducir el diseño de la bomba, para ello se ha realizado un modelamiento de la bomba en el software Autodesk Inventor Professional, permite modelar, acotar los componentes y modelado final de la rueda (Garrido, 2017).

En el programa INVENTOR se visualiza los componentes del sistema de bombeo de agua, la tabla 3, detalla las piezas con los respectivos materiales.

Tabla 3

Descripción de los componentes de la bomba espiral

Denominación	Figura	Descripción
Soporte de bomba		Tiene una forma trapezoide Material: placa de hierro con dos pernos ubicados en la parte superior y tiene la finalidad de sostener al eje principal de la bomba.
Soporte de espira		Tiene una forma rectangular Material: plancha de tol galvanizado, permite el movimiento de la bomba.
Espira		Es de forma rectangular Material: plancha de tol
Eje		Es de forma cilíndrica Material: acero al carbono de una pulgada
Manguera		Enrollado de manguera de 3/4 pulgadas Material: plástico, permite el transporte del fluido
Canal		Esta construyo con cemento, tiene forma rectangular ayuda al sistema de bombeo de agua se obtiene estabilidad de la bomba.

3.2.5 Eficiencia de la bomba

El cálculo de eficiencia de la rueda hidráulica con base a las diferentes medidas de velocidad del agua en el canal y caudal impulsado por la bomba espiral, en el canal abierto mediante un objeto flotante que recorre una distancia conocida en un tiempo determinado; luego se calcula impulsando a través de la medición del tiempo del llenado un valde de veinte litros a diferentes alturas de bombeo.

Para el cálculo de la eficiencia se aplica la fórmula general:

$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} \times 100 \quad [12]$$

$$P_{salida} = \rho \times g \times Q \times h \quad [13]$$

$$P_{entrada} = \frac{1}{2} (\rho * Q * v^2) [14]$$

$$\eta = \frac{\rho * g * Q * h}{\frac{1}{2} (\rho * Q * v^2)} [15]$$

Donde:

ρ = Densidad del agua (kg/m³)

g = gravedad (m²/s)

h = altura (m)

Q = caudal (m³/s)

v = velocidad (m/s)

Una vez calculada la eficiencia de la bomba se realiza la comparación con la bomba convencional utilizando las siguientes expresiones matemáticas como se detalla a continuación:

La energía entregada corresponde a la energía deliberada por el consumo de diésel, determinada mediante la siguiente expresión matemática:

$$E_e = m_d \times C_d \quad [16]$$

Dónde

m_d corresponde a la masa del diésel en [kg]

C_d es el poder calorífico del diésel en [kJ/kg]

La energía aprovechada constituye la energía potencial adquirida por el agua transportada al reservorio, calculada mediante la siguiente fórmula:

$$E_a = m_a \times g \times h[17]$$

Donde

m_a es la masa de agua acumulada en el reservorio en [kg]

g corresponde a la gravedad en el sitio y expresada en [m/s²]

h es la altura del reservorio con respecto al nivel del canal de suministro en [m]

La eficiencia de la bomba centrífuga accionada con un motor Diesel se obtiene de la relación entre la energía aprovechada y la energía entregada expresada de la siguiente manera

$$\eta = \frac{E_a}{E_e} \times 100[18]$$

3.3 Materiales

En esta sección se describen los materiales y equipos que se utilizaron para la construcción del sistema de bombeo de agua.

En la tabla 4 se detalla los diferentes equipos y materiales que se van a utilizar para el desarrollo de la investigación:

Tabla 4

Desglose de Equipos y materiales

Materiales y equipos	Observación
Molinete	Equipo para medir la velocidad del río
Cámara fotográfica	Permite evidenciar el trabajo de investigación
Cronómetro	Permite saber el tiempo que se demora en llegar el agua al sitio de investigación.
Soldadora	Permite construir y unir los componentes de la rueda hidráulica
Platina de acero 6mm	Soporte de espiras

Eje de tubo de 1" roscable	Permite el movimiento y soporte de la rueda hidráulica
Tubo PVC 10" x 3m	Entrada de fluido construcción de embudos.
Manguera diámetro 3/4	Permite el enrollado de la rueda y el transporte del fluido
Chumaceras	Son rodamientos anclados por el mecanismo de torno
Adaptador manguera	Permite la unión con la manguera de descarga
Abrazaderas	Sujeción de la manguera
Sello mecánico	Ayuda a la nula existencia de fugas de manera eficiente, también permite separar el movimiento de la rueda de lo estático.

Capítulo IV

Resultados y discusión

4.1 Calidad de agua

En la tabla 8 se puede identificar las muestras obtenidas del lugar de investigación en el periodo de mayo – agosto, el pH promedio de 8.31 se podría decir que es ligeramente alcalino, logrando una desviación estándar de 0.22.

Tabla 8

Muestras de pH

Nro	pH	Media	Desviación estándar	Varianza
1	8.67	8.31	0.22	0.05
2	8.34			
3	8.23			
4	8.13			
5	8.18			

En la tabla 9 se obtiene el DBO5 registrando el valor promedio de 50.04 mg/L, el rango de este parámetro se ubicó entre los 45-55 mg/L en el periodo de mayo- agosto en todas las épocas evaluadas.

Tabla 9

Muestras de DBO5

Nro	DBO5 (mg/l)	Media	Desviación estándar	Varianza
1	54.11	50.04	2.67	7.13
2	49.14			
3	47.60			
4	48.10			
5	51.23			

En la tabla 10 se obtiene el DQO registrando el valor promedio de 71.44 mg/L, el rango de este parámetro se ubicó entre los 70-75 mg/L en el periodo de mayo- agosto en todas las épocas evaluadas.

Tabla 10

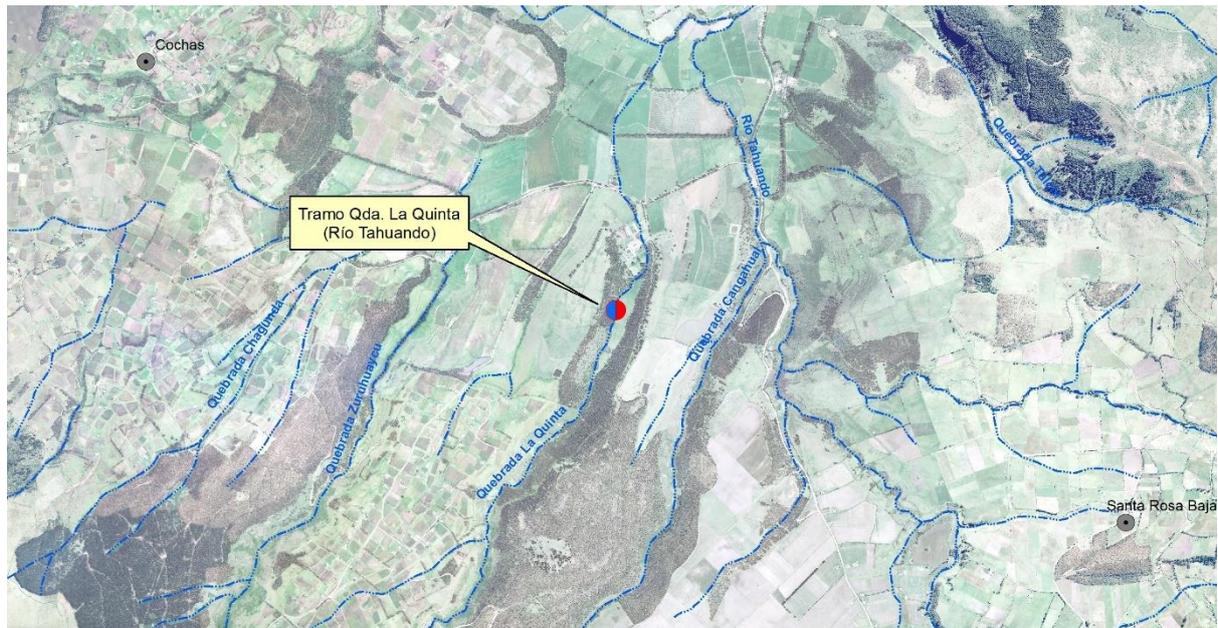
Muestras de DQO

Nro	DQO (mg/l)	Media	Desviación estándar	Varianza
1	77.30	72.04	3.49	13.60
2	70.20			
3	68.00			
4	70.5			
5	74.2			

Los análisis de calidad de agua del río Tahuando en el tramo que corresponde a la quebrada La Quinta, en una Latitud de 2960 msn (Figura 5), evidencia un pH de 8.31, DBO5 de 50.04 mg/l y del DQO de 72.04 mg/l; Según el acuerdo ministerial 097 A (Nuñez, 2015) en los parámetros de riego establece el parámetro de pH un rango normal de 6-9, evidenciado un valor admisible y apto para riego. Los resultados de DBO5 Y DQO guardan gran relación con los estudios realizados por Figueroa et al., (2013) quienes señalan que el DBO es la demanda bioquímica de oxígeno del agua, también es la cantidad de oxígeno de los microorganismos, bacterias, hongos y plancton, consumen durante la descomposición de la materia orgánica en el agua, el DBO es un proceso biológico delicado y lento, algunos valores de referencia en función del tipo del agua pueden ser: poco contaminada entre 20 - 100 mg/l. El DQO es la demanda química de oxígeno del agua, es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar químicamente sustancias orgánicas y convertirlas en CO₂ y H₂O. Entre mayor sea el DQO, más contaminada está el agua, el DQO puede estar entre 50 y 2000 mg/l, aunque puede llegar a 5000.

Figura 5

Tramo del Río Tahuando en la parte alta de la quebrada La Quinta



Nota. Tomado de Ortofoto del Proyecto SIGTIERRAS (2011)

Los análisis de calidad de agua son para verificar el estado del río Tahuando, posterior a su aplicación, el cuerpo hídrico está adecuado para riegos agrícolas.

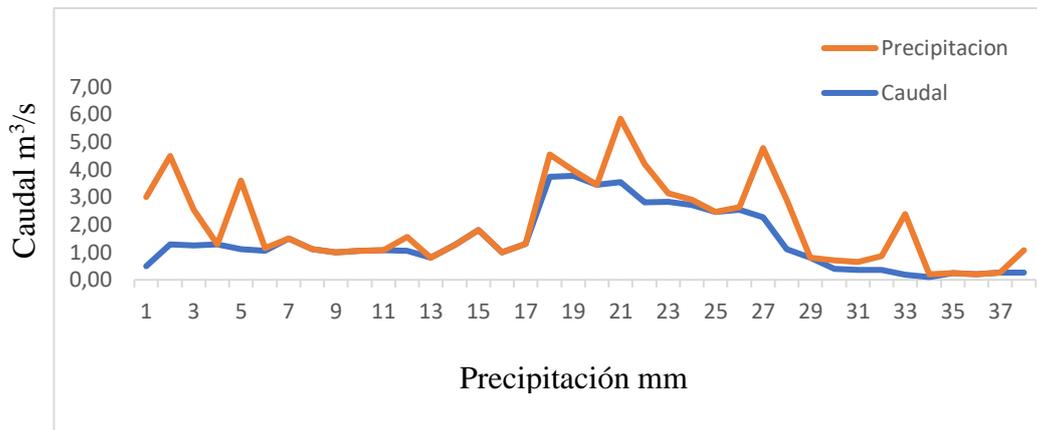
4.2 Diseño de la bomba espiral

4.2.1. Medición de caudal

En la figura 6, se visualiza la relación entre precipitación y caudal que se obtuvo por medio de una interpolación, entre mayor precipitación existe mayor caudal se obtendría.

Figura 6

Relación Caudal vs Precipitación



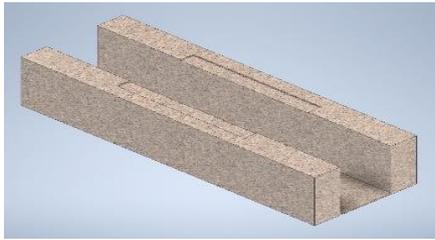
Al identificar los caudales y hacer una relación entre precipitación y caudal se determina los caudales en época lluviosa $4 \text{ m}^3/\text{s}$ y época seca $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Estos resultados son corroborados por la Organización Internacional de Normalización (2018) quien llega a determinar, medir el ancho, profundidad y la velocidad permite calcular el caudal correspondiente a cada segmento de río, la suma de los caudales de estos segmentos representa el caudal total. Según Espinoza (2016) la sección transversal se determina mediante técnicas acústicas u otras técnicas topográficas y la velocidad mediante cualquier método hidráulico flotante o basculante. Además, Sotelo (2015) indica a partir de los datos obtenidos en campo del caudal del río y los prestados por diversos institutos de meteorología de la precipitación permitirán realizar una interpolación para determinar diversos caudales.

Con base al comportamiento del caudal del río en la temporada seca y lluviosa, criterios de fácil acceso y condiciones seguras se seleccionó el sitio de implementación de la bomba espiral piloto. Para el diseño del sistema se partió de las dimensiones adecuadas del canal y disponer de un caudal de operación razonable para la investigación como se visualiza en la Figura 7.

Figura 7

Modelado del canal



En la fase de experimentación y levantamiento de datos de campo en el canal con respecto a la velocidad y caudal del agua se realizaron en las siguientes tablas 5 y 6.

Tabla 5

Medición de velocidad

Nro	m	t (s)	v (m/s)
1	3.67	5.00	0.73
2	3.67	4.00	0.92
3	3.67	3.00	1.22
4	3.67	3.00	1.22
5	3.67	3.32	1.11
6	3.67	3.84	0.96
7	3.67	3.00	1.22
8	3.67	4.00	0.92
9	3.67	4.00	0.92
10	3.67	4.50	0.82
11	3.67	4.00	0.92
12	3.67	4.90	0.75
13	3.67	3.95	0.93
14	3.67	3.95	0.93
15	3.67	3.78	0.97
16	3.67	3.58	1.03
17	3.67	3.99	0.92
18	3.67	4.57	0.80
19	3.67	3.48	1.05
20	3.67	3.94	0.93
21	3.67	3.80	0.97
22	3.67	4.86	0.76
23	3.67	3.82	0.96
24	3.67	4.00	0.92
25	3.67	3.54	1.04
26	3.67	3.52	1.04
27	3.67	3.80	0.97
28	3.67	4.09	0.90
29	3.67	4.13	0.89
30	3.67	3.62	1.01
Vmedia			0.96

Para el cálculo del caudal se determina $A= 0.09 \text{ m}^2$ y velocidad media del canal= 0.96m/s reemplaza a los valores de la ecuación [2].

Tabla 6

Caudal de diseño

Área (m^2)	Velocidad media (m/s)	Caudal de diseño (m^3/s)
Profundidad 0.17m		
Ancho 0.5m	0.96	0.08
0.09		

4.1.2 Diseño de los componentes de la bomba

Para el dimensionamiento de la rueda hidráulica se considera $Q= 0.08 \text{ m}^3/\text{s}$, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ y $V=0.96\text{m/s}$ reemplaza los valores en la ecuación [3] de la siguiente manera:

$$P = \frac{1}{2} (1000 * 0.08 * 0.96^2)$$

$$P = 37.60 \text{ W}$$

Para el aprovechamiento de la rueda hidráulica se determina $A1=0.04 \text{ m}^2$ y $A2=0.09 \text{ m}^2$, reemplazando a los valores de la ecuación [4] y [5] de la siguiente manera:

$$ap = \frac{0.04}{0.09}$$

$$ap = 49\%$$

$$PT = 37.6 \text{ W} * 49 \%$$

$$PT = 18.57 \text{ W}$$

Para determinar el diámetro exterior se establece $h_o=0.52$ y $h_u=0,05$, reemplazando a los valores de las ecuaciones [6] y [7].

$$\Delta h = 0.52 - 0.05$$

$$\Delta h = 0.47 \text{ m}$$

$$De = 2 * (0.47 + 0.05)$$

$$De = 1.14 \text{ m}$$

Para identificar el diámetro interior se considera $De = 1.14$ y la longitud del alabe según la tabla 2 $a = De/5$; $a = 1.14/5$, tiene como resultado $a = 0.28$ reemplazando valores de la ecuación [8].

$$Di = 1.14 - (2 * 0.28)$$

$$Di = 0.58 \text{ m}$$

Para determinar la velocidad de la rueda se toma en cuenta la velocidad media correspondiente al lugar de instalación del río Tahuado, $u_a = 0.96$ reemplazando valores de la ecuación [9].

$$N = \frac{0.96 * 60}{\pi * 1.14}$$

$$N = 3 \text{ rpm}$$

Al calcular la separación de las espas establece según Moya, 2021 tiene un valor de 0.45 y $De = 1.14$ al reemplazar valores de la ecuación [10] y [11]

$$Z = \frac{1.14 * \pi}{0.45}$$

$$Z = 7.95 \equiv 8 \text{ espiras}$$

Para realizar los cálculos se tomó en cuenta el caudal medio de $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$ y velocidad 0.96 m/s correspondientes al lugar de instalación que se obtiene del canal, para ello se realiza los cálculos correspondientes de las ecuaciones 3,4,5,6,7,8, 9 como se observa en la tabla 7.

Tabla 7

Dimensiones de la rueda hidráulica

Parámetros de la bomba	
Potencia	18.57 W
Diámetro exterior	1.14 m
Diámetro interior	0.58 m
Velocidad de la rueda	3 rpm
Número de álabes	8 espiras
Longitud del alabe u paletas	0.28 m

Al obtener los cálculos se determinó que el tamaño de la bomba es de 1.14m ,8 espiras y una manguera de 3/4 pulgadas.

Con base a los resultados obtenidos, están en concordancia Viejo (2017), las ruedas hidráulicas utilizan caudales entre 0.15 y 3.5 m³/s, el diámetro exterior es menor a 2 metros.

4.1.3 Modelado de la bomba

Al identificar cada uno de los componentes se obtiene el modelado final como se observa en la figura 8.

Figura 8

Modelado final



Los resultados del modelamiento son comparables por metodología realizados por Mott (2016) la rueda hidráulica deberá contar con la resistencia suficiente para resistir la fuerza del agua y la abrasión, sus componentes serán de láminas metálicas, tol para formación de los alabes, soportes y su eje de acero. Shigley & Mitchel (2014) hacen referencia al tamaño de sus materiales deben tener el menor peso posible para que sea sencilla su manipulación.

4.1.4 Dimensionamiento de los componentes de la bomba

En la figura 9 y 10 se detalla los milímetros de cada componente de la bomba.

Figura 9

Rueda hidráulica vista central

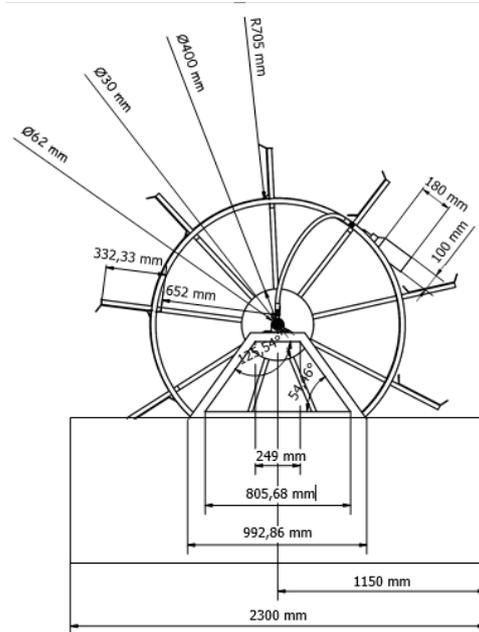
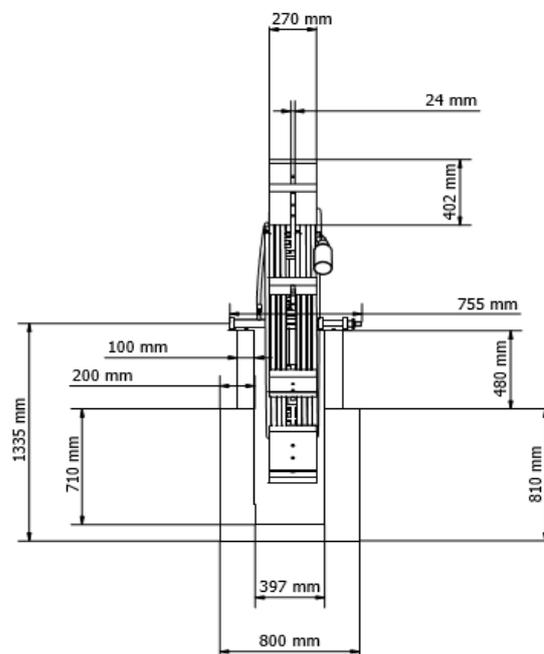


Figura 10

Plano vista frontal de la rueda hidráulica



Estos resultados, están acordes según el estudio de Mcnaughton (2015), muestra las principales dimensiones a considerar para las ruedas hidráulicas corresponden al diámetro de la rueda y pueden determinar el número de aspas necesarias, ancho de rueda y caudal de trabajo. En el estudio de Mataix (2011), señala el sobredimensionamiento del grosor de las aspas es primordial justificando la vida útil del equipo y los sitios de operación donde ocurren condiciones de corrosión y erosión, no se puede optar por espesores más pequeños del material.

4.2. Construcción de la bomba espiral

4.2.1. Elaboración de la bomba espiral

Se realiza por medio del mecanismo de torno, permite anclar las chumaceras al eje como se observa en la figura 11.

Figura 11

Mecanismo de torno



Al realizar este procedimiento permite al sistema de bombeo de agua obtener el movimiento aprovechando la energía cinética del río. Se logra realizar el acoplamiento del sello mecánico al eje.

En un taller industrial se realizó el armado de los diferentes componentes de la bomba: espiras, base y soporte de espiras por medio de soldadura como se observa en la figura 12.

Figura 12

Anclaje de los componentes de la bomba



Al armar cada componente de la bomba se realiza la colocación de 50m de manguera al interior de la rueda obteniendo un total de ocho vueltas, permitiendo el transporte de fluido al lugar del destino. En la figura 13 se visualiza el prototipo de la rueda hidráulica.

Figura 13

Obtención de la rueda hidráulica



Los resultados obtenidos son comparables al estudio realizado por Polo (2010) las espiras optan por utilizar láminas de tol, permitiendo obtener elementos relativamente rígidos, tiene menos peso y es más fácil manipular. Según Mataix (2011), demuestra algunas piezas se debe utilizar más el corte y la soldadura, el taladrado en el montaje de la base y torneado para el eje. Según Maldonado (2008) propone fijar el eje sujeto al marco de la rueda con tornillos prisioneros, para mayor nivel de torque y nivel de potencia, se nota la rigidez estructural del conjunto y no hay vibración ni deformación alguna.

4.3. Evaluación de impulso de la rueda hidráulica a diferentes alturas

Mediante la prueba de funcionamiento de la rueda hidráulica se instaló sobre un canal en el rio Tahuando comunidad Santa Rosa, realizando varias medidas de impulso de agua a diferentes alturas como se detalla en la tabla 8.

Tabla 8

Diferentes alturas en la aplicación de la bomba

Altura de descarga (m)	Rpm	Tiempo (min)	Caudal (m ³ /min)
0.90	5	2.25	1E-04
6	5	2.40	1.48E-04
10	5	3.00	1.11E-04

4.3.1 Análisis de eficiencia de la rueda hidráulica y bomba convencional

Al instalar la rueda hidráulica se realiza mediciones de caudal a diferentes alturas, luego se procede a calcular la potencia de salida considerando los valores de: $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, reemplazando valores de la expresión matemática [12]; se obtiene varios cálculos de potencia y se determina la potencia promedio de salida como se detalla en la tabla 9.

Tabla 9

Cálculo potencia de salida

Nro.	Altura	Q	P
1	6.0	1.39E-04	8.18
2	0.9	1.48E-04	1.31
3	10.0	1.11E-04	16.35
4	6.0	1.36E-04	8.01
5	0.9	1.55E-04	1.37
6	10.0	1.08E-04	15.82
7	6.0	1.33E-04	7.85
8	0.9	1.59E-04	1.40
9	10.0	1.04E-04	15.33
10	6.0	1.31E-04	7.69
11	0.9	1.45E-04	1.28
12	10.0	1.03E-04	15.09
13	6.0	1.37E-04	8.07
14	0.9	1.52E-04	1.34
15	10.0	1.01E-04	14.86
16	6.0	1.34E-04	7.91
17	0.9	1.48E-04	1.31
18	10.0	1.09E-04	16.08
19	6.0	1.39E-04	8.18
20	0.9	1.44E-04	1.27
21	10.0	1.11E-04	16.35
Pot aprovechada			8.34

Para el cálculo de la eficiencia se toma en cuenta la potencia de salida = 8.34W y potencia de entrada=18.57W según la expresión matemática [5]; reemplazando a la fórmula [15], como se detalla en la tabla 10.

Tabla 10*Potencias del sistema de bombeo de agua*

Potencia (W)	Eficiencia (%)
18.57	0.45
8.34	

En el sector Pamba hacienda sector Mascarilla se realiza una prueba de funcionamiento de una bomba centrífuga accionada por un motor diésel, marca Kipor, modelo 186f, potencia 10 HP, en la Tabla 13 sintetiza el rendimiento del equipo.

Tabla 11*Rendimiento de una bomba convencional*

Parámetro	Valor
Volumen transportado [m ³]	96.00
Densidad del agua [kg/L]	1.00
Altura [m]	80.00
Periodo [h]	4.00
Consumo de diésel [L]	15.14
Poder calórico del diésel [kJ/kg]	41800.00
Densidad del diésel [kg/L]	0.85
Energía entregada [kJ]	534759.94
Energía aprovechada [kJ]	75340.80
Potencia entregada [kW]	37.14
Potencia aprovechada [kW]	5.23
Eficiencia de la bomba-diésel [%]	14.09

Los resultados guardan relación con Svyatoslav (2011) quien argumentó que las ruedas hidráulicas tienen una eficiencia hidráulica de 30 - 40%. En cambio, Coz (2003) menciona que las eficiencias hidráulicas máximas se encuentran entre 80% y 85%, son constantes para ampliar gama de caudales y velocidades de rotación.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

- La bomba Espiral diseñada con 8 espiras, diámetro 1.14m, doble manguera de $\frac{3}{4}$ y una velocidad de giro de 3rpm es adecuado para impulsar agua a una altura de 10m con un caudal 0.13 l/s de la bomba.
- La construcción de la bomba Espiral en el contexto local es factible, con características de alta fiabilidad, fácil operación y mantenimiento.
- Al comparar la eficiencia de la bomba Espiral mediante las pruebas de funcionamiento se obtiene 45% siendo superior a la bomba convencional diésel marca KIPOR con 14%.
- Dentro de los parámetros DBO5, DQO y pH en el tramo de la quebrada La Quinta se obtuvo valores que se encuentran dentro de los límites permisibles apto para riego de cultivos.

5.2 Recomendaciones

- Realizar estudios anuales sobre el caudal medio del río Tahuando durante época seca y lluviosa, para establecer una relación con las precipitaciones registradas en la estación meteorológica de Ibarra.
- Realizar estudios sobre materiales resistentes a la corrosión y contra el vandalismo, para instalaciones remotas.
- Considerar para una instalación en general de una bomba tipo barsha criterios para facilitar el mantenimiento, mediante mecanismos de izamiento.

Referencias

- agrarízate. (29 de mayo de 2017). *Barsha, así funciona la primera bomba Hidro-Propulsada de España*. Obtenido de <https://agrarizate.com/barsha-asi-funciona-la-primera-bomba-hidro-propulsada-de-espana/>
- Air liquede. (2016). Obtenido de <https://es.airliquide.com/soluciones/tratamiento-aguas/que-es-ladgo-tratamiento-de-aguas-residuales>
- Albarracín, G. (2012). *Ruedas hidráulicas*. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1328/1/T-UTC-0921%281%29.pdf>
- AQT. (enero de 2019). *Distribuidor autorizado*. Obtenido de Lima-Perú: <http://aqtindustrial.com/wp-content/uploads/2019/01/AQT-BOMBA-BARSHA-Spanish.pdf>
- Ardila, O. (2019). *METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UN SISTEMA DE LEVANTAMIENTO DE CRUDO MEDIANTE UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO*. Obtenido de <https://repositorio.udes.edu.co/bitstream/001/1083/1/Metodolog%c3%ada%20para%20la%20evaluaci%c3%b3n%20de%20la%20eficiencia%20energ%c3%a9tica%20en%20un%20sistema%20de%20levantamiento%20de%20crudo%20mediante%20unidades%20de%20bombeo%20mec%c3%a1nico.pdf>
- Barrientos. (2016). *IRDIN BARRIENTOS ANDIA*. Obtenido de BOMBA DE AGUA DE RUEDA EN ESPIRAL: <https://irbinbarrientosandia.wordpress.com/2016/07/06/bomba-de-agua-de-rueda-en-espiral/>
- Blanco, A. (2016). *La situación Actual y problemas existentes y previsibles*. Obtenido de España: https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan%20de%20Recuperaci%C3%B3n%20del%20J%C3%BAcar/Cap.3_part2._Libro_blanco_del_agua.pdf
- Castro & Martinez . (2017). *CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE ESPIRAL PARA IMPULSAR EL AGUA DE RIEGO DEL CANAL MARGEN IZQUIERDA DEL RIO TUMBES 2017*. Obtenido de Tumbes-Perú: <http://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/UNITUMBES/321/TESIS%20-%20CASTRO%20Y%20MARTINEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castro Martinez, W. J. (2017). *CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE ESPIRAL PARA IMPULSAR EL AGUA DE RIEGO DEL CANAL MARGEN IZQUIERDA DEL RIO TUMBES 2017*. Obtenido de Tumbes- Perú: <http://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/UNITUMBES/321/TESIS%20-%20CASTRO%20Y%20MARTINEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ciencia. (26 de agosto de 2017). *Significado de Presión hidrostática*. Obtenido de <https://www.significados.com/presion-hidrostatica/>
- Constitucion de la republica del Ecuador. (2008). *Asamblea del Ecuador*. Quito, Ecuador.
- Cordova, R. (noviembre de 2006). *Diseño y construcción de un sistema ruedahidraulica bomba*.
- Ecolinventos. (05 de junio de 2019). *Bomba Barsha es capaz de bombear 45.000 litros de agua al día sin combustible*. Obtenido de <https://ecoinventos.com/bomba-agua-sin-combustible-capaz-bombear-45-000-litros-dia/>

Econoticias. (15 de junio de 2016). Obtenido de bomba Barsha, un invento que podría ser la solución para muchas familias: <https://www.ecoticias.com/tecnologia-verde/169487/bomba-Barsha-invento-solucion-muchas-familias>

Erazo, L. (15 de diciembre de 2015). *Diseño de un sistema de riego para la hacienda San Antonio ubicada en la parroquia Machachi, Cantón Mejía, Provincia d Pichincha*. Obtenido de Quito: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/4996/1/122661.pdf>

Fajardo &Quevedo, C. E. (2018). *Análisis de factibilidad para la sustitución del uso de energía térmica a energía eléctrica en las camaroneras del cantón Machala*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/31319/1/Tesis.pdf>

Figuroa, R., Araya, E., & Valdosoinos, C. (2013). *Macroinvertebrados Bentónicos como indicadores de la Calidad del Agua*. Universidad de Concepción.

Ganadería, M. d. (2017). *Plan Nacional de Riego y Drenaje*. Obtenido de <https://www.agricultura.gob.ec/el-plan-nacional-de-riego/>

Garrido, S. (2017). *DISEÑO Y ESTUDIO DE UNA BOMBA HIDRÁULICA CENTRÍFUGA MEDIANTE LA GENERACIÓN DE SU PROTOTIPO VIRTUAL*. Obtenido de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/78744/04624705A_TFM_14871580906773394668553266987220.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Gori. (12 de abril de 2019). *PRESIÓN HIDROSTÁTICA: ¿QUÉ ES Y CÓMO SE CALCULA?* Obtenido de Centro Estudios Cervantinos: <https://www.centroestudioscervantinos.es/presion-hidrostatica/>

Gutierrez & Tafur, D. J. (2019). *DISEÑO DE UNA BOMBA TIPO ESPIRAL PARA IRRIGACIÓN DE CULTIVOS DEL CENTRO*. Obtenido de Pimentel-Perú: <http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/6401/Gutierrez%20Camargo%20%26%20Tafur%20Naquiche.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gutierrez et al.Tafur, D. J. (2019). *DISEÑO DE UNA BOMBA TIPO ESPIRAL PARA IRRIGACIÓN DE CULTIVOS DEL CENTRO*. Obtenido de Pimentel-Perú: <http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/6401/Gutierrez%20Camargo%20%26%20Tafur%20Naquiche.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

INEC. (2016). *Módulo Ambiental de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Informacion_ambiental_en_la_agricultura/2016/informe_ejecutivo_ESPAC_2016.pdf

Kasetsu, N. (20 de noviembre de 2017). *DBO y DQO caracterización de agas residuales*. Obtenido de <https://nihonkasetsu.com/es/dbo-y-dqo-para-caracterizar-aguas-residuales/>

Martinez & Castro. (2017). *CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE ESPIRAL PARA IMPULSAR EL AGUA DE RIEGO DEL CANAL MARGEN IZQUIERDA DEL RIO TUMBES 2017*. Obtenido de Tumbes-Perú: <http://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/UNITUMBES/321/TESIS%20-%20CASTRO%20Y%20MARTINEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Martinez & Castro, W. J. (2017). *CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE ESPIRAL PARA IMPULSAR EL AGUA DE RIEGO DEL CANAL MARGEN IZQUIERDA DEL RIO TUMBES 2017*. Obtenido de Tumbes-Perú:

<http://repositorio.untumbes.edu.pe/bitstream/handle/UNITUMBES/321/TESIS%20-%20CASTRO%20Y%20MARTINEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mera, C. (diciembre de 2016). *GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA HASTA 1000 WATTS CON EL EMPLEO DE UN SISTEMA HIDRÁULICO PARA UTILIZAR EN UNA VIVIENDA DEL CANTÓN LAGOAGRIO*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13282/3/UPS-KT00130.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2015). *Acuerdo Ministerial No. 097-A*.

Morillo, J. (2016). *CORRESPONDENCIA ENTRE INDICADORES FÍSICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS PARA EL MONITOREO SISTEMÁTICO DE LA CONTAMINACIÓN EN EL RÍO TAHUANDO*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7680/1/PG%20560%20TESIS.pdf>

Moya & Acosta, A. R. (febrero de 2021). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA UTILIZANDO ENERGÍA HIDRÁULICA DE CANALES DE RIEGO*. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32147/1/Tesis%20I.%20M.%20620%20-%20Acosta%20Pe%20C3%B1a%20Alex%20Inicio%20y%20Moya%20Cepeda%20Ra%20C3%BAI%20Alfredo.pdf>

Nuñez, L. T. (30 de julio de 2015). *Ministra del Ambiente*. Obtenido de Acuerdo ministerial 097A: http://www.quitoambiente.gob.ec/images/Secretaria_Ambiente/Documentos/calidad_ambiental/normativas/acuerdo_ministerial_97a.pdf

Ortofotografía del Proyecto SIGTIERRAS (2011)

pH. (21 de enero de 2020). Obtenido de <https://www.significados.com/ph/>

Piragua. (Medellín Colombia de 2014). *Manual Piraguero*. Obtenido de Medición del caudal: http://www.piraguacorantioquia.com.co/wp-content/uploads/2016/11/3.Manual_Medici%C3%B3n_de_Caudal.pdf

PNAD. (2019). *Plan Nacional de Agua y Drenaje*. Obtenido de <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2019/12/PNRD-2019-2027.pdf>

Ponce, C. (2004). *Un indicador global para la calidad del agua. Aplicación a las aguas superficiales de la comunidad de Valencia*. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35972606/845-254-156_6-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1634860686&Signature=cOxJ6p2US-KXBa0eoEuiu08yJmWzmt6A7NLeTA1he5XNQVisibSbt1oyQqqE7tXXndAHqNr41APmDG1Cv7KVvAnh1T7Qp9FcSGeMPtHPI9AZUs-0mYSgBeE5uwC6LwEylpFUs71g4dgggy

Portilla. (2016). *DESARROLLO SUSTENTABLE TURÍSTICO Y AMBIENTAL: “EL CASO DEL RÍO TAHUANDO EN SU TRAMO URBANO”, PARA CONOCER EL ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL ENTORNO, CIUDAD DE IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA, 2015*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6328/1/PG%20472%20TRABAJO%20GRADO.pdf>

Santamartín, A. (2022). *Diseño y construcción de un prototipo de bomba Barsha*. Obtenido de <file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/bomba%20de%20loja.pdf>

Secretaria Nacional de planificación. (2021). *Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025*. Obtenido de Quito,Ecuador: <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/09/Plan-de-Creacio%CC%81n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado.pdf>

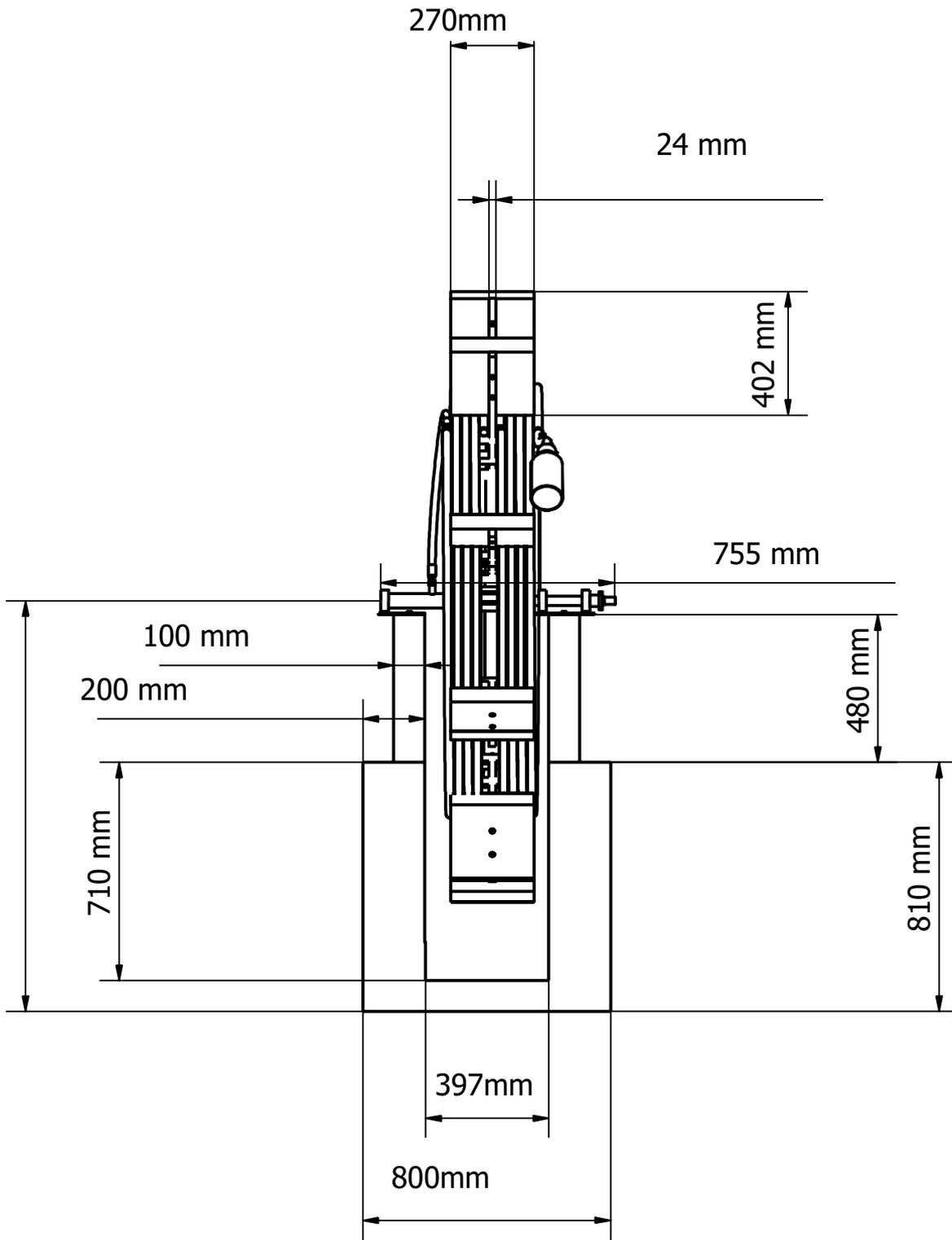
Senplades. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo Toda una vida*. Obtenido de Quito-Ecuador: www.planificacion.gob.ec

Tafur&Gutierrez, D. J. (2019). *DISEÑO DE UNA BOMBA TIPO ESPIRAL PARA IRRIGACIÓN DE CULTIVOS DEL CENTRO POBLADO LA CRIA – LAMBAYEQUE*. Obtenido de Perú: <http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/6401/Gutierrez%20Camargo%20%26%20Tafur%20Naquiche.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Terán, M. (2012). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para bombas de espiral*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/5118/1/T-ESPE-033100.pdf>

Anexos

Anexo 1. Plano de vista frontal de la bomba con cotas



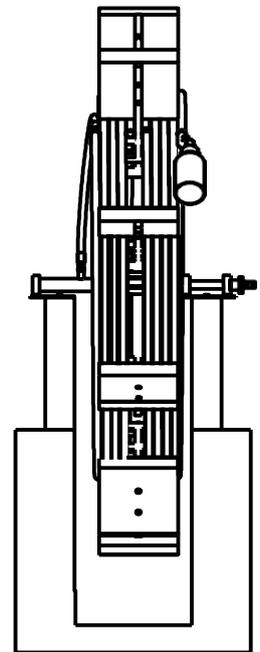
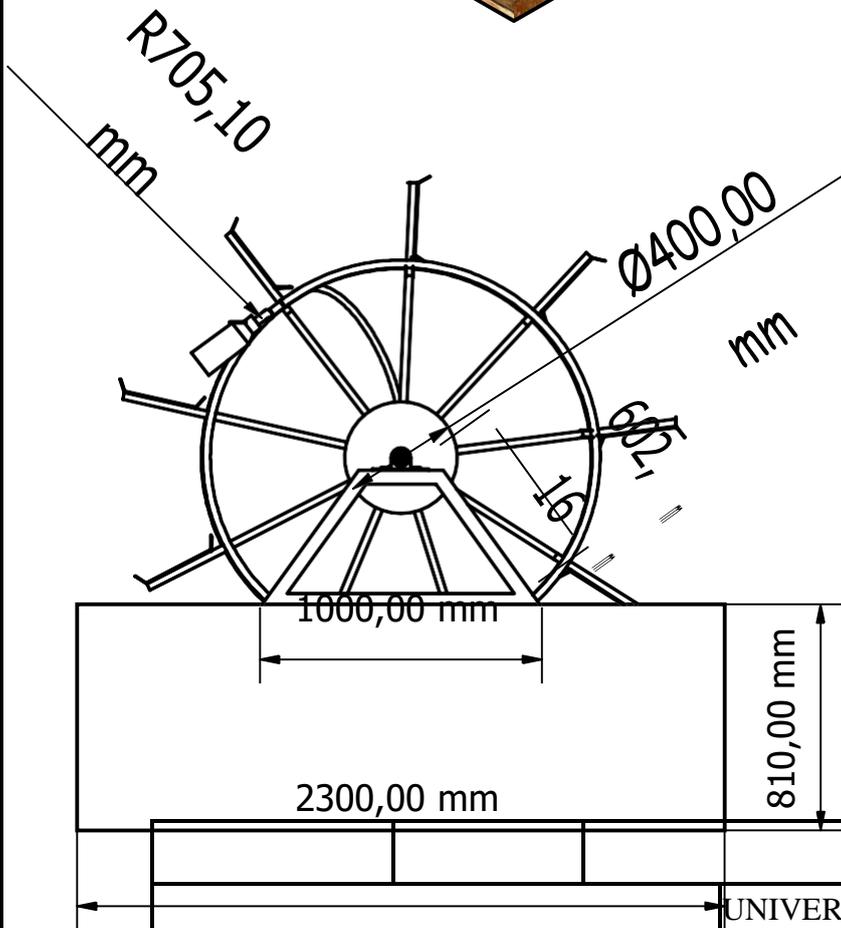
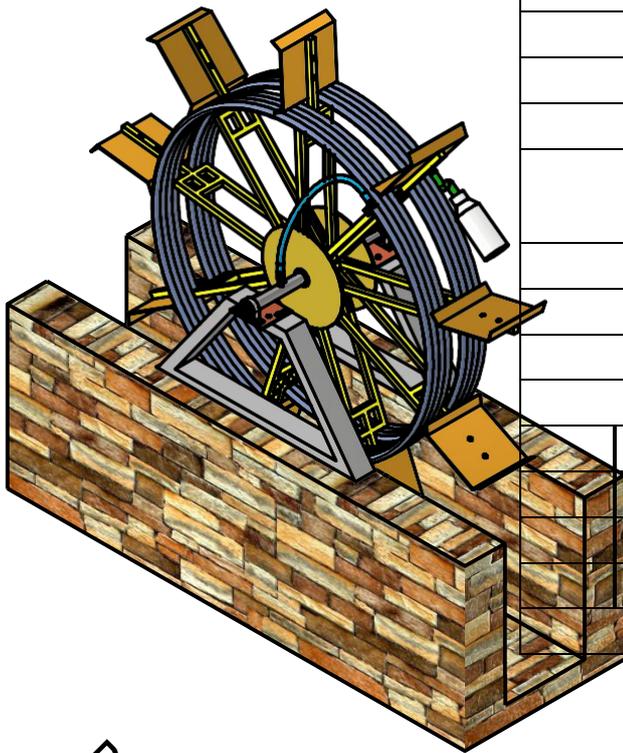
Diseño de Paola	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
Plano de la vista frontal de la bomba con acotaciones			UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE		
			BOMBA_E_FINAL-1		43

Anexo 2. Plano vista lateral de la bomba

Anexo 3. Plano final de la bomba espiral

LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Canal
2	2	estructura
3	1	Base_Sello_mecánico
4	3	Chumacera
5	1	base de chumaseras
6	3	BS 292: Pieza 1 - QJ 206 - 30 x 62 x 16
7	1	Eje
8	2	Disco
9	9	Soporte aspa
10	2	manguera_2
11	1	Conducto 01
12	9	Aspa 2
13	1	embudo_F
14	1	Acople_embudo
15	1	Empalme



Diseño de
Paola Checa

Revisado por

Aprobado por

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BOMBA_E_FINAL

Edición

Hoja

2 / 2

Anexo 4. Collage del proceso de construcción y finalización del prototipo de la rueda hidráulica

