

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



DOCTORADO EN CIENCIAS

**MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS
NATURALES**

TESIS

Efectividad del Sistema de Bombeo con Ariete Hidráulico en la Zona
Rural de La Provincia de San Pablo – Cajamarca.

Para optar el Grado Académico de

DOCTOR EN CIENCIAS

Presentada por:

DENIS JAVIER ARANGURÍ CAYETANO

Asesor:

Dra. ROSA LLIQUE MONDRAGÓN

CAJAMARCA, PERÚ

2018

COPYRIGHT © 2018 by
DENIS JAVIER ARANGURÍ CAYETANO
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



DOCTORADO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

TESIS APROBADA:

Efectividad del Sistema de Bombeo con Ariete Hidráulico en la
Zona Rural de La Provincia de San Pablo – Cajamarca.

Para optar el Grado Académico de

DOCTOR EN CIENCIAS

Presentada por:

DENIS JAVIER ARANGURÍ CAYETANO

Comité Científico

Dra. Rosa Llique Mondragón
Asesor

Dr. Edín Alva Plasencia
Miembro de Comité Científico

Dr. Héctor Gamarra Ortiz
Miembro de Comité Científico

Dr. Teófilo Severino Torrel Pajares
Miembro de Comité Científico

Cajamarca - Perú

2018



Universidad Nacional de Cajamarca

Escuela de Pos Grado

CAJAMARCA - PERU

PROGRAMA DE DOCTORADO

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

DOCTORADO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Siendo las ocho de la mañana del día lunes veintiuno de mayo del año dos mil dieciocho, reunidos en el auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el Dr. Teófilo Severino Torrel Pajares; Dr. Edín Alva Plasencia, Dr. Héctor Gamarra Ortiz, como integrantes del jurado titular; y en calidad de Asesora, la Dra. Rosa Llique Mondragón. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado y el Reglamento del Programa de Doctorado de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la SUSTENTACIÓN de la tesis titulada: **EFFECTIVIDAD DEL SISTEMA DE BOMBEO CON ARIETE HIDRÁULICO EN LA ZONA RURAL DE LA PROVINCIA DE SAN PABLO – CAJAMARCA**; presentada por el M.Cs. DENIS JAVIER ARANGURÍ CAYETANO con la finalidad de optar el Grado Académico de **DOCTOR EN CIENCIAS**, Mención **GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó ~~..... APROBAR.....~~ con la calificación de ~~..... Satisfactorio (17) - Excelente.....~~ la mencionada Tesis; en tal virtud, el M.Cs. DENIS JAVIER ARANGURÍ CAYETANO está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **DOCTOR EN CIENCIAS**, Mención **GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**.

Siendo las ~~9:00~~ horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
Dr. Edín Alva Plasencia
Jurado Evaluador


.....
Dr. Héctor Gamarra Ortiz
Jurado Evaluador


.....
Dr. Teófilo Severino Torrel Pajares
Presidente Jurado Evaluador

DEDICATORIA

A:

Mi Esposa Violeta y Mis Hijos, Adrián y Gianella; que son el motor e impulso para seguir adelante día a día, por su amor, por su incondicional apoyo y motivación constante para concluir con éxito mis estudios de doctorado, por ser los pilares en mi vida para ser cada día mejor esposo, mejor padre y mejor profesional; su cuota de sacrificio fue mi fuente de energía para poder llegar a este momento.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la oportunidad de llegar a este momento tan importante en esta etapa de formación profesional, por darme salud, fuerza y conocimiento para lograr mis metas y cumplir mis sueños.

A Mis Padres, por haber hecho de mí la persona que soy en la actualidad y que muchos de mis logros se los debo a ellos; que siempre me han apoyado en cada momento, por su sacrificio de haberme dado la gran oportunidad de tener una educación digna, además de enseñarme buenos valores y un ejemplo de vida a seguir.

A Mi Esposa e Hijos, por formar parte de mi vida, por estar siempre conmigo llenando mi vida de alegrías y amor cuando más lo he necesitado y que son la motivación más grande que impulsa mi deseo de superación.

A Mi Asesora, Dra. Rosa Llique Mondragón, quien siempre me brindó su asesoría y apoyo incondicional para el desarrollo del presente trabajo.

A la Institución Soluciones Prácticas ITDG, por su colaboración y aporte, el cual fue determinante para la ejecución y desarrollo de la tesis.

CONTENIDO

Ítem	Página
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
CONTENIDO	vii
LISTA DE ILUSTRACIONES	ix
GLOSARIO	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del Problema	2
1.2. Formulación del Problema.....	3
1.3. Justificación de la Investigación	3
1.4. Alcances y Limitaciones	4
1.5. Hipótesis de la Investigación	5
1.6. Objetivos de la Investigación.....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO	6
2.1. Antecedentes.....	6
2.2. Bases Teóricas	9
2.2.1. Fenómeno del golpe de ariete hidráulico	9
2.2.2. Bomba de ariete hidráulico	11
2.2.3. Principio de funcionamiento de la bomba de ariete	14
2.2.4. Bombas de ariete hidráulico en serie y paralelo.....	17
2.2.5. Bombas de ariete hidráulico multigolpe	19
2.2.6. Selección de la bomba de ariete hidráulico.....	20
2.2.7. Montaje de la bomba de ariete hidráulico.....	21

2.2.8. Aplicaciones de la bomba de ariete hidráulico.....	23
2.2.9. Modelo matemático para el diseño del ariete hidráulico	23
2.2.10. Rendimiento del Ariete Hidráulico	28
CAPÍTULO III: DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	30
3.1. Población, muestra, unidad de análisis y unidad de observación	31
3.2. Técnicas e instrumentos de recopilación de información	33
3.3. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	33
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
4.1. Resultados experimentales de la bomba de ariete.....	34
4.2. Análisis técnico económico de la bomba de ariete	48
4.3. Análisis Social	57
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
5.1. Conclusiones	60
5.2. Recomendaciones	61
LISTA DE REFERENCIAS	62
ANEXO I: Arietes Hidráulicos Comerciales	66
ANEXO II: Matriz de consistencia metodológica	70
ANEXO III: Datos obtenidos de las pruebas realizadas a la bomba de ariete	71
ANEXO IV: Presupuesto total de la bomba de ariete	74
ANEXO V: Evaluación Económica de las alternativas, bomba de ariete-motobomba ..	75
ANEXO VI: Encuesta – Percepción del poblador	76
ANEXO VII: Resultados obtenidos de la aplicación del cuestionario	77
ANEXO VIII: Fotografías del sitio de estudio	78

LISTA DE ILUSTRACIONES

Figuras

1.	Sobrepresión generada por el golpe de ariete.....	10
2.	Onda de presión en el cierre instantáneo de una válvula	11
3.	Bomba de ariete y sus partes	12
4.	Esquema general del sistema de bombeo con ariete hidráulico	12
5.	Partes importantes en el funcionamiento de la bomba de ariete	14
6.	Inicio del ciclo de la bomba de ariete	15
7.	Efecto de la presión dinámica en la bomba.....	15
8.	Sobrepresión en la válvula de admisión.....	16
9.	Etapa de descarga de agua.....	16
10.	Bombas de ariete hidráulico en serie	18
11.	Bombas de ariete hidráulico en paralelo	19
12.	Bombas de ariete hidráulico multigolpe	20
13.	Rendimiento energético del ariete hidráulico.....	28
14.	Relación caudal de alimentación y diámetro del tubo	29
15.	Bomba de ariete utilizado para las pruebas y sistema de bombeo.....	35
16.	Vista lateral de la instalación del sistema de bombeo con ariete hidráulico	36
17.	Efecto de la altura de salida (descarga) h en la bomba de ariete	38
18.	Comportamiento de la bomba en función de la altura de descarga h	39
19.	Comparación de la curva de eficiencia teórica en función de h	40
20.	Efecto de la altura de alimentación H en la bomba de ariete	42
21.	Comportamiento de la bomba en función de la altura de alimentación H	43
22.	Comparación de la curva de eficiencia teórica en función de H	44
23.	Efecto de la tubería de alimentación L en la bomba de ariete.....	46

24.	Comportamiento de la bomba en función de la tubería de alimentación L	47
25.	Entrevista con poblador en la zona de estudio	48
26.	Zona no aprovechada por falta de recursos tecnológicos	50
27.	Configuración óptima del sistema de bombeo individual.....	52
28.	Configuración final del sistema de bombeo	52
29.	Configuración de las bombas de ariete hidráulico.....	53
30.	Motobomba de 6.5 hp	54
31.	Percepción del poblador sobre el aspecto técnico	58
32.	Percepción del poblador sobre el aspecto económico	58
33.	Percepción del poblador sobre el aspecto ambiental	58

Tablas

1.	Resultados de la prueba del ariete hidráulico BAH 1. ½ con tubería PVC de 1,2 y 3m de longitud y 9mm de carrera de válvula de impulso	29
2.	Especificaciones técnicas de la motobomba para análisis	54
3.	Cuadro comparativo de costos entre alternativas	57
4.	Matriz de consistencia metodológica.....	70
5.	Datos para altura de bombeo de 5,6 y 7 m.....	71
6.	Datos para altura de alimentación de 1.5, 1.75 y 2 m.....	72
7.	Datos para longitud de tubería 13, 15 y 17 m	73
8.	Presupuesto para 01 bomba de ariete.....	74

GLOSARIO

Altura de Aspiración: Distancia vertical existente entre el nivel del agua aspirada y el eje de la bomba.

Altura de Impulsión: Distancia vertical entre el eje de la bomba y la superficie del agua el depósito de impulsión o el punto de descarga libre de la tubería de impulsión.

Bomba: Sistema mecánico que impulsa el agua desde la fuente de agua a través del sistema de riego.

Caudal: Volumen de agua que pasa por un punto (sección de un área) en un intervalo de tiempo. La unidad más usada para expresar el caudal es m³/s.

Efectividad: Este concepto involucra la eficiencia y la eficacia, es decir, el logro de los resultados programados en el tiempo y con los costos más razonables posibles. Supone hacer lo correcto con gran exactitud y sin ningún desperdicio de tiempo o dinero.

Eficacia (mide el que): Miden el grado de cumplimiento de los objetivos propuestos, se enfocan en el Qué se debe hacer, para este indicador se deben conocer y definir los requerimientos del cliente del proceso para comparar lo que entrega el proceso contra lo que él espera.

Eficiencia (mide el cómo): Miden el nivel de ejecución del proceso, se concentran en el Cómo se hicieron las cosas y miden el rendimiento de los recursos utilizados por un proceso.

Energía renovable, fuente de energía alternativa es aquella que por su menor efecto contaminante o por su disponibilidad de renovación puede suplir a las energías o fuentes energéticas.

Llave de Paso: En un sistema de riego automático, al igual que en cualquier instalación hidráulica, puede ser necesario cortar alguna vez el suministro de agua, ya sea para realizar alguna reparación o modificación de la instalación, o bien, para detener el riego en el caso de que algo falle.

Válvula: En un sistema de riego, hay muchos tipos de válvulas diferentes pero, en realidad, existe solamente dos familias de válvulas - las válvulas de riego y las válvulas de cierre. Dentro de esas dos familias existe una variedad de válvulas. Al hablar del sistema de riego, el término “válvula” generalmente se refiere a una válvula de control automático.

RESUMEN

Este trabajo de investigación, busca determinar La Efectividad del Sistema de Bombeo con Ariete Hidráulico en la zona rural de La Provincia de San Pablo – Cajamarca, analizando los parámetros hidráulicos de una bomba de ariete de acuerdo con la zona en estudio y la configuración adecuada para su instalación, la eficiencia del sistema así como el grado de satisfacción de los pobladores rurales. La zona de estudio es el Caserío de Suro Antivo, centro poblado de Inगतambo, distrito de Tumbadén; utilizando un diseño experimental, que, para la recopilación de información se usó entrevistas, observación directa de campo, técnicas de medición de parámetros hidráulicos, y para determinar el grado de satisfacción, la escala de Likert. La demanda total del recurso hídrico es de 8.072 l/min; lo cual considera demanda doméstica, ganado y riego de pasturas, mientras que la oferta es de 15 a 25 l/s de agua. Los parámetros de diseño y operación del sistema de bombeo se rige para un cuerpo de bomba de 1”, siendo el sistema en paralelo; proporcionando 8.9 l/min donde la eficiencia total del sistema es de 55.23%. El nivel de satisfacción del poblador es positiva, desde los aspectos técnico, económico y ambiental al uso y aplicación del sistema de bombeo con ariete hidráulico.

Palabras clave: Efectividad, Ariete Hidráulico

ABSTRACT

This research work seeks to determine the effectiveness of the Hydraulic Water Pumping System in the rural area of San Pablo - Cajamarca Province, analyzing the hydraulic parameters of a water pump according to the area under study and the appropriate configuration for its installation, the efficiency of the system as well as the degree of satisfaction of the rural inhabitants. The study area is the Caserío de Suro Antivo, the town center of Inगतambo, district of Tumbadén; using an experimental design, which, for the collection of information, interviews, direct observation of the field, hydraulic parameters measurement techniques, and to determine the degree of satisfaction, the Likert scale were used. The total demand for water resources is 8,072 l/min; which considers domestic demand, livestock and irrigation of pastures, while the supply is 15 to 25 l/s of water. The parameters of design and operation of the pumping system is governed for a pump body of 1 ", being the system in parallel; providing 8.9 l/min where the total efficiency of the system is 55.3%. The level of satisfaction of the inhabitants is positive, from the technical, economic and environmental aspects to the use and application of the pumping system with hydraulic ram.

Keywords: effectiveness, hydraulic ram

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Este sencillo sistema de bombeo con ariete hidráulico permite prescindir de la energía convencional, un insumo particularmente costoso en nuestro país. Por sus grandes ventajas está siendo retomado en países como Cuba, Chile y Bolivia, donde incluso se han creado centrales de bombeo donde se usa el ariete para abastecer de agua a pequeñas ciudades. Incluso hay universidades y organizaciones que realizan mejoras a este sistema.

En el Perú, el Grupo de Apoyo al Sector Rural (Grupo PUCP), es una unidad operativa del Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Desde el año 1992 viene realizando proyectos de desarrollo a favor de comunidades campesinas, relacionados con la investigación científica aplicada, transferencia e innovación tecnológica, difusión y promoción de tecnologías apropiadas y actividades de conservación del medio ambiente; cuyo objetivo es mejorar la calidad de vida de la población rural en los ámbitos de energía, agua, agricultura y vivienda.

La tecnología de bomba de ariete no es muy conocida, así como tampoco ha gozado de amplia difusión en el norte del país. Por consiguiente, la realización de esta investigación, pondrá en evidencia, la disponibilidad de un desarrollo institucional como apoyo de un importante elemento de promoción y soporte a la difusión de estos sistemas de bombeo. En ese sentido, la existencia de cooperativas, asociaciones de productores, proyectos de desarrollo rural, organizaciones no gubernamentales de

asistencia técnica y otras instituciones, será considerada necesaria para el uso y aprovechamiento de estos sistemas en el crecimiento y desarrollo de las comunidades con características similares a las zonas de estudio.

1.1 Planteamiento del problema

El agua constituye un elemento natural indispensable para el desarrollo de la vida y de las actividades humanas; por lo tanto, resulta complicado imaginar cualquier tipo de actividad en la que no se la utilice (Galarza 2013).

La falta de acceso a una fuente de agua, así como la carencia de sistemas de saneamiento no sólo conlleva a una degradación sustancial del nivel de vida, sino que trae consigo una cantidad de consecuencias directas como por ejemplo: limitación en el uso del recurso hídrico en actividades domésticas (se requiere para la eliminación de desperdicios en forma satisfactoria: para el baño, limpieza y aseo personal, lavado de ropa, lavado de trastos), suministro de agua para la agricultura, incluyendo ganado e irrigación, entre otras. Por el contrario, si la zona en mención tuviera acceso a energía eléctrica, el consumo excesivo de energía en un sistema de bombeo, se vería reflejado en la facturación, con los consiguientes efectos negativos en la economía del poblador rural.

Entre otras, esta es una causa que nos obliga a tomar en cuenta la posibilidad de utilizar y/o aplicar otras fuentes de energía renovables, como la hidráulica, eólica, solar etc., en proyectos que benefician al hombre (JICA 2012).

En la actualidad, existen sistemas de alta eficiencia para transformar la energía hidráulica en energía eléctrica y mecánica. Para el segundo propósito, la bomba de ariete, a diferencia de las bombas convencionales, es una bomba hidráulica cíclica que utiliza la energía cinética de un golpe de ariete en un fluido para subir una parte de

éste a un nivel superior, sin utilizar otra fuente de energía externa. Por lo tanto, este sistema puede ser adaptado fácilmente a las condiciones geomorfológicas e hidrológicas en algunas zonas rurales de La Provincia de San Pablo de la Región de Cajamarca, al permitir el bombeo de las partes bajas de los ríos u otros, hacia las zonas altas, con el fin de satisfacer la provisión de agua y mejorar las actividades agrícolas de algunas zonas en el lugar de estudio.

1.2 Formulación del problema

La presente investigación surge de las siguientes preguntas de investigación:

Problema general

- ✓ ¿Cuál es la efectividad del sistema de bombeo con ariete hidráulico en la zona rural de la Provincia de San Pablo – Cajamarca?

Problemas secundarios

- ✓ ¿Cuál es la demanda y oferta del recurso hídrico de la zona en estudio?
- ✓ ¿Qué parámetros se deben tomar en cuenta para el análisis energético de una bomba de ariete hidráulico?
- ✓ ¿Qué configuración de bomba de ariete hidráulico será la más efectiva para el abastecimiento de agua de la zona en estudio?
- ✓ ¿Cuál es la percepción ambiental y social del poblador rural respecto al uso del sistema de bomba de ariete en sus actividades cotidianas?

1.3 Justificación de la investigación

La tecnología de bomba de ariete no es muy conocida, así como tampoco ha gozado de amplia difusión en el norte del país. El uso y aplicación de esta tecnología se encuentra principalmente en la zona del sur del país, principalmente en la

comercialización de estos productos, proyectos de bienestar social y capacitaciones a pobladores rurales. Con este sistema no solo se ahorraría en la facturación de energía eléctrica sino que además contribuiría a la utilización del mismo en zonas que no tienen acceso a este servicio y además ayudaría al mejoramiento de las actividades productivas direccionadas a la aplicación agrícola, ganadera y doméstica; que principalmente en el distrito de San Pablo se evidencia mucho. Por lo que, estudiar la influencia de algunos parámetros presentes en el funcionamiento del ariete hidráulico para obtener un mejor rendimiento y aprovechar al máximo su capacidad como sistema de bombeo y aplicación de la energía alternativa es de vital importancia. Además, este tipo de tecnologías se puede reproducir en diferentes lugares, básicamente donde el recurso de caudal y la demanda sea necesario. La realización de esta investigación, pondrá en evidencia, la disponibilidad de un desarrollo institucional como apoyo de un importante elemento de promoción y soporte a la difusión de estos sistemas de bombeo.

1.4 Alcances y limitaciones

Las limitaciones de la presente investigación están dadas por la existencia de pocos estudios respecto al uso y aprovechamiento de esta tecnología en la zona de estudio y las condiciones de aprovechamiento de esta energía renovable debido al estado incipiente de la misma en el país; por lo que se tiene que:

- El estudio consta de un análisis técnico, económico, social y ambiental.
- Para obtener los resultados de la satisfacción del poblador rural, dependerá únicamente de su apreciación, considerando sus particularidades.
- La recopilación de los datos del caudal de alimentación, estará en función de las condiciones hidrográficas de la zona en estudio.

1.5 Hipótesis de la Investigación

El sistema de bombeo con ariete hidráulico para el uso en algunas actividades cotidianas del poblador rural en la zona de la provincia de San Pablo – Cajamarca, tiene una eficiencia del 50%, teniendo para ello un adecuada configuración de sus parámetros como: altura y caudal tanto de alimentación como de descarga, cuyo uso y aplicación está vinculada positivamente con el nivel de satisfacción que les proporciona dicha tecnología.

1.6 Objetivos de la Investigación

1.6.1 Objetivo general

1.6.1.1 Determinar la efectividad del sistema de bombeo con ariete hidráulico en la zona rural de la Provincia de San Pablo – Cajamarca.

1.6.2 Objetivos específicos

1.6.2.1 Determinar las necesidades de demanda y oferta del recurso hídrico de la zona en estudio.

1.6.2.2 Determinar los parámetros de diseño y operación del sistema de bombeo con ariete hidráulico.

1.6.2.3 Seleccionar la configuración del sistema de bomba de ariete hidráulico más efectiva para el abastecimiento de agua de la zona en estudio.

1.6.2.4 Implementar y analizar la eficiencia del sistema de bombeo con ariete hidráulico en la fase de operación.

1.6.2.5 Analizar la percepción ambiental y social del poblador rural respecto al uso del sistema de bomba de ariete en sus actividades cotidianas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos de la investigación

2.1.1 Antecedentes Internacionales

- a. Jara Cobos, Nelson. (2011). Emplazamiento, implementación, pruebas de funcionamiento y propuestas de mejora de los sistemas de bombeo mediante rueda hidráulica y ariete multipulsor para el abastecimiento de agua para irrigación en la localidad del campus Juan Lunardi – Yumacay – Paute – Azuay.

Dos proyectos realizados en la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca en el área de las energías alternativas, se centran básicamente en dar una solución al problema de dotación de agua para riego agrícola a bajo costo, mediante la explotación de energías limpias, en este caso la energía que se aprovecha es la hidráulica. La investigación consiste en:

- Diseño de un prototipo de bomba de ariete hidráulico multipulsor de abastecimiento de agua para irrigación.
- Diseño y Construcción de una rueda hidráulica para el abastecimiento de agua para riego a una altura de 120 metros.

Para la implementación de los prototipos de sistemas de bombeo se requirió del diseño y la construcción de un pozo desarenador y de un sistema de tuberías, tanto para la toma como la descarga de los dos sistemas de bombeo. Posteriormente a la implementación se procedió con las pruebas de campo, teniendo como referencia los resultados óptimos y recomendados por

los constructores, los mismos que fueron producto de las pruebas de laboratorio.

En cuanto al ariete hidráulico se realizaron ocho pruebas, las mismas que comprobaron que mientras más altura de bombeo exista el caudal y el rendimiento van decreciendo, hasta que finalmente el ariete se detiene, teniendo como límites de funcionamiento una altura máxima de bombeo de 70 metros con un caudal de 0,2 l/min y un caudal máximo de 4 l/min a una altura de 42 metros.

- b. JICA, 2012. Guía Agropecuaria: Estudio de Promoción y Difusión de Buenas Prácticas "Bomba de Ariete" del Proyecto Tawan Ingnika - Nicaragua". Plan de desarrollo de la oficina de JICA - *Japan International Cooperation Agency* (Agencia de Cooperación Internacional del Japón) en Nicaragua.

La Producción agropecuaria en Nicaragua se basa fundamentalmente en los pequeños y medianos productores, dispersos a lo largo de la geografía de Nicaragua. Una de sus áreas es el desarrollo agropecuario y rural, desde donde se desarrolla la asistencia técnica a grupo de beneficiarios en conjunto con instituciones gubernamentales y locales. Al mismo tiempo manifiesta que la reducción de la pobreza y la generación de ingresos de las personas no privilegiadas son consideradas como temas focales para lograr el desarrollo agropecuario y rural.

Una de esas intervenciones es el Proyecto "Mejoramiento del Nivel de Vida a través del Fortalecimiento de la Producción Agropecuaria de las Comunidades Indígenas y Étnicas de Puerto Cabezas" (conocido como Tawan Ingnika).

El presente informe final da cuenta de las actividades de la difusión del uso y manejo de la Bomba de Ariete desarrollada y utilizada en el Proyecto Tawan Ingnika entre productores de los municipios de Diriamba (Carazo), San Dionisio (Matagalpa), San Rafael del Norte y La Concordia (Jinotega).

Ante esta situación, es imperativa la gestión integrada de los recursos hídricos y el acceso sostenido al agua de un mayor número de usuarios, así como la implementación de sistemas de riego eficaces y eficientes y al alcance de la capacidad financiera de los pequeños productores. La alternativa aquí analizada es la bomba de ariete construida en PVC.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

- a. Arapa J., 2015: Evaluación del rendimiento del ariete hidráulico bah-1.1/2 variando la longitud de la tubería de alimentación y condiciones de operación de la válvula de impulso. Universidad Agraria La Molina, Lima-Perú

En este trabajo se estudia la influencia de algunos parámetros en la operación del ariete hidráulico. Las variables analizadas son el resorte de la válvula de impulso, el volumen del acumulador, la carrera de la válvula de impulso y la relación de las áreas de impulso y descarga en la eficiencia del ariete. Adicionalmente, un modelo teórico del ariete es propuesto y validado usando los resultados experimentales. El modelo propuesto permite extender el estudio de los parámetros analizados incluyendo un análisis específico de la carrera de la válvula de impulso. De los resultados obtenidos se concluye que el resorte de la válvula de impulso y la relación de las áreas de las válvulas de impulso y descarga influye significativamente en la eficiencia del ariete. Se determinó que estadísticamente los mejores rendimientos se presentan cuando el acumulador tiene un volumen pequeño y se construye con material elástico.

Adicionalmente, diámetros de descarga del acumulador de mayor tamaño y la posición horizontal de la válvula de impulso reportaron un mejor desempeño del ariete. En este estudio no se consideró la influencia de la carrera de la válvula de impulso.

2.1.3 Antecedentes Locales

A la fecha, no hay publicaciones.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Fenómeno del “Golpe de Ariete Hidráulico”

El golpe de ariete o pulso de Zhukowski (llamado así por el ingeniero ruso Nikolái Zhukovski) es, junto a la cavitación, el principal causante de averías en tuberías e instalaciones hidráulicas (Cengel Y. y Cimbala. J. 2006). El golpe de ariete se origina debido a que el fluido es ligeramente elástico (aunque en diversas situaciones se puede considerar como un fluido no compresible).

En consecuencia, cuando se cierra bruscamente una válvula o un grifo instalado en el extremo de una tubería de cierta longitud, las partículas de fluido que se han detenido son empujadas por las que vienen inmediatamente detrás y que siguen aún en movimiento. Esto origina una sobrepresión que se desplaza por la tubería a una velocidad que puede superar la velocidad del sonido en el fluido. Esta sobrepresión tiene dos efectos: comprime ligeramente el fluido, reduciendo su volumen, y dilata ligeramente la tubería.

Cuando todo el fluido que circulaba en la tubería se ha detenido, cesa el impulso que la comprimía y, por tanto, ésta tiende a expandirse. Por otro lado, la tubería que se había ensanchado ligeramente tiende a retomar su dimensión

normal. Conjuntamente, estos efectos provocan otra onda de presión en el sentido contrario. El fluido se desplaza en dirección contraria pero, al estar la válvula cerrada, se produce una depresión con respecto a la presión normal de la tubería. Al reducirse la presión, el fluido puede pasar a estado gaseoso formando una burbuja mientras que la tubería se contrae.

Al alcanzar el otro extremo de la tubería, si la onda no se ve disipada, por ejemplo, en un depósito a presión atmosférica, se reflejará siendo mitigada progresivamente por la propia resistencia a la compresión del fluido y la dilatación de la tubería.

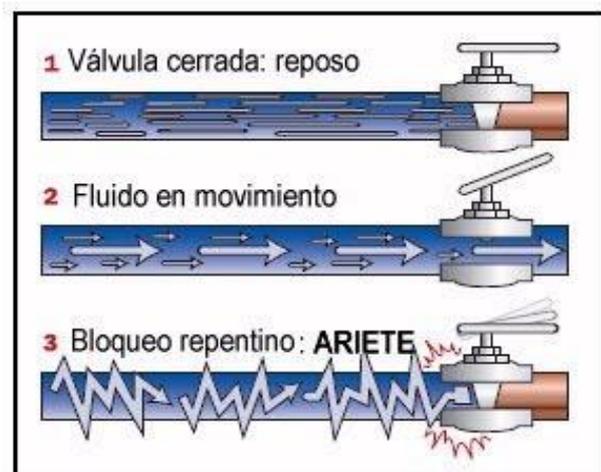


Figura 1: Sobrepresión generada por el golpe de ariete
Fuente: (Gómez C. P. 2012)

En la Figura 2, se muestra una tubería de longitud L , espesor δ y diámetro D , por la que circula agua, termina en su extremo derecho con una válvula. Si ésta se cierra rápidamente, en virtud del principio de conservación de la energía, al disminuir la energía cinética se va transformando en un trabajo de compresión del fluido que llena la tubería, y en la fuerza necesaria para dilatar esta última, lo que produce una sobre presión o un golpe de ariete positivo. Si por el contrario, se abre una válvula en una tubería bruscamente se produce una depresión o golpe de ariete negativo.

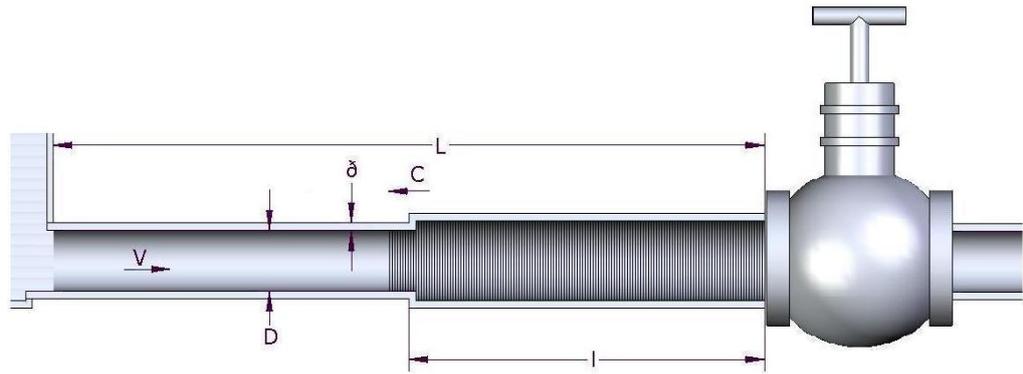


Figura 2. Onda de presión en el cierre instantáneo de una válvula: C es la velocidad de propagación de la onda y V la velocidad del fluido. La tubería se dilata o se contrae al avanzar la onda de presión o depresión.

Fuente: (Ortega O. J. 2013)

El golpe de ariete aplicado a la Ingeniería

Bajo el punto de vista de la Ingeniería no se puede observar este fenómeno como perjudicial en todos los casos, ya que, por ejemplo, en el caso del ariete hidráulico, el golpe de ariete va a ser el principio básico para el funcionamiento de la bomba, creando una sobrepresión que luego va a ser utilizada para impulsar el fluido a un punto más alto.

Es por ello que para el diseño de la bomba de ariete interesa que la válvula de impulso se cierre de la forma más rápida posible para crear una mayor sobrepresión (Ortega 2013).

2.2.2. Bomba de Ariete Hidráulico

Una bomba de Ariete Hidráulico, es una máquina que funciona de modo muy diferente de cualquier otra clase de bomba y no necesita motor para su funcionamiento. Esto quiere decir que aprovecha parte del agua para su funcionamiento y entrega el resto forzando el agua a un nivel más elevado.



Figura 3. Bomba de Ariete y sus partes
Fuente: (Ortega O. J. 2013)

La bomba de ariete es un sistema que aprovecha la energía de presión acumulada en una columna de fluido para transmitir esta energía a una corriente.

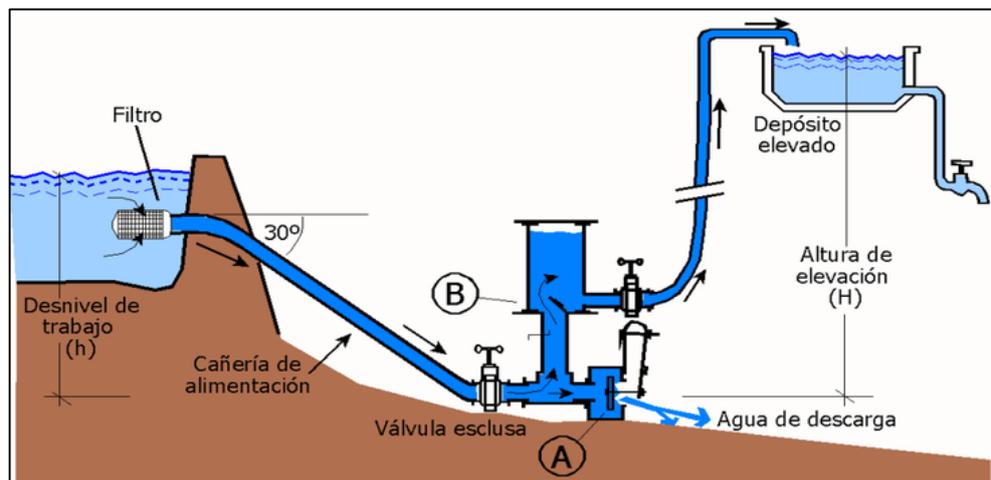


Figura 4: Esquema general del sistema de bombeo con Ariete Hidráulico

Términos Empleados en el sistema de bombeo con ariete hidráulico (Arapa 2015):

✓ **Altura de Carga**

Llamada también altura de alimentación, es la caída aprovechable para accionar la válvula que produce el golpe de ariete en la bomba; esta no debe ser inferior a 1m. El rango de alturas H varía comúnmente de 1 a 30m, el funcionamiento de la bomba es muy inestable. Para aprovechar al máximo esta altura, se puede “enterrar” el cuerpo de la bomba hasta el nivel de la válvula de derrame.

✓ **Caudal de alimentación**

Es el caudal que proviene desde la fuente de alimentación hasta la bomba a través de la tubería de alimentación.

✓ **Caja de válvulas**

Es la estructura metálica perteneciente al cuerpo de la bomba, la cual alberga en su interior a 3 válvulas; ellas son: la válvula de cierre, la válvula de derrame y la válvula de aire.

✓ **Tubería de carga**

Es la tubería (llamada también tubería de conducción, la cual permite conducir el agua desde la fuente de suministro hasta la caja de válvulas.

✓ **Acumulador**

Comunica al cuerpo de la bomba de ariete con la tubería de descarga. Sirve de “pulmón” para bombear agua hacia el tanque en nivel superior.

✓ **Válvula de Cierre**

Es aquella válvula que comunica la caja de válvulas con el tanque de aire o acumulador. La válvula de derrame se cierra y abre en forma alternada con la válvula de cierre.

✓ **Tubería de descarga**

Tubería inclinada que permite conducir el agua desde el cuerpo de la bomba hasta el tanque elevado.

✓ **Altura de descarga**

Es la distancia vertical que existe desde el cuerpo de la bomba hasta el tanque elevado.

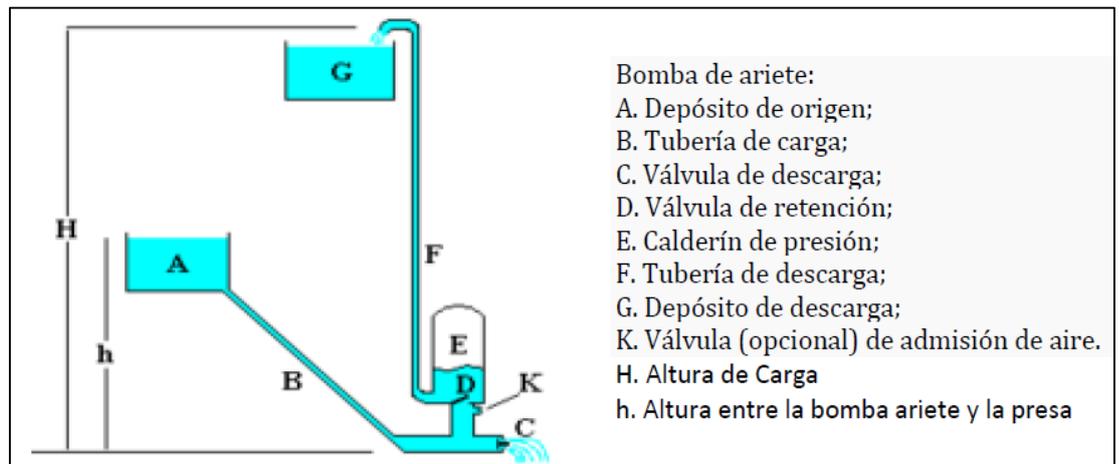


Figura 5. Partes importantes en el Funcionamiento de la Bomba de Ariete

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_de_ariete

2.2.3. Principio de Funcionamiento de La Bomba de Ariete

El ciclo se inicia cuando el agua de alimentación U (figura 6), penetra en la caja de válvula E por medio de la tubería de alimentación A-B.

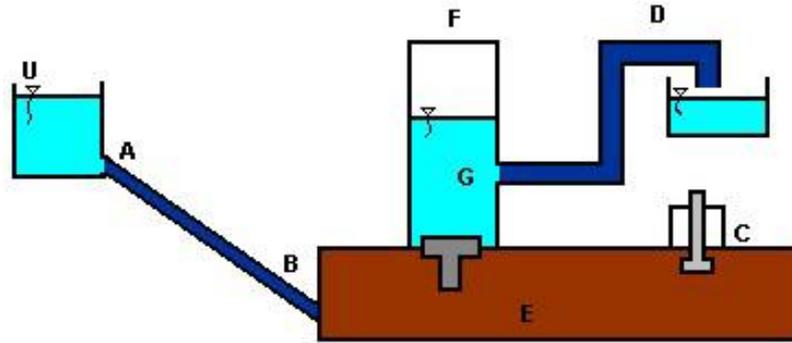


Figura 6. Inicio del ciclo de la bomba de ariete
Fuente: (Tuquinga 2012)

Si se abre la válvula C, el agua llega alrededor del disco de la misma y se derrama por ella. El agua empieza acelerarse haciendo que la presión dinámica aumente rápidamente, hasta que, por efecto de la fuerza de arrastre, la válvula de derrame C (figura 7) se cierra casi instantáneamente y se mantiene así por todo el resto del ciclo, debido a la presión en la caja de válvula E.

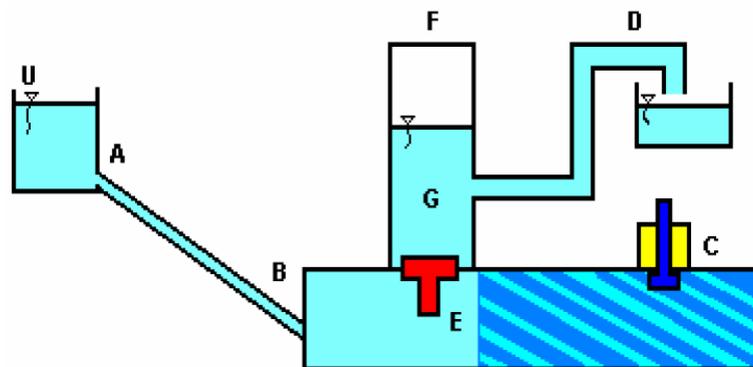


Figura 7. Efecto de la presión dinámica en la bomba
Fuente: (Tuquinga 2012)

Como el agua que entra en la caja tiene una velocidad considerable, se produce una percusión o golpe de ariete hidráulico que origina una presión alta sobre el disco de la válvula G (figura 8), la cual se abre y se produce un alivio. Esto permite que una parte del agua pase al acumulador, donde comprimo el aire a su contenido.

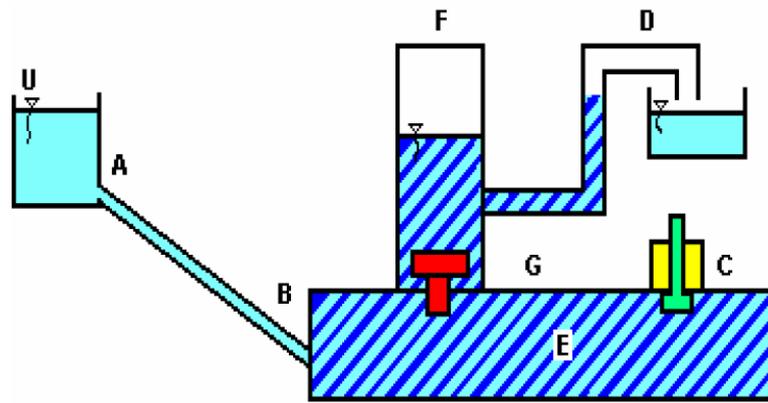


Figura 8. Sobrepresión en la válvula de admisión
Fuente: (Tuquinga 2012)

El agua sigue fluyendo en su interior hasta que la presión reduzca la velocidad a cero. Entonces la válvula G se cierra aprisionando el volumen de agua que penetró y que por efecto de la elasticidad del aire, es impulsada a través de la tubería de descarga D hacia el reservorio (figura 9).

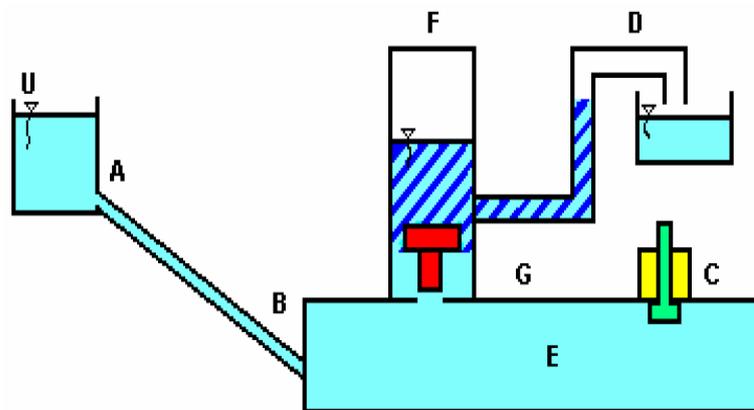


Figura 9. Etapa de descarga de agua
Fuente: (Tuquinga 2012)

Cerrada la válvula G, la depresión oscilatoria (velocidad negativa) del golpe de ariete hace descender la válvula C, la cual se abre y permite que el agua se derrame fuera de la caja de válvulas. En este instante, la válvula C, empieza a cerrarse por efecto del derrame del líquido, con lo que se repite el ciclo de trabajo (Tuquinga 2012).

El aire del acumulador F, que permite elevar el agua y regularizar su velocidad en la tubería de descarga D, se va disolviendo en el agua, y para evitar que, por su desaparición, el ariete deje de funcionar, es necesario renovarlo, manteniendo un cierto volumen.

Este es papel de válvula de aire J, que está cerrada durante todo el ciclo, excepto en el instante en que aparece la presión negativa en el fluido. En ese momento se abre para admitir una pequeña cantidad de aire.

Para conseguir que el aparato funcione automáticamente, solo se tiene que accionar el vástago de la válvula C abriéndola y cerrándola varias veces. Luego de breves instantes, la bomba opera automáticamente. Para interrumpir su trabajo, es suficiente detener el vástago de la válvula de descarga C, durante un momento, al cabo del cual la bomba se habrá detenido (Tuquinga 2012).

2.2.4. Bombas de ariete hidráulico en serie y paralelo

Para los casos en que se demande un gasto considerable de agua que no pueda ser suministrado por un solo ariete, existe la opción de formar estaciones o arreglos de los mismos, que pueden quedar dispuestos en serio o paralelo (Acitores 2012).

En serie:

En esta disposición cada uno de los arietes es colocado de forma escalonada en la misma dirección, ubicándolos en sentido descendente a distintos niveles, de tal forma que el ariete inferior reciba la pérdida de agua del ariete superior (Acitores 2012). La tubería de salida de cada uno de los arietes va conectada al tanque de almacenamiento, ver Fig. 10.

En el montaje en serie existe la necesidad de disponer de suficientes caídas de agua que den cabida al número de unidades necesario para que el caudal que proporciona la fuente sea aprovechado casi en su totalidad.

Los arietes utilizados para esta configuración pueden o no ser de la misma capacidad en relación al primer ariete, que dependerá de las condiciones del caudal y caída de agua. El segundo ariete dependerá de la pérdida de agua del primer ariete o anterior y de la caída de agua que se pueda instalar, y así sucesivamente para los siguientes arietes (Acitores 2012).

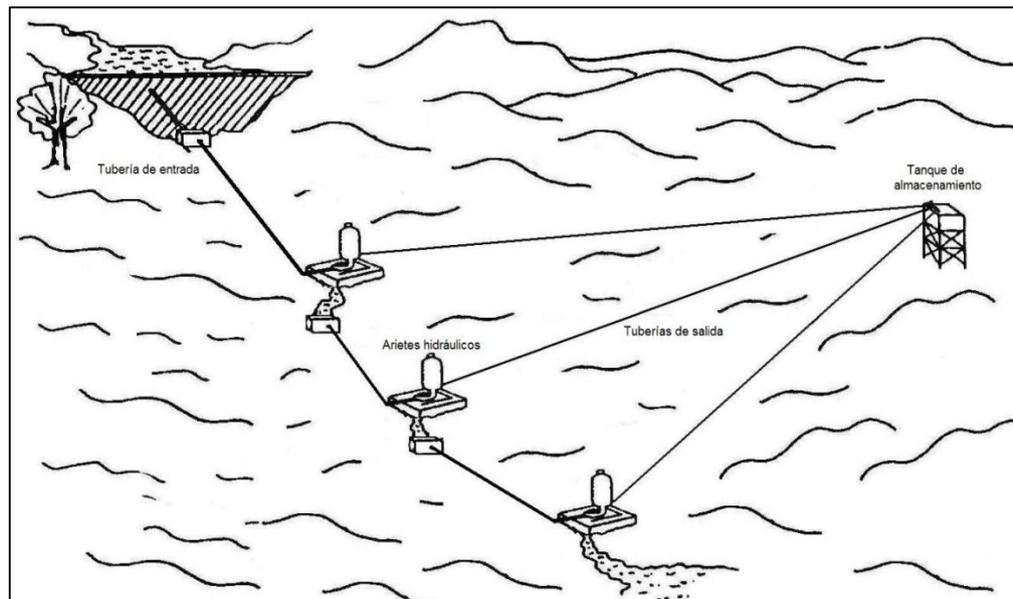


Figura 10. Bombas de ariete hidráulico en serie
Fuente: (Acitores 2012)

En paralelo:

En esta disposición cada uno de los arietes está alimentado por una tubería independiente, la de entrada se conecta a un conducto único, que generalmente, a fin de hacer más uniforme el movimiento ascendente, está provisto de una cámara complementaria de aire.

El montaje en paralelo requiere de una pequeña caída y un considerable caudal de la fuente que se trata de aprovechar, dado que los arietes están localizados en un mismo plano, por lo es necesario un gasto para su funcionamiento y elevación de agua, ver Fig. 11.

Esta configuración es empleada generalmente cuando no se requiere un gasto constante de almacenamiento o se dispone de un caudal suficientemente grande en la fuente. Es importante en este montaje que los arietes sean de la misma capacidad, con la finalidad de obtener una presión y caudal constante de salida (Acitores 2012).

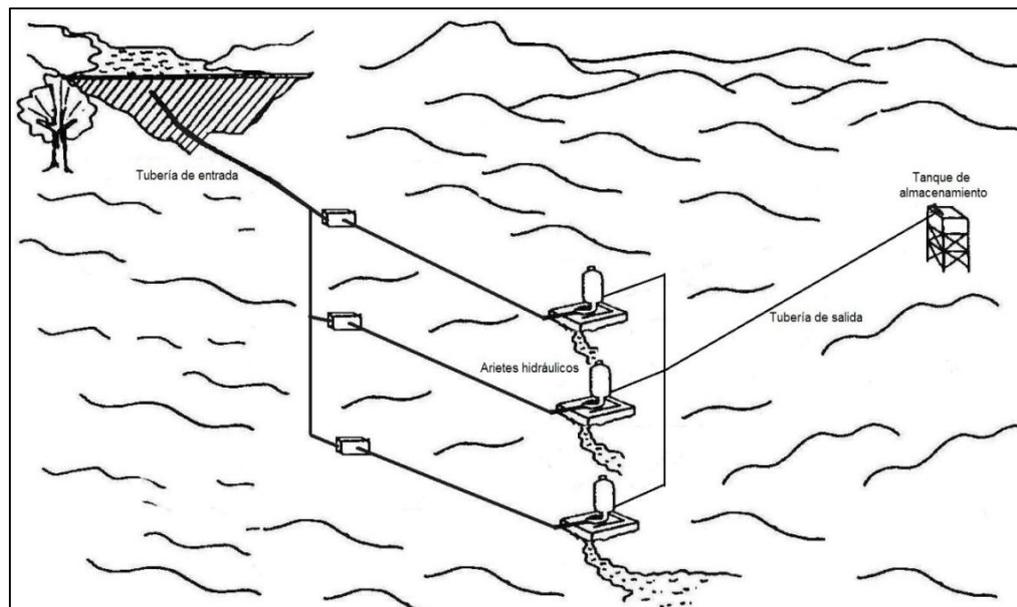


Figura 11. Bombas de ariete hidráulico en paralelo
Fuente: (Acitores 2012)

2.2.5. Bombas de ariete hidráulico multigolpe

Consisten básicamente en la sustitución de la única válvula de entrada por un conjunto adecuado de válvulas en ciertas posiciones dependientes de determinadas condiciones de operación e instalación para aprovechar mejor el caudal disponible, y así aumentar la potencia y rendimiento (ver Fig. 12).

Lo anterior permite una baja relación entre la velocidad máxima del agua en el sistema y la velocidad del agua al momento del cierre de válvulas, con un mínimo de contra impulso para su apertura automática, que permite reducir el largo y diámetro de la tubería de impulso (Acitores 2012).

Por otro lado, aparece la posibilidad de utilizar una sola tubería de entrada con una gran cantidad de unidades multipulsoras, lo que permite aumentar la potencia con unidades livianas estandarizadas y producidas en serie a bajo costo, mientras que con los arietes convencionales se necesita diseñar un aparato en función de un diámetro dado, de gran volumen, peso y por consiguiente, de mayor costo (Acitores 2012).



Figura 12. Bombas de ariete hidráulico multigolpe
Fuente: (Acitores M. F. 2012)

2.2.6. Selección de la bomba de ariete hidráulico

Se debe tener en cuenta los siguientes datos, ya que la salida está en función de estos (Ortega 2013):

- Altura de elevación o de entrega
- Capacidad de la fuente o caudal disponible
- Caída de agua impulsora
- Demanda de agua diaria

Con los datos anteriores se procede de la siguiente manera:

- a) La demanda diaria calculada se divide entre 24, para obtener la demanda por hora.
- b) La altura de elevación se divide entre la altura de caída. Si el cociente no es un número entero, se debe redondear al entero inferior.

Con el cociente obtenido se consulta la tabla de selección del ariete según el fabricante.

2.2.7. Montaje de la bomba de ariete hidráulico

Para instalar un ariete hidráulico se debe tener en cuenta una serie de aspectos que pueden garantizar un funcionamiento adecuado y permanente, tales como (Ortega 2013):

- ✓ Estimar la necesidad de agua.

Para el consumo normal de personas, animales, riego, uso doméstico, etc., en litros a razón individual por día para obtener el gasto total general.

- ✓ Estimar el caudal de la fuente disponible.

Puede ser un manantial o quebrada, el gasto mínimo de la fuente podría ser tal que suministre el consumo necesario y el que se requiere por las pérdidas en la conducción y funcionamiento del ariete (Ortega 2013).

Es necesario disponer obras de derivación y limpieza, como bocatomas, desarenadores y decantadores que garanticen la conducción entre la fuente y el tanque alimentador.

El sitio de localización del tanque o tanques alimentadores, se elegirá en base a la menor longitud de conducción entre la fuente y el tanque.

Lo anterior y las obras de captación, deben proyectarse para que los cuerpos extraños que las aguas arrastran sean eliminados antes de entrar al ariete (Ortega 2013).

✓ La caída del agua.

Es la altura desde el nivel del agua en el tanque alimentador hasta el lugar donde se sitúa el ariete, se recomienda no menor a 1 m., ni mayor a 5 m. Lo anterior es resultado del diseño de la bomba de ariete hidráulico, fuera de esos parámetros se ve mermada su eficiencia (Ortega 2013).

El conducto alimentador consiste en una tubería metálica que lleva el agua del tanque alimentador o de carga a la caja de válvulas. La tubería debe iniciar por debajo del nivel libre de agua en el tanque, a fin de evitar cualquier posible entrada de aire en el ariete.

La instalación de la tubería, excepto casos particulares en que se admiten alineamientos sinuosos, será de un solo alineamiento (recto de perfil, longitudinal, sin contra-pendiente) y colocado en terreno firme sobre bloques de mampostería de piedra o ladrillo (Ortega 2013).

Las uniones en tuberías y ariete deben ser totalmente herméticas, así como el diámetro de las tuberías de salida y entrada, que dependerán del número o tipo de ariete seleccionado.

✓ Caja de válvulas y cámara de aire.

Generalmente son de fundición y los accesorios de bronce. El ariete se debe instalar anclado a una pequeña columna de concreto, a fin de evitar al máximo la vibración, además debe quedar perfectamente nivelado.

2.2.8. Aplicaciones de la bomba de ariete hidráulico

Las principales aplicaciones de los arietes hidráulicos son en abastecimiento a poblaciones, núcleos de habitantes rurales, propiedades particulares, granjas, ranchos, riegos, etc., en los que se requieren de un caudal pequeño debido a su situación y condiciones topográficas. La conducción del agua por gravedad es imposible ya que con bombas eléctricas es demasiado costoso, por lo que se utiliza el ariete que aprovecha pequeñas caídas de agua en su funcionamiento y sacrifica el volumen de agua elevada (Ortega 2013).

Debido a la sencillez de la construcción, funcionamiento e instalación de este dispositivo, se deriva su importancia como mecanismo elevador de agua. Cabe mencionar que el costo en su explotación o funcionamiento no va más allá de los que provienen de su conservación y vigilancia, los cuales son reducidos.

La aplicación de los arietes no solo se limita a los antes mencionados, pueden ser aprovechados en plantas pequeñas de purificación en la que la topografía del terreno ofrezca facilidades para su instalación (Ortega 2013).

2.2.9. Modelo Matemático para el diseño del ariete hidráulico

Se analiza el modelo matemático adecuado, que permita conocer los valores óptimos de las principales variables, que alcanzan en cada periodo o cambio de estado significativo, para cada elemento del sistema de bombeo de ariete hidráulico, de su funcionamiento. Además de conseguir un sustento teórico más completo para el diseño, construcción y aplicación del ariete hidráulico (Shames, I., 1992).

El estudio del funcionamiento y desempeño del ariete hidráulico se realiza de forma teórica y experimental.

Los resultados teóricos se comparan con los experimentales y se determina la influencia de algunas variables en la eficiencia del ariete hidráulico (King and Brater, 1996). Los parámetros seleccionados para el análisis experimental son:

- ✓ La constante elástica de los resortes de la válvula de impulso.
- ✓ El volumen del acumulador.
- ✓ Las áreas de las válvulas de impulso y descarga.
- ✓ La carrera de la válvula de impulso

La experimentación se realiza a través del siguiente procedimiento:

La eficiencia del ariete se determina usando (1)

$$\eta = \frac{h_{des} * q_{des}}{H_{ali} * Q_t} \quad (1)$$

Donde h_{des} y H_{ali} son las alturas de descarga y alimentación respectivamente, q_{des} es el caudal de descarga y Q_t es el caudal total que corresponde al caudal de descarga más el caudal perdido.

El modelo matemático utilizado se basa principalmente en el planteado por Krol, J., 1976 (Acitores 2012). Este modelo se ha modificado para incluir las fuerzas de arrastre y pérdidas por efecto tobera en las válvulas (Quiroga M.J., Sierra. G.C. y Biancha G.G. 2013). La ecuación de movimiento (2) es aplicable a todos los periodos y el factor de pérdidas se determina usando la ecuación (3).

$$H - \left[1 + \Sigma k + f \left(\frac{L}{D} \right) + R \right] * \frac{v^2}{2g} = \frac{L}{g} \frac{dv}{dt} \quad (2)$$

$$Z = 1 + \Sigma k + f \left(\frac{L}{D} \right) + R \quad (3)$$

Donde H es la altura de alimentación, k es la constante de pérdidas por elementos, f es el coeficiente de fricción tubería, R es la constante de pérdidas por turbulencia en la válvula de impulso, v es la velocidad del agua, L es la longitud de la tubería de alimentación, D es el diámetro de la tubería, g es la aceleración de la gravedad y Z es el factor de pérdidas. La ecuación básica de golpe de ariete que determina la ganancia de cabeza se muestra en (4).

$$\Delta H = -\Delta v * \frac{c}{g} \quad (4)$$

La ecuación anterior se deriva al suponer un cierre instantáneo de la válvula, lo que produce una desaceleración del fluido transformando la energía cinética en energía de presión. Las ecuaciones (5-11) ilustran la obtención de la ecuación (4).

$$Fi = -m * \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (5)$$

$$m = \rho l A \quad (6)$$

$$Fi = -\rho l A * \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (7)$$

$$\Delta p = \frac{Fi}{A} \quad (8)$$

$$\Delta p = -\rho l * \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (9)$$

Donde Fi es la fuerza inercial, m es la masa, ρ es la densidad, l es la longitud del paquete de fluido considerado, A es la sección transversal de la tubería, Δv es el cambio de velocidad del fluido y Δp es el diferencial de presión. En la ecuación (10) se establece la variable c que corresponde a la

velocidad promedio o celeridad de la onda de presión en la tubería.

Reemplazando (10) en (9) se obtiene (11).

$$C = \frac{l}{\Delta t} \quad (10)$$

$$\Delta p = -\rho * \Delta v * c \quad (11)$$

Que es la misma ecuación (4) pero en términos de presión. En esta ecuación $\Delta v = v - v'$, en la cual v es la velocidad inicial del fluido y v' la velocidad final para cierre de la válvula. Por las condiciones de operación del ariete el $\Delta v = v$, para cierre total de la válvula $v'=0$.

Con la fórmula de JOUKOWSKI se expresa la celeridad de la onda de presión en una tubería:

$$C = \frac{\sqrt{\frac{E_0}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{E_0 D}{E \delta}}} \quad (12)$$

Donde E_0 es el módulo de elasticidad del fluido, D es el diámetro de la tubería, E es el módulo de elasticidad del material de la tubería y δ es el espesor de la tubería.

Las pérdidas menores h_m se calculan usando (13), las pérdidas de presión por fricción h_f se determinan usando (14) y la pérdida por turbulencia h_{turb} en la válvula de impulso en (15).

$$h_m = \Sigma k \frac{v^2}{2g} \quad (13)$$

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (14)$$

$$h_{turb} = R \frac{v^2}{2g} \quad (15)$$

El valor de R depende de la forma y la carrera del obturador de la válvula de impulso. Este factor se determina experimentalmente y a partir del coeficiente de descarga C_d usando (16).

$$R = 1/(C_d)^2 \quad (16)$$

El coeficiente de descarga para las válvulas se determina usando

$$C_d = \frac{Q_{medido}}{A_{tub} * \sqrt{2gH}} \quad (17)$$

Donde Q_{medido} es el caudal de alimentación y A_{tub} es el área de la tubería de alimentación.

La fuerza de arrastre en la válvula de impulso F_f se determina usando (18)

$$F_f = \rho v^2 A \quad (18)$$

La fuerza necesaria para cerrar la válvula de impulso debida al resorte de la válvula F_r , se calcula usando (19).

$$F_r = W = Kr * S \quad (19)$$

Donde Kr es la constante del resorte de la válvula de impulso y S es la carrera de la válvula de impulso. La fuerza de arrastre F producida por el fluido sobre la válvula de impulso es obtiene usando (20).

$$F = C_a * (\rho v^2 A) \quad (20)$$

Donde C_a es el coeficiente de arrastre, en el caso a se puede utilizar un $C_a = 1,17$ que corresponde a un disco, ρ es la densidad del agua a la temperatura del fluido, v es la velocidad del agua y A es el área transversal de la válvula de impulso. Las pérdidas debidas al ciclo de bombeo hr se determinan usando (21).

$$h_r = \frac{v^2}{2g} \left[f \frac{L}{D} + \Sigma k \right] \left(1 - \frac{h}{h_{max}} \right) \quad (21)$$

De la ecuación (4) tenemos.

$$h + h_r = v - v' \frac{c}{g} \quad (22)$$

Donde h es la sobrepresión alcanzada por el golpe de ariete. Para cierre total de la válvula $v' = 0$ y sin pérdidas $h_r = 0$. Por lo tanto se obtiene la ecuación (23)

$$h_{max} = v \frac{c}{g} \quad (22)$$

2.2.10. Rendimiento del Ariete Hidráulico

El rendimiento del ariete hidráulico representa el porcentaje de agua que se puede bombear en relación al total de la canalizada por el ariete, y varía en función del cociente H/h . Al aumentar el valor resultante, el rendimiento disminuye. En la tabla siguiente puede verse cómo varía el rendimiento energético.

H/h =	2	3	4	6	8	10	12
R =	0,85	0,81	0,76	0,67	0,57	0,43	0,23

Figura 13. Rendimiento energético del ariete hidráulico
Fuente: (Jiménez 2011).

El ángulo de inclinación del tubo de alimentación (α) debe estar entre los 10° y los 45° con la horizontal. El caudal de alimentación del ariete dependerá del diámetro de dicho tubo de acometida. En la siguiente tabla se pueden ver relacionados estos parámetros, para tubería de hierro galvanizado, que es la más recomendable para alimentar arietes hidráulicos.

Caudal de alimentación (Q)	Lit/min	30	60	90	120	250	500	1000
Diámetro del tubo	Pulgadas/mm	1 ^{1/4} "/35	1 ^{1/2} "/41	2"/52	2 ^{1/2} "/70	3"/80	5"/125	8"/200

Figura 14. Relación caudal de alimentación y diámetro del tubo

Fuente: (Jiménez M. 2011).

Hay que tener en cuenta que el agua que se acelera en el tubo de alimentación, es la que provoca el “golpe de ariete”, por lo que este ha de tener una longitud, inclinación y diámetro adecuados, sin curvas ni estrechamientos que provoquen pérdidas de carga por rozamiento.

En la tabla 1 se muestra los resultados de evaluación del rendimiento del ariete hidráulico BAH-1.1/2 variando la longitud de la tubería de alimentación y condiciones de operación de la válvula de impulso, de la Universidad Agraria La Molina, considerando para ello variaciones de los principales variables de operación.

Tabla 1: Resultados de la Prueba del Ariete Hidráulico BAH 1.1/2 con Tubería de PVC de 1, 2 y 3 m de longitud y 9 mm de carrera de válvula de impulso.

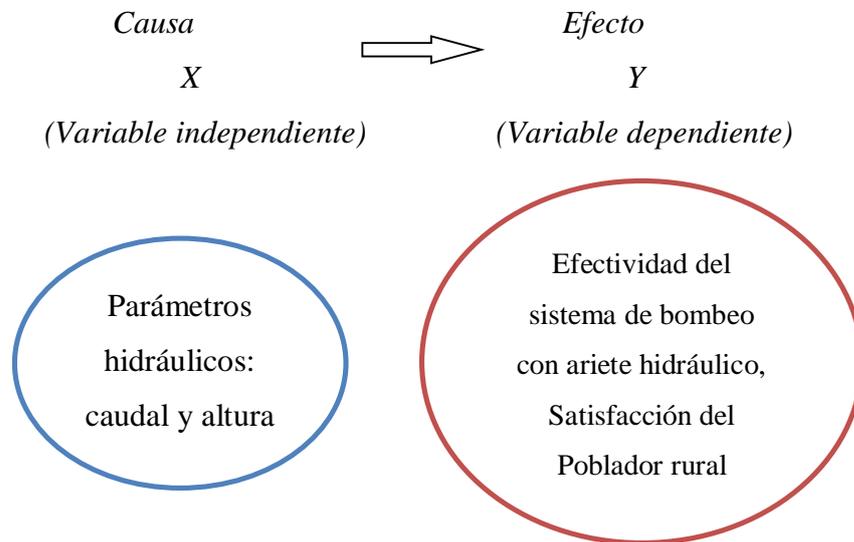
Longitud de Tubería L(m)	Altura de Bombeo h(m)	Caudal de Alimentación Q (lt/min)	Caudal de Bombeo q(lt/min)	Caudal de derrame Q-q (lt/min).	Eficiencia n(%)	q/Q x 100	Golpes por Minuto GPM
1	30	27.01	0.00	27.01	0.00	0.00	152
	25	36.56	0.41	36.15	27.90	1.12	189
	20	38.51	0.52	37.99	27.21	1.36	209
	15	43.17	1.11	42.06	38.68	2.58	220
	10	43.79	1.62	42.17	37.00	3.70	216
2	46	27.09	0.00	27.09	0.00	0.00	100
	40	37.58	0.21	37.38	21.85	0.55	116
	40	35.27	0.20	35.07	22.68	0.57	116
	35	41.18	0.25	40.93	21.08	0.60	120
	30	41.67	0.52	41.15	37.63	1.25	120
	25	36.34	0.61	35.73	42.01	1.68	120
	20	37.28	0.63	36.65	33.62	1.68	112
	15	41.35	1.31	40.04	47.40	3.16	116
	10	47.53	2.27	45.26	47.83	4.78	120
7	45.92	3.04	42.88	46.34	6.62	120	
3	52	23.53	0.00	23.53	0.00	0.00	72
	45	31.24	0.19	31.05	27.66	0.61	76
	40	33.56	0.31	33.25	36.87	0.92	80
	35	37.41	0.48	36.94	44.53	1.27	80
	30	40.60	0.80	39.80	59.11	1.97	81
	25	40.88	0.99	39.90	60.34	2.41	84
	20	39.29	1.26	38.03	64.16	3.21	86
	15	43.65	1.96	41.69	67.35	4.49	90
	10	44.50	2.67	41.83	59.92	5.99	92
	6	42.95	3.80	39.15	53.09	8.85	92

Fuente: (Arapa J., 2016)

CAPÍTULO III

DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El diseño experimental de la investigación, consiste en generar una situación, manipular los parámetros hidráulicos en una instalación de un sistema de bombeo con ariete hidráulico, para ver su efecto, efectividad en su uso y satisfacción del poblador rural.



De acuerdo al diseño descrito, se debe seguir la siguiente secuencia de actividades para la ejecución de la investigación:

- ✓ Etapa de campo
- a) Localización política y geográfica de la zona
- b) Recursos disponibles
- c) Determinación de la altura disponible y de descarga
- d) Ubicación de la toma de agua y tanque de captación
- e) Construcción e instalación del sistema de bombeo con ariete hidráulico
- f) Determinación de la ubicación del tanque de descarga

Para poder garantizar que las pruebas tengan la suficiente fiabilidad, se debe realizar el siguiente procedimiento:

- Asegurarse que el tanque de alimentación (o sistema fluyente) esté libre de impurezas y que proporcione una cantidad de agua de alimentación constante.
- Establecer las características de la prueba a realizar regulando los accesorios de la válvula de impulso.
- Abrir la válvula de compuerta para permitir el paso de agua a la bomba, el ariete comenzará su funcionamiento, cerrando y abriendo la válvula.
- Si no se produce el golpe de ariete, inducirlo abriendo las válvulas manualmente hasta que se establezca el golpe y seguir el paso anterior.
- Una vez que se estabiliza el funcionamiento de la bomba tomar los datos.
- Proceder a realizar las pruebas con las nuevas características.

✓ Etapa de gabinete

- a) Aplicación de cuestionario para medir la satisfacción del poblador rural de uso y aplicación del sistema de bombeo con ariete hidráulico.
- b) Análisis económico, donde se determinará los indicadores económicos para validar su viabilidad económica.

✓ Etapa de procesamiento y análisis estadístico y de discusión de resultados.

3.1. Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación

En este contexto, se ha realizado la siguiente elección:

✓ Población: Provincia de San Pablo

- ✓ Muestra: Caserío de Suro Antivo, perteneciente al centro poblado de Inгатambo, al noreste del distrito de Tumbadén, provincia de San Pablo, Región Cajamarca, Perú.
- ✓ Unidad de análisis: Sistema de bombeo con ariete hidráulico.
- ✓ Unidades de observación: INEI, SENAMHI, ITDG

El acceso a la zona del proyecto desde la ciudad de Cajamarca, es a través de la carretera Cajamarca - Bambamarca, hasta la altura del lugar denominado Las Lagunas de Alto Perú (km. 46.5, aproximadamente); luego se prosigue hacia la izquierda, mediante una trocha carrozable en regulares condiciones (16 km.), pasando por los caseríos de Alto Perú e Inгатambo. El tiempo empleado haciendo uso de vehículo particular, 2 horas.

Las Coordenadas UTM (PSAD 56) del punto de captación se presenta a continuación:

- Vértice A: 754403.39 (E) - 9232249.80 (N)
- Vértice B: 755034.79 (E) - 9232436.67 (N)
- Vértice C: 755065.70 (E) - 9232219.80 (N)
- Vértice D: 754378.21 (E) - 9232001.36 (N)

La zona en estudio se encuentra a 3230 m.s.n.m.

Caudal del punto de alimentación 15 – 25 litros/segundo (Fuente: ITDG soluciones prácticas, 2015).

3.2. Técnicas e instrumentos de recopilación de información

Técnicas	Instrumentos	Información a obtener
Observación directa de campo	Ficha de campo	Geografía del lugar Punto de alimentación Lugar de instalación del sistema
Entrevista	Cuestionario de entrevista	Actividades cotidianas y uso del agua a Pobladores
Manguera de nivelación	Ficha de campo	Altura de carga Altura de descarga
Método del vertedero de pared delgada	Ficha de campo	Caudal de alimentación
Método del recipiente	Ficha de campo	Caudal de descarga
Escala de Likert	Cuestionario	Grado de satisfacción del poblador rural

3.3. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Para las Técnicas de análisis de datos, se tiene lo siguiente:

- ✓ Para el análisis de los datos, se procede a elaborar los diagramas de parámetros de operación del sistema de bombeo con ariete hidráulico para una mejor interpretación de los resultados obtenidos. Además se realizó la elaboración de gráficas de dispersión con los factores más idóneos para un ideal desempeño de la bomba de ariete. Con las pruebas a realizar se verificó y comparó los factores hidráulicos que más influyen en una bomba de ariete, con el fin de determinar la eficiencia óptima de acuerdo a las condiciones del lugar para cada comunidad.

- ✓ Con los materiales utilizados en la construcción de la bomba de ariete, se obtuvieron los costos de fabricación y los gastos que se emplea para su instalación y operación, lo cual sirvió para determinar los indicadores económicos y determinar su viabilidad económica de acuerdo a la realidad del poblador y el tiempo de vida útil del sistema de bombeo con ariete hidráulico.
- ✓ Para determinar la satisfacción del poblador rural, del cuestionario a aplicar, éste se basó en cinco factores. Cada pregunta, de acuerdo a la respuesta dada, se suma, donde la puntuación de los ítems determinará su grado de satisfacción, el cual comprendería las valoraciones de las personas en relación al uso y aplicación de los sistemas de bombeo con ariete hidráulico en sus actividades cotidianas.
- ✓ Para el procesamiento de los datos de Campo: Se utilizó una laptop procesador Core i3, sistema operativo Windows 7, y los programas: Microsoft Excel y Word.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados experimentales de la bomba de ariete

En primera instancia, para poder caracterizar la bomba de ariete que se ha construido, se debe realizar variaciones en las pruebas; considerando las variables de operación y de esta manera evaluar el funcionamiento, principalmente su rendimiento energético.

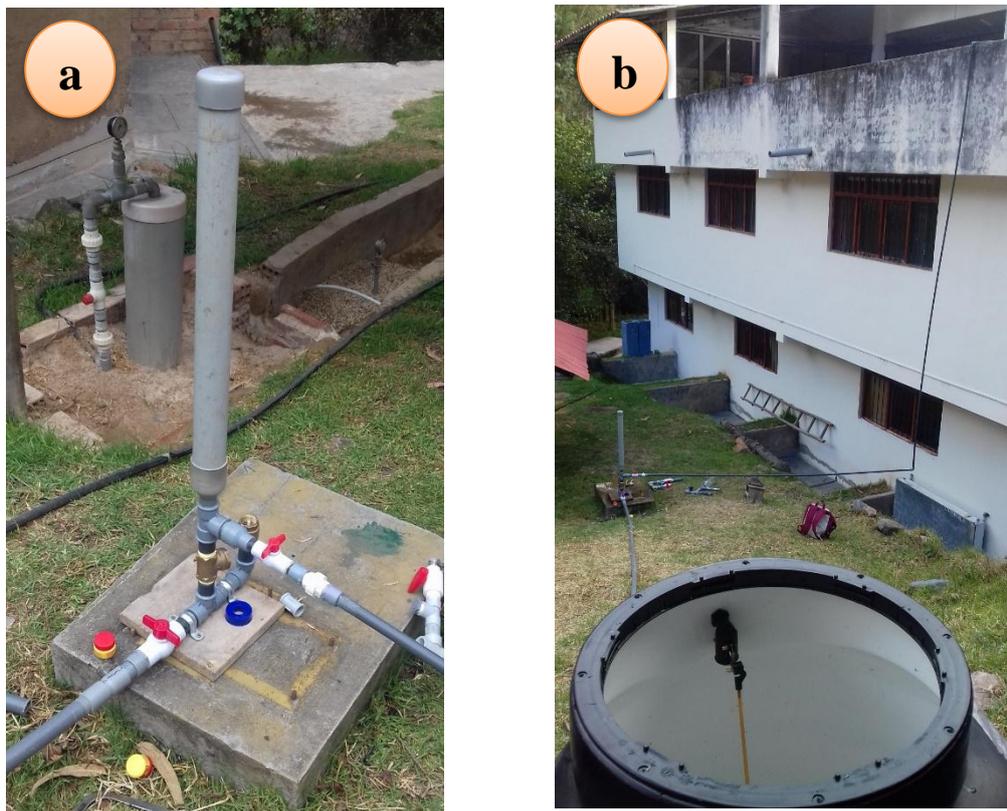


Figura 15: (a) Bomba de ariete utilizado para las pruebas, (b) sistema de bombeo con ariete hidráulico. Sitio de Pruebas: CEDECAP-ITDG Soluciones Prácticas



Figura 16: Vista lateral de la instalación del sistema de bombeo con ariete hidráulico. Sitio de Pruebas: CEDECAP-ITDG Soluciones Prácticas

En el proyecto se ha decidido variar por separado 3 de las variables operativas de la bomba de ariete, que serán: la altura de elevación (h), la altura de trabajo (H), y la longitud de la tubería de alimentación (L).

Una vez recopilado la información, se evaluó y analizó los resultados obtenidos, comparándolo con “El Estudio Teórico y Experimental de la Bomba de Ariete” de Acitores M. F. 2012; quien presenta un modelo matemático en su análisis para evaluar la bomba de ariete. Siguiendo el modelo de Acitores M. F.:

4.1.1. Efecto de la altura de elevación, h

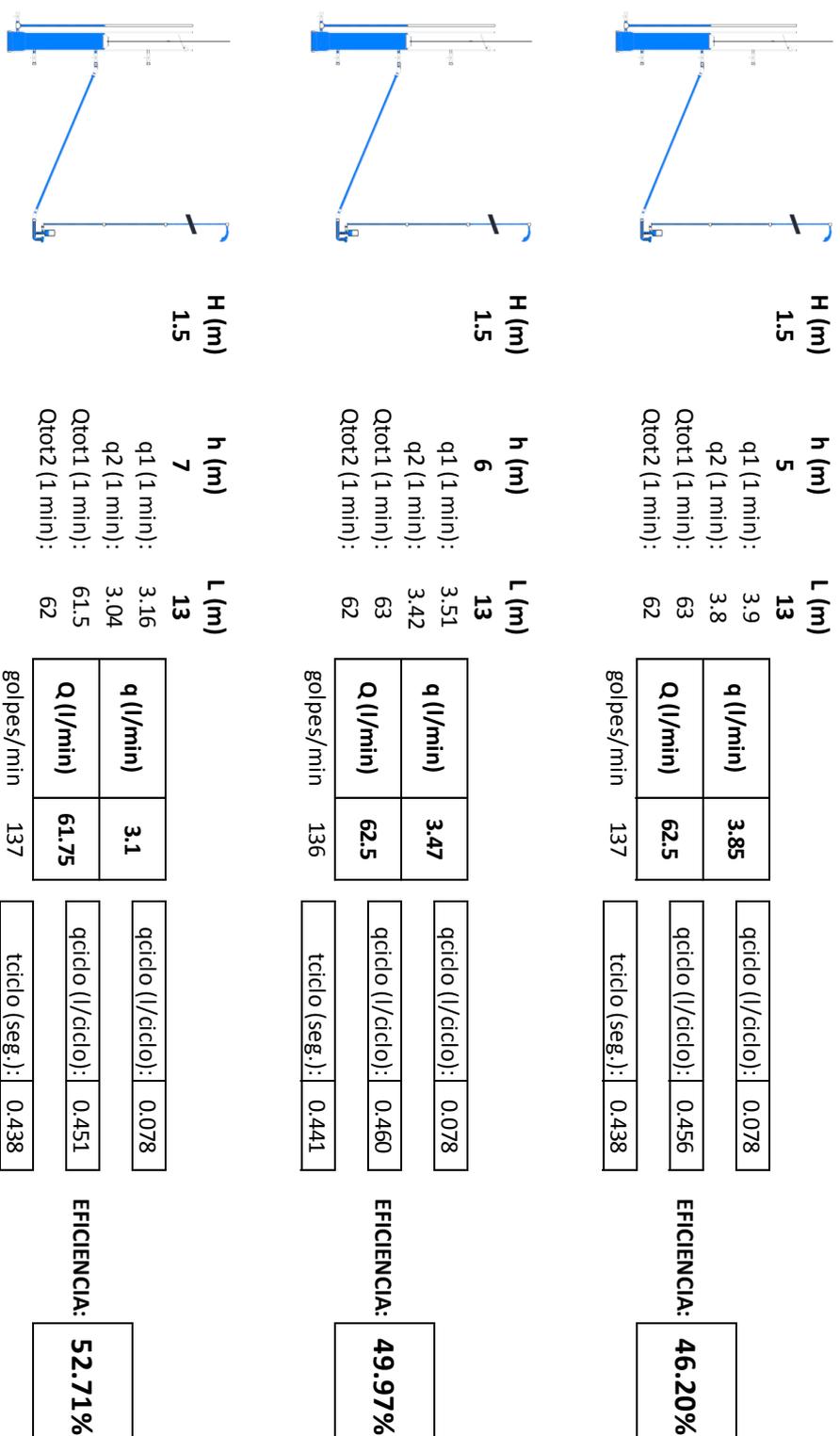
Para poder hacernos una idea de la influencia que tiene la altura de elevación, se realizó experimentos recogiendo el agua elevada a distintas alturas, manteniendo la altura de alimentación constante (1.5 metros), utilizando para la tubería de alimentación la configuración que nos proporcione una longitud mayor con la inclinación de 25° de acuerdo con la declinación del terreno. Las alturas de elevación probadas han sido de 5, 6 y 7 metros.

Para alturas de elevación inferiores e iguales a 4 metros ($h=2\text{m}$ y $h=3\text{m}$) no fue posible la toma de medidas, puesto que con estas configuraciones, la válvula de choque no se abría tras dar uno o dos golpes, deteniendo el funcionamiento de la bomba de ariete. Esto es debido a que la diferencia de presiones de trabajo no es suficientemente grande, por lo que las ondas de choque que se generan son algo débiles, y se disipan antes de provocar la depresión que ayuda a la válvula de choque a volver a abrirse.

Comentario de los resultados

Considerando la figura 17, observamos que llama la atención en los resultados, que la cantidad de agua de alimentación es la misma para las tres configuraciones. Esto sucede porque la presión en la tubería de elevación (h), no influye para nada, por lo que la cantidad de agua de alimentación por ciclo (Q_{ciclo}) deberá ser la misma para cualquier altura de elevación (h), y como el tiempo de ciclo es prácticamente el mismo, el agua gastada por minuto (Q) apenas varía. El parámetro que sí que varía, como es de esperar, es el caudal de agua elevada (q), que disminuye a medida que la altura de elevación es mayor. Sin embargo, el rendimiento es mayor cuanto más alta la altura de elevación, por lo que es más eficiente elevar menos agua a más altura.

Figura 17: Efecto de la altura de salida (descarga) h en la bomba de ariete



h	η	Q	q
5	46.20%	62.5	3.85
6	49.97%	62.5	3.47
7	52.71%	61.75	3.10

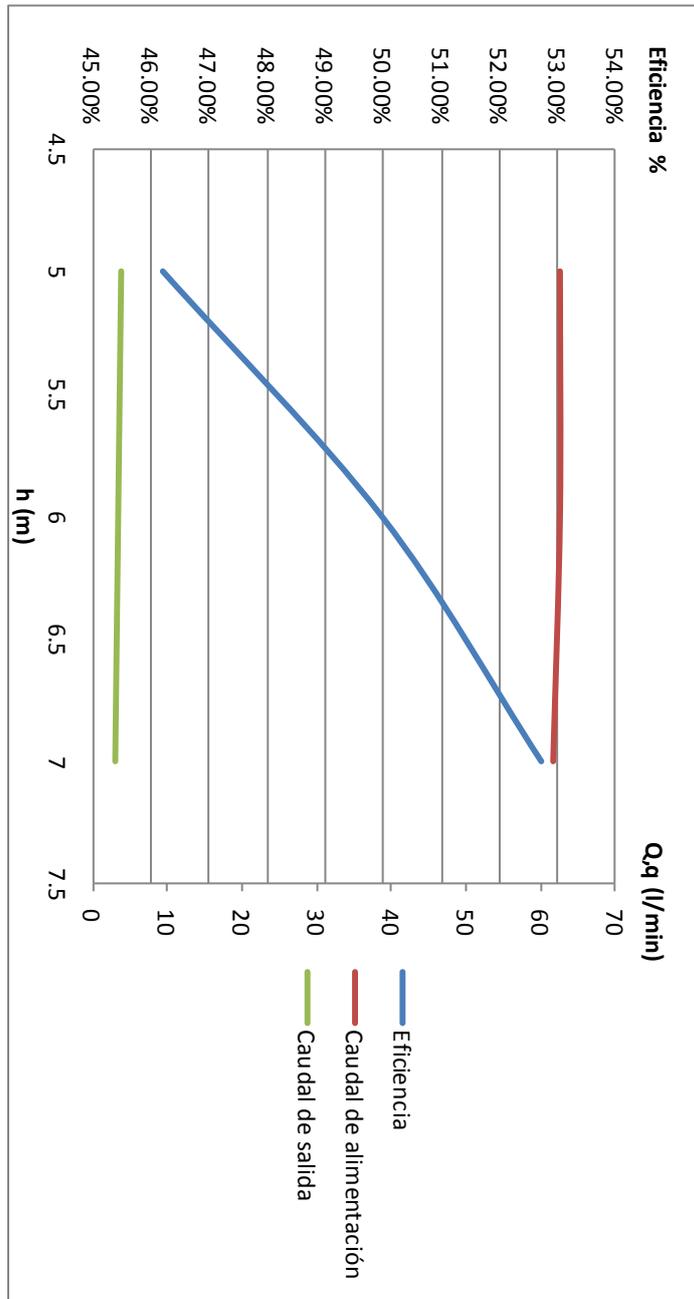


Figura 18. Comportamiento de la bomba de ariete en función de la altura de alimentación H

En la figura 18 se observa la tendencia de la curva de la eficiencia de la bomba de ariete, lo cual muestra el comportamiento de los parámetros evaluados, como (Q, q y η). Una forma de poder realizar una comparación entre la parte teórica y práctica es a través de un modelo teórico elaborado en MathCad, para hacernos una idea de si realmente sería así (Acitores M. F. 2012). Para ello hemos dado diferentes valores teóricos a h, para ver cómo se comportaban las

variables medidas según nuestro modelo. A continuación se representa un gráfico con los valores que según el modelo teórico tendrían estas variables en función de la altura de elevación:

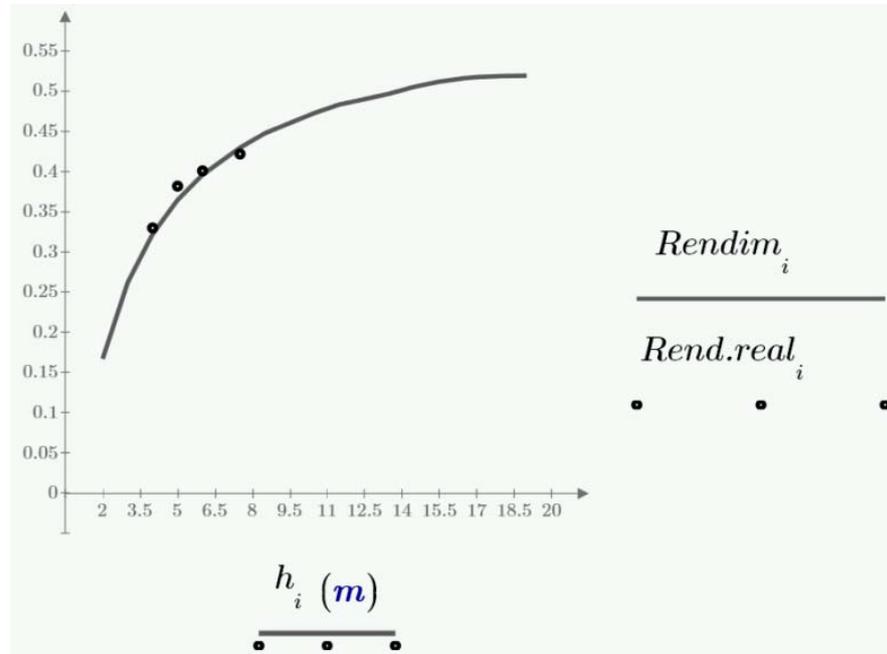


Figura 19. Comparación de la curva de eficiencia teórica y real, en función de h
Fuente: (Acitores M. F. 2012)

A la vista de los resultados obtenidos, parece ser que el modelo teórico se comporta de manera muy similar a la realidad en cuanto a rendimiento y caudales por minuto en el rango de funcionamiento que hemos podido comparar.

4.1.2. Efecto de la altura de alimentación, H

Para evaluar el efecto de la altura de alimentación, se realizó varias pruebas modificando el nivel de agua del depósito de alimentación, mientras mantenemos constante la altura de elevación ($h=5\text{m}$), la longitud de la tubería de alimentación $L=13\text{ m}$, y la inclinación de acuerdo con la zona en estudio ($\alpha=22^\circ$).

Se han realizado 3 pruebas, para alturas de alimentación desde 1.5 o hasta 2 metros, aumentando en cada prueba la altura de alimentación (H) en 25 cm. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 3.

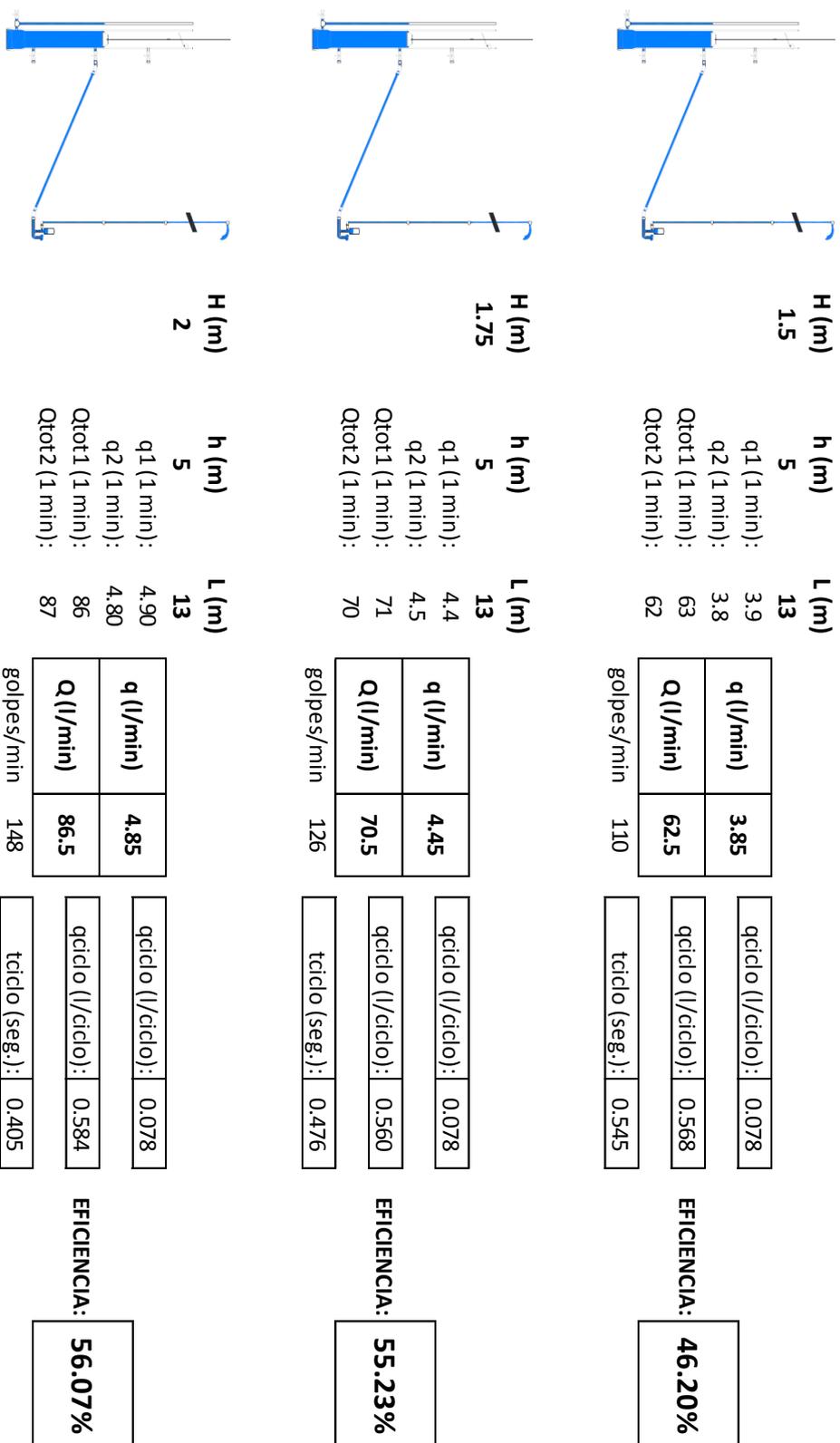
Comentario de los resultados:

Observando los resultados en la figura 20 y la figura 21, comprobamos que el tiempo de ciclo disminuye a medida que aumentamos la altura de alimentación, ya que el fluido se acelera mucho más rápidamente al haber más presión de alimentación, alcanzando más rápidamente la velocidad necesaria para cerrar la válvula de choque y comenzar un nuevo ciclo.

Un comportamiento curioso es el del caudal gastado (Q), que parece que no se ve afectado por la altura de alimentación.

En cuanto al caudal de elevación, aumenta linealmente con la altura de elevación, consiguiendo elevar cada vez una mayor cantidad de agua, sin embargo a partir de una altura de alimentación mayor que 1,8 metros es cada vez energéticamente menos rentable, ya que vemos que el rendimiento parece llegar a un valor máximo en esta altura.

Figura 20: Efecto de la altura de alimentación H en la bomba de ariete



H	η	Q	q
1.5	46.20%	62.5	3.85
1.75	55.23%	70.5	4.45
2	56.07%	86.5	4.85

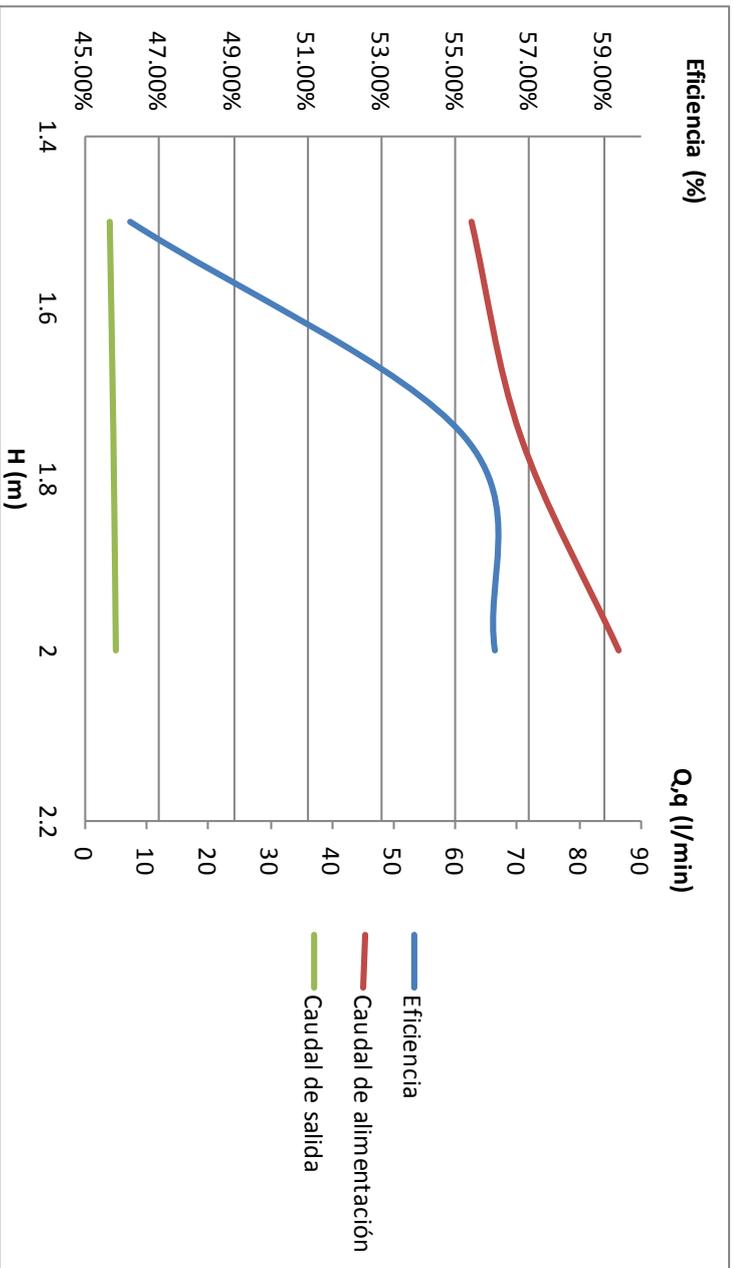


Figura 21. Comportamiento de la bomba de ariete en función de la altura de alimentación H

Si comparamos ahora los valores experimentales con los obtenidos según las ecuaciones del modelo teórico del acápite anterior, podemos representar la figura 22, en el que se compara el rendimiento esperado con los datos que hemos obtenido.

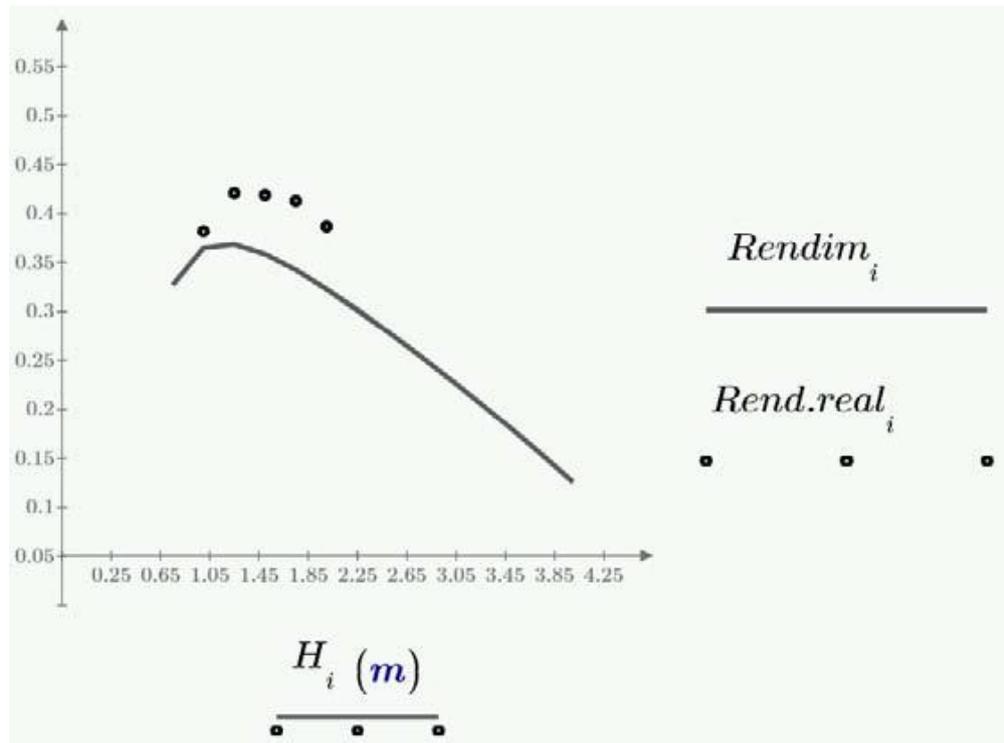


Figura 22. Comparación de la curva de eficiencia teórica y real, en función de H
Fuente: (Acitores M. F. 2012)

En esta figura se puede comprobar, que aunque el rendimiento es más alto en la bomba real, el comportamiento sí que parece regirse por las mismas pautas. En el caso del modelo, se obtiene un rendimiento máximo del 37% para una altura de alimentación de 1,25 m, rendimiento que disminuye a medida que nos alejamos de este valor tanto en un sentido como en otro. El rendimiento experimental ha resultado del 51.78%, pero como hemos comentado, la forma de la curva sí que parece la misma.

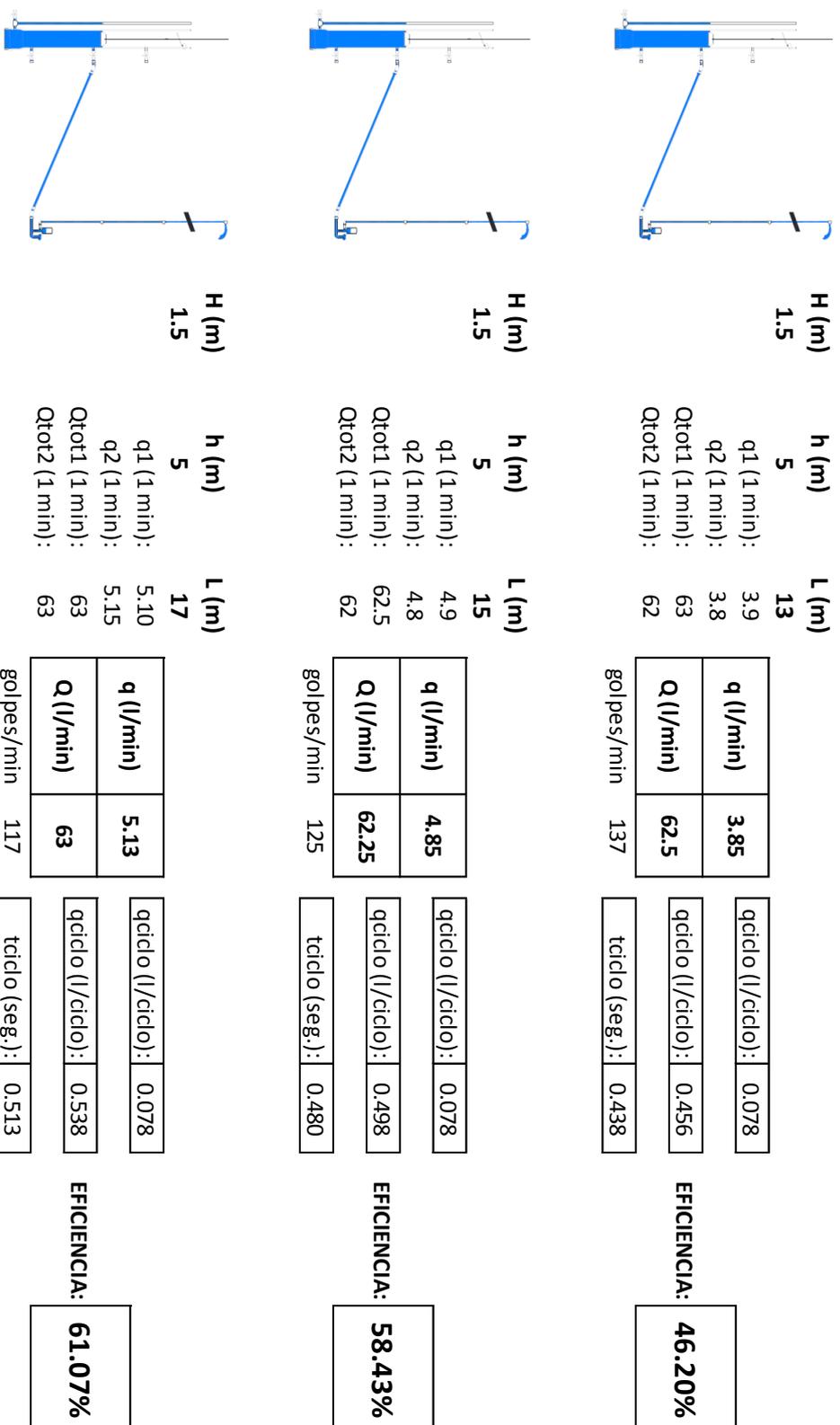
4.1.3. Efecto de la longitud de la tubería de alimentación, L

En este caso, se mantiene constante la altura de elevación ($h=5\text{m}$), la altura de alimentación ($H=1.5\text{m}$), y probar las diferentes longitudes de tubería que podemos lograr con la combinación de tramos de tubería que se tiene, siempre manteniendo una inclinación de 25°). A continuación se presentan los resultados de los ensayos medidos en la figura 23.

En este caso, se observa que a medida que aumentamos la longitud de la tubería de alimentación, L, aumenta también el tiempo de ciclo, lo cual tiene perfecto sentido, ya que por una parte aumenta el tiempo necesario para acelerar el fluido por la tubería de alimentación ya que las pérdidas por fricción aumentan, y por otra parte, las ondas de choque tardan más en recorrer la tubería de alimentación. Sin embargo, la duración del ciclo no nos dice nada en este caso sobre el rendimiento, aumentarán tanto la cantidad de agua gastada por ciclo (Q_{ciclo}) como la de agua elevada (q_{ciclo}).

Sin embargo, si nos fijamos en los caudales en litros por minuto, podemos observar que mientras el caudal elevado (q) no depende apenas de la longitud de la tubería de alimentación, el caudal de agua de alimentación (Q) disminuye a medida que aumentamos la longitud de esta tubería, lo cual hace que el rendimiento aumente.

Figura 23: Efecto de la tubería de alimentación L en la bomba de ariete



L	η	Q	q
13	46.20%	62.5	3.85
15	58.43%	62.25	4.85
17	61.07%	63	5.130

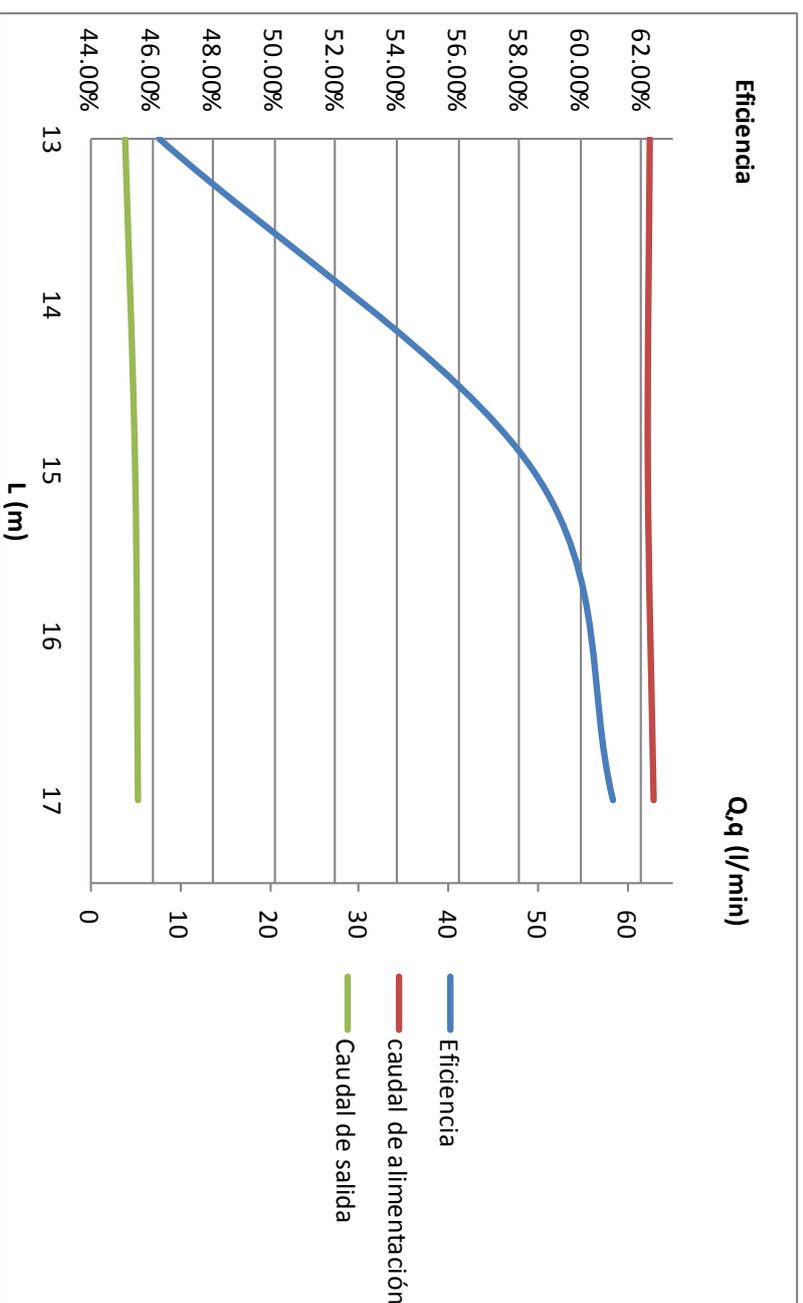


Figura 24. Comportamiento de la bomba de ariete en función de la tubería de alimentación L

4.2. Análisis técnico económico de la bomba de ariete en comparación con un motor de combustión (motobomba)

Los resultados obtenidos en el acápite 4.1, muestran una buena eficiencia de las pruebas preliminares respecto a su funcionamiento. Sin embargo se debe comprobar que dichos resultados están de acuerdo a las necesidades de los pobladores. Es por ello que conociendo dichas necesidades se procede a determinar la demanda necesaria para abastecer de manera adecuada y óptima los requerimientos hídricos de la zona.

Características y análisis de la zona de estudio:

- Comunidad de Suro Antivo, Tumbadén, San Pablo
- Evaluación para 06 familias (de 4 integrantes por familia aprox.)
- El total de cabezas de ganado, de las 06 familias, es de 26.
- Consumo de agua por persona: aprox.: 25 - 30 l/min
- Consumo de agua por animal (vaca) aprox.: 25 - 35 l/min



Figura 25. Entrevista con poblador en la zona de estudio

Agua que demanda el ganado. En primer lugar se determina la cantidad de agua necesaria para el ganado, ya que los propietarios tienen que dirigirse hacia las zonas donde se encuentra este recurso. Es fundamental conocer la cantidad de agua que tomarán los animales en el momento más crítico para poder adecuar el sistema de abrevadero.

De acuerdo a los datos recopilados, la cantidad de consumo de agua es debido principalmente del ganado vacuno. Por lo que el dato considerado para el cálculo considera a la vaca como categoría para el estudio, el cual es propio de la zona de estudio, con un consumo de es de 35 l/día por animal.

Considerando este dato y para 26 cabezas de ganado entre todas las 6 familias en estudio, se tiene que:

$$\begin{aligned} \textit{Demanda de ganado} &= \frac{35l}{\textit{animal. día}} * 26 \textit{ animales} * \frac{1\textit{ día}}{24 \textit{ h}} * \frac{1\textit{ h}}{60\textit{ min}} \\ \textit{Demanda de ganado} &= \frac{0.632 \textit{ l}}{\textit{min}} \end{aligned}$$

Agua que demanda pastos cultivados.

Las pasturas cultivadas son la base de la alimentación de la ganadería al pastoreo ya sea a nivel de valles interandinos o en zonas alto andinas y se las considera como la herramienta principal para manipular la producción en la explotación porque son la fuente de alimento más barata que existe; y al asociar gramíneas con leguminosas proveen un alimento completo y balanceado al ganado (energía y proteína).

El manejo adecuado como por ejemplo, el sistema de “pastoreo controlado” o el pastoreo rotacional, permite optimizar el uso de este recurso incrementando su productividad y su perennidad.

En la comunidad de Suro Antivo, existe una diferencia bien marcada, donde las zonas de la parte inferior, está muy bien cuidada debido a la presencia del recurso hídrico por encontrarse en la zona bajo el canal. En la figura 26 se puede apreciar que por encima del canal las áreas no son aprovechadas por la falta de agua, principalmente por un sistema que permita regarla.



Figura 26. Zona no aprovechada por falta de recursos tecnológicos.

Según el Manual de Riego y Drenaje, Escuela Agrícola Panamericana Honduras 2012; menciona que se necesita un volumen de 10 m³ de agua al día para abastecer 1 hectárea de pasturas. Considerando este espacio para el ganado en mención y el dato, se tiene que:

$$Demanda\ de\ agua\ para\ pasturas = \frac{10000\ l}{día(ha)} * \frac{día}{24h} * \frac{1h}{60min}$$

$$Demanda\ de\ agua\ para\ pasturas = \frac{6.94l}{min.hectarea}$$

Agua que demanda las actividades domésticas

El consumo diario de agua por persona asciende a 30 litros promedio en sus diferentes actividades, tal como lo indican los pobladores.

Considerando este dato, el consumo en la zona de estudio para 6 familias integradas por 4 personas, se tiene:

$$Demanda\ doméstica = \frac{30\ l}{día.\ hab.} * \frac{día}{24h} * \frac{1h}{60min} * 24hab.$$
$$Demanda\ doméstica = \frac{0.5l}{min}$$

Demanda total

Haciendo una sumatoria total de la demanda total analizada en la zona en estudio, se necesita:

$$Demanda\ Total = (0.632 + 6.94 + 0.5) \frac{l}{min}$$
$$**Demanda\ Total = 8.072 \frac{l}{min} de\ agua**$$

Con este dato, se puede seleccionar la mejor opción, con respecto a la configuración de operación del sistema de bombeo con ariete hidráulico.

4.2.1. Beneficio Técnico - Ambiental

Con la demanda hídrica obtenida anteriormente, de 8.072 l/min, la mejor opción es el abastecimiento de agua por medio de 02 bombas de ariete hidráulico conectados en paralelo para incrementar el caudal en, con cuerpo de bomba 1", cuyos parámetros más óptimos son los siguientes:

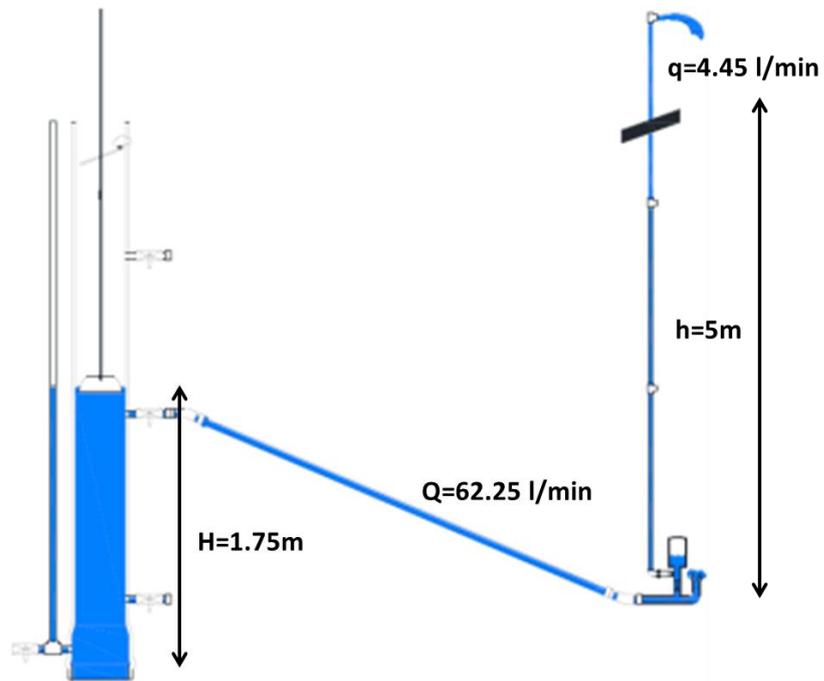


Figura 27. Configuración óptima del sistema de bombeo individual

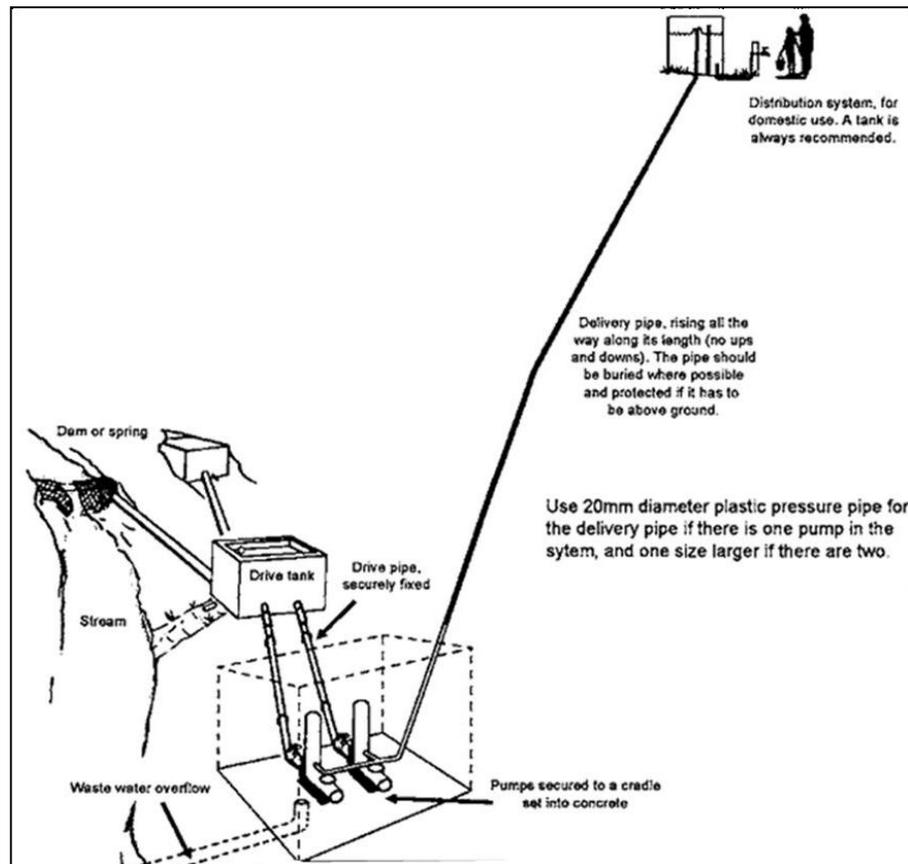


Figura 28. Configuración final del sistema de bombeo
Fuente: (Dominique B. 2005)

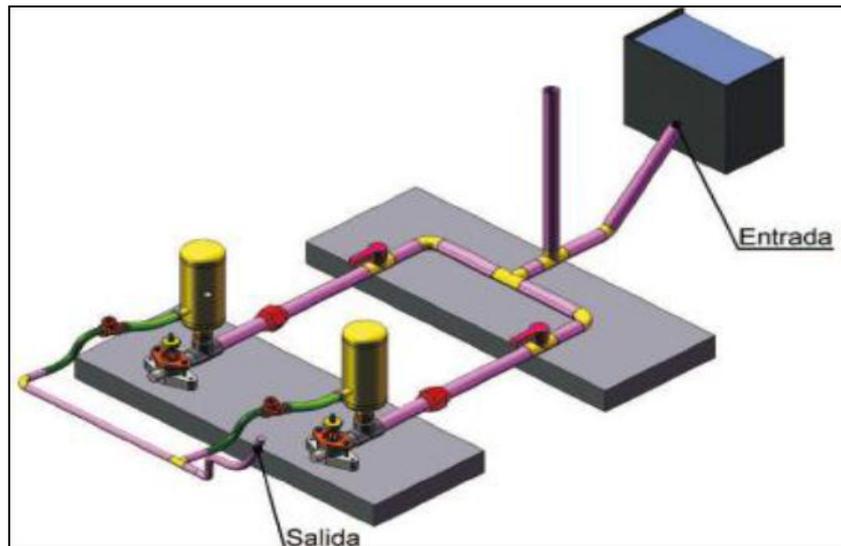


Figura 29. Configuración de las bombas de ariete hidráulico
Fuente: (Dominique B. 2005)

La figura 27 muestra la capacidad que tiene una bomba de ariete hidráulico para elevar 4.45 l/min de agua; por lo que es necesario conectar 02 sistemas conectados en paralelo (figura 28) y de esta manera abastecer las diferentes demandas de la zona en estudio con un total de 8.9 l/min. Cabe mencionar que esta configuración tiene una eficiencia total del sistema de 55.23% siendo un valor número muy aceptable para este tipo de tecnología. La inversión total del sistema asciende a S/.528 nuevos soles, incluyendo accesorios.

Teniendo en cuenta el uso de una bomba de combustión que cumpla con la demanda, estas pueden ser de 1.5" o 2" de succión y descarga. Las características del equipo en mención serían de la siguiente manera:

Motobomba de presión en hierro con diámetro de succión y descarga de 1,5", con potencia máxima de 6,5 HP e impulsada con motor a gasolina. Ideal para aplicaciones de riego, aspersores, grandes desniveles, transporte de agua, entre otros.



Figura 30. Motobomba de 6.5 HP

Tabla 2. Especificaciones técnicas de la motobomba para análisis

Motor	
Marca	Sokan
Modelo	SK-MGR200
Tipo	4 Tiempos OHV
Cilindraje	196cc
Potencia Máxima	6,5HP
Combustible	Gasolina
Consumo de combustible	1,75 Ltrs / hora
Capacidad tanque de combustible	3.6 Ltrs
Sistema de encendido	TCI
Sistema de arranque	Manual
Bomba	
Diámetro succión y descarga	1,5"
Succión máxima	7 mtrs
Cabeza total	60 mts
Caudal máximo	112 Us gal/min 425 Ltrs/min
Material bomba	Hierro fundido
Dimensiones (L x An X Al) mm	385 x 370 x 360
Peso	26,8 kg

Fuente: SOKAN 2014

Fuente: <http://casaagraria.co/index.php/blog/grid-layout/motobombas>

Cabe mencionar que el precio de estos equipos fluctúa desde los \$120 hasta los \$250 dependiendo de la marca y algunas características técnicas.

De acuerdo con los datos y necesidades demandadas del recurso hídrico, utilizando la motobomba solo es necesario el uso de una hora diaria para satisfacer la demanda, por lo que el uso de combustible sería de 1.75 l/h.

Análisis comparativo

Haciendo un análisis del sistema de bombeo con ariete hidráulico, se menciona lo siguiente:

Ventajas:

1. No requiere electricidad, combustible ni trabajo humano para su funcionamiento.
2. Todo el equipo es de bajo costo y sus piezas son de fácil recambio, materiales de reparación de fácil acceso.
3. Requiere un mínimo de mantenimiento.
4. Funciona automáticamente ante un suministro de agua.
5. Puede usarse todo el año en los cuerpos de agua disponibles.

Desventajas

1. La altura a la que se desea bombear depende de la caída de agua.
2. Bombeo por pulsación
3. Bombea poco caudal.
4. Rendimientos bajos en relación a las electrobombas y motobombas.

Análisis Ambiental

Desde el punto de vista ambiental, podemos mencionar que por ser una máquina de combustión interna existe la presencia de residuos gaseoso producto de la combustión de la gasolina.

Según Palau N. Ecología, 2010; una motobomba que utiliza gasolina como carburante, emite 2.32 Kg de CO₂ por cada litro de gasolina que combustiona; y considerando los parámetros de operación de la motobomba; la cantidad de emisión de CO₂ sería de:

$$\text{Cantidad de CO}_2 = \frac{1.75 \text{ lt}}{\text{día}} * \frac{2.32 \text{ Kg de CO}_2}{\text{lt}}$$

$$\text{Cantidad de CO}_2 = 4.06 \frac{\text{Kg de CO}_2}{\text{día}}$$

$$\text{Cantidad de CO}_2 = 121.8 \frac{\text{Kg de CO}_2}{\text{mes}}$$

Siendo, ésta la cantidad de CO₂, que se emitiría a la atmosfera si se utiliza una motobomba para las consideraciones de operación expuestas anteriormente. Además se consideraría que la máquina como tal no puede estar parada por lo que probablemente se utilizaría en otros lugares emitiendo mayor cantidad de CO₂ al ambiente; mientras que con el sistema de bombeo con ariete hidráulico no habría emisiones.

4.2.2. Beneficio económico

A continuación, en la tabla 3, se aprecia la comparación de costos e inversiones que incurrirían cada tecnología, hallando para ello el VAC, en donde se trabaja con aquella tecnología que cuesta menos:

Tabla 3: Cuadro comparativo de costos entre alternativas

Parámetro	Sistema de Bomba de Ariete	Motobomba
Inversión (S/.)	528	640
Accesorios (S/.)	340	340
Costos de O/M (año) (S/.)	150	500
Periodo de evaluación	10 años	10 años
Tiempo de vida útil (años)	4 - 6	6 - 8
Valor Actual de Costos (VAC) VAC= $\sum C_i/(1+i)^{n_i}$; donde: C _i , costo de cada alternativa	- 1521.29	- 3157.73

Según la tabla N° 3, económicamente es más rentable el sistema de bomba de ariete, ya que la alternativa seleccionada, para dos proyectos de mejora, se elige el que cuesta menos; además, teniendo en cuenta este requerimiento y la situación actual de la comunidad, es necesario utilizar el sistema de bombeo con ariete hidráulico (ver Anexo V para el detalle de la evaluación económica).

4.3. Análisis Social

De acuerdo con el Anexo VII, la percepción del poblador según los aspectos técnico, económico y ambiental, es lo siguiente:

ASPECTO TÉCNICO

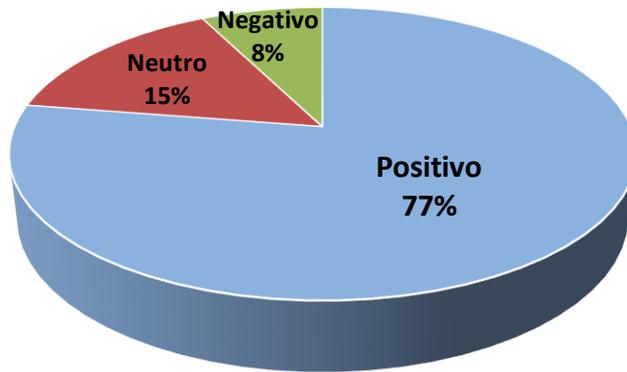


Figura 31: Percepción del poblador sobre el aspecto técnico

ASPECTO ECONÓMICO

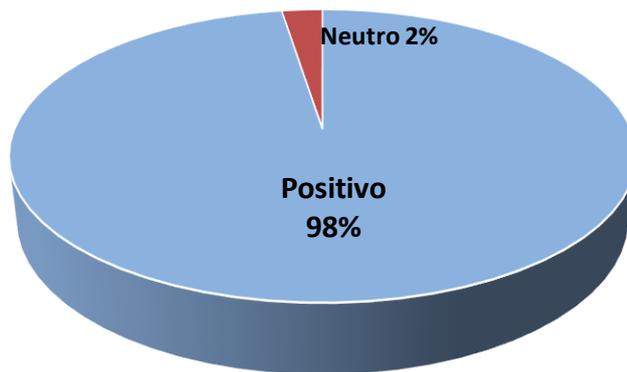


Figura 32: Percepción del poblador sobre el aspecto económico

ASPECTO AMBIENTAL

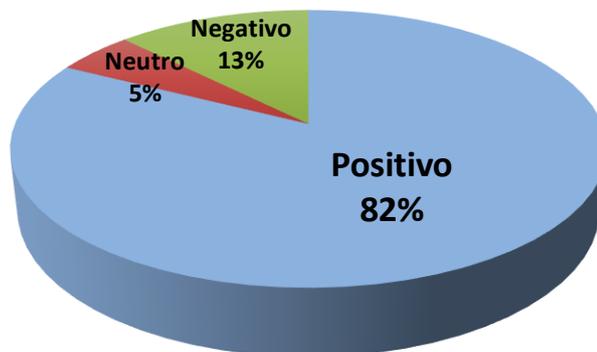


Figura 33: Percepción del poblador sobre el aspecto ambiental

De acuerdo a las figuras mostradas, se considera que el nivel de satisfacción que proporciona el uso y aplicación de esta tecnología es positiva; donde, el Sistema de Bombeo con Ariete Hidráulico es una tecnología positiva desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.

Cabe mencionar que la encuesta aplicada fue realizada a 10 pobladores directos de la zona en estudio; tal cantidad se debió a aquellas personas que estuvieron prestas a apoyar en la encuesta, ya que ciertos pobladores, tienen la consigna que cualquier estudio que se realiza en la zona va con intereses negativos.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, desde el punto de vista social tendría una repercusión muy importante, ya que es una tecnología que no contamina, es muy económica y que permite tener acceso a uno de los recursos, si no, el más importantes del planeta; el agua. Este a su vez, permite mejorar las condiciones de salud del poblador, porque no solo el agua se utilizaría para actividades de producción si también domésticas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La efectividad del sistema de bombeo con ariete hidráulico en la zona rural de la Provincia de San Pablo – Cajamarca es la más óptima bajo las circunstancias de trabajo analizadas, ya que la eficiencia del equipo es de 55.23% y es más económica desde su inversión hasta sus costos de operación y mantenimiento.

La demanda total del recurso hídrico en la parte superior de la zona en estudio, es de 8.072 l/min; lo cual considera, demanda por ganado (0.632 l/min), demanda por riego de pasturas (6.94 l/min) y demanda doméstica (0.5 l/min). Mientras que la oferta la proporciona un canal la cual alimenta la zona baja del lugar, proporcionando para ello de 15 a 25 l/s de agua.

Los parámetros de diseño y operación del sistema de bombeo con ariete hidráulico son: cuerpo de la bomba 1", altura de alimentación $H = 1.75\text{m}$, altura de descarga $h = 5\text{ m}$, caudal de alimentación $Q = 62.25\text{ l/min}$ y el caudal de descarga $q = 4.45\text{ l/min}$; como el sistema será una instalación en paralelo; esta proporciona 8.9 l/min para cubrir la demanda. Cabe mencionar que esta configuración tiene una eficiencia total del sistema de 55.23% siendo un valor número muy aceptable para este tipo de tecnología.

A comparación de la bomba de ariete con una motobomba, una de las cosas que más resalta es la continuidad de trabajar durante todo el día, sin utilizar algún tipo de energía por lo que no hay emisiones de gases al ambiente. Sin embargo bajo las consideraciones de operación con una motobomba esta

podría generar 121.8 Kg CO₂/mes en su etapa de operación, aumentado si el equipo se utilizara en otros lugares.

Desde el punto de vista económico es más rentable ya que al comparar con una motobomba, el VAC de la bomba de ariete hidráulico es de S/. 1521.29 mientras que de la motobomba es de S/. 3157.73, siendo la primera alternativa (bomba de ariete hidráulico) la de menor costo.

El nivel de satisfacción del poblador rural de la zona en estudio es positiva, desde los aspectos, técnico, económico y ambiental, para con la tecnología del sistema de bombeo con ariete hidráulico.

5.2. Recomendaciones

Se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones para mejorar la eficiencia del sistema, así como impulsar este tipo de investigaciones:

El caudal gastado en cada ciclo de impulso puede ser aprovechado para riego en cultivos situados a un nivel inferior que el sitio de bombeo o también puede ser canalizado hacia otro ariete que bombee el agua para almacenamiento.

Llegar a alturas de elevación mayores, para las que según los resultados del modelo teórico se obtienen mayores rendimientos de la bomba. Esto podría conseguirse ampliando la longitud de la tubería de elevación o añadiendo una válvula que genere una pérdida de carga, simulando una altura mayor.

Incentivar y promocionar el uso de los arietes hidráulicos en el área rural a través de demostraciones prácticas que permitan tener una visión clara y precisa de las ventajas que ofrecen estos sistemas de bombeo.

LISTA DE REFERENCIAS

Libros:

- Cengel Y. y Cimbala. J. 2006. *Mecánica de Fluidos, Fundamentos y Aplicaciones*. 1ª edición. Editorial McGRAW-HILL de Mexico. P 321-364.
- Karassik, I. J., Messina, J. P., Cooper, P., Heald, C. C., eds., 2000. *Pump Handbook*, 3rd ed., McGraw-Hill Professional Publishing.
- King, H. W., And Brater, E. F., 1996. *Handbook of Hydraulics*, 7th ed., McGraw-Hill Book Company, New York.
- Shames. I., 1992. *Mecánica de Fluidos*, 3rd ed., McGraw-Hill Book Company, New York.

Artículos científicos:

- Arapa J., 2015. *Evaluación del rendimiento del ariete hidráulico bah-1.1/2 variando la longitud de la tubería de alimentación y condiciones de operación de la válvula de impulso*. Universidad Agraria La Molina, Lima-Perú. ISSN 2519-7398
- Jara C. N., Campoverde O. E. y Pizarro J. D. 2011. *Emplazamiento, implementación, pruebas de funcionamiento y propuestas de mejora de los sistemas de bombeo mediante rueda hidráulica y ariete multipulsor para el abastecimiento de agua para irrigación en la localidad del campus UPS – Juan Lunardi – Yumacay – Paute – Azuay*". INGENIUS. N° 6, (julio/diciembre). pp. 49-60. ISSN: 1390-650X.
- Mohammed S. 2007. *Design and Construction of a Hydraulic Ram Pump*. ISSN 1583-1078: 59-70.
- Nwosu C. A. and Madueme T. C., 2013. *Recycled Micro Hydropower Generation Using Hydraulic Ram Pump (Hydram)*. IMPACT: IJRET 1: 1-10.
- Quiroga M.J., Sierra. G.C. y Biancha G.G., 2013. *Análisis del ariete hidráulico para diferentes configuraciones*. Rev. UIS. Ingenierías, vol.12, n.2, p.p 29-34.
- Seemin Sheikh and Nwosu C. A. 2013. *A Generalised Design Approach for Hydraulic Ram Pump*. IMPACT: IJRET 3: 551-554.

Material electrónico

Revistas Científicas:

Dominique B. 2005. *Design, Sizing, Construction and Maintenance of Gravity-Fed Systems in Rural Areas. Module 6: Hydraulic Ram Pump Systems*. Disponible en: http://www.pseau.org/outils/ouvrages/acf_gravity_fed_system_in_rural_areas_6_hydraulic_ram_pump_systems_2009.pdf. (Última consulta 10/11/2014).

JICA, 2012. Guía Agropecuaria: *Estudio de Promoción y Difusión de Buenas Prácticas "Bomba de Ariete" del Proyecto Tawan Ingnika*. Disponible en: http://www.jica.go.jp/nicaragua/espanol/office/others/c8h0vm000001q4bc-att/32_realizados_01.pdf. (Última consulta 10/11/2014).

NW Independent Power Resources Home Built Hydraulic Ram Pumps. *Two Useful Designs show you how to pump water free*. En: <http://www.inthefieldministries.org/jscalhou/Home%20Built%20Hydraulic%20Ram%20Pumps.pdf> (Última consulta 10/11/2014).

Practical Action, the Schumacher Centre for Technology and Development. *Hydraulic Ram Pumps*. Disponible en: <http://practicalaction.org/media/download/10504/force:1>. (Última consulta 10/11/2014).

Programa de Agricultura Sostenible en Laderas de América Central-PASOLAC. *Bomba De Ariete Hidráulico UD*. Disponible en: <file:///C:/Users/HP/Downloads/bomba%20ariete%20hidraulico%20-%20pasolac.pdf>. (Última consulta 10/11/2014).

Zoller F., Woudstra J. and Van der Wiel M. 2006. *Hydraulic Ram Pumping In Rural Community Development. Rijswijk University of Professional Technical Education, the Netherlands and Biogas Technology Africa CC, Durban, South Africa*. Disponible en: http://active.cput.ac.za/energy/past_papers/DUE/2006/PDF/30-%20067%20-%20F%20Zoller%20.pdf. (Última consulta 10/11/2014).

Casabella N. 2016. Cálculo de las emisiones de CO₂. Disponible en: <https://noticias.eltiempo.es/calculadora-emisiones-de-co2-cuanto-emite-coche/> (Última consulta 12/10/2016).

Tesis:

Acitores M. F. 2012. Universidad Carlos III de Madrid. Tesis de grado: *Estudio Teórico y Experimental de La Bomba De Ariete*. Disponible en: https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0CC0QFjAC&url=http%3A%2F%2Farchivo.uc3m.es%2Fbitstream%2Fhandle%2F10016%2F14685%2FPFC_Fco.Javier_Acitores_Martinez.pdf%3Fsequence%3D1&ei=bqBwVJvpHIGggwSAhWE&usg=AFQjCNG_-eVkJKovdeYTf8OSUqvYiPliTrQ&bvm=bv.80185997,d.eXY. (Última consulta 10/11/2014).

Galarza C. R. 2013. Universidad Técnica de Ambato. Tesis de Grado: *Estudio de Factores Hidráulicos en una Bomba de Ariete y su efecto sobre la eficiencia*. Ecuador. Disponible en: <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/3714/Tesis%20I.%20M.%20157%20Galarza%20Chac%C3%B3n%20Ra%C3%BA1%20Fernando.pdf?sequence=1>. (Última consulta 10/11/2014).

Gómez C. P. 2012. Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico en Cómputo. Tesis de Maestría *Diseño Paramétrico de Una Bomba de Ariete Hidráulico*. México. Disponible en: <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/16134/Dise%C3%B1o%20Parametrico%20de%20una%20Bomba%20de%20Ariete%20Hidraulico.pdf?sequence=1>. (Última consulta 10/11/2014).

Ortega Nebra O. J. 2013. Universidad de Zaragoza. Tesis de Grado: *Construcción, caracterización hidráulica y estudio de aplicación de una bomba de ariete para el riego de una finca agrícola*. Disponible en: <http://zaguan.unizar.es/TAZ/EPHUES/2013/10487/TAZ-PFC-2013-200.pdf>. (Última consulta 10/11/2014).

Tuquinga G. R. 2012. Escuela Superior Politécnica Chimborazo. Tesis de Grado:
*Diseño e instalación de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en la
comunidad de Airón Cebadas. Ecuador.* Disponible en:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2403/1/15T00519.pdf> (Última
consulta 10/11/2014).

ANEXO I

Arietes hidráulicos comerciales

Green&Carter (Ashbrittle, Reino Unido <http://www.greenandcarter.com/>)

Green&Carter es una empresa inglesa de gran recorrido que poseyó una fundición de hierro en Kingsworthy, fabricando, ya por aquel entonces, bombas de ariete y distribuyéndolas a lo largo de todo el mundo. En 1928, esta empresa adquirió el negocio de James Easton, compañía que comenzó la fabricación a escala comercial de los arietes hidráulicos e introdujo la bomba de ariete en



Inglaterra, comprando la patente a J. Montgolfier y a J. Whitehurst. Desde entonces hasta el día de hoy, esta empresa sólo fabrica arietes hidráulicos tipo Vulcan, variando forma y tamaño para ajustarse a las necesidades de cada cliente. Los tamaños que fabrican son de 1.25", 1.5", 2", 2.5", 3", 4", 5", 6" y 8", admitiendo la posibilidad de fabricar otros, incluso más grandes, bajo pedido.

Accrington, Reino Unido (<http://www.allspeeds.co.uk/>; **Blake Hydram**)

Blake Hydram, al igual que Green&Carter, es una empresa muy antigua que tiene su inicio en 1865 cuando John Blake crea un prototipo de ariete hidráulico para



comercializar. En la actualidad, pertenece a Allspeeds Ltd., empresa que aglutina cinco actividades distintas, con 150 años de antigüedad heredados en el diseño y

fabricación de equipos hidráulicos y mecánicos de alta calidad y con gran reputación Blake Hydram fabrica arietes hidráulicos de distintos tamaños poseyendo diámetros de 1", 2", 3", 3.5", 4", 5", 6", 7", 8" y 10".

Walton (Bordeaux, Francia <http://www.wa>)

Desde 1910, Walton se ha especializado en la gestión del agua. Esta empresa familiar es reconocida a través de sus conocimientos y experiencia en el campo de los sistemas hidráulicos, sistemas de riego y estaciones de bombeo. Con el avance tecnológico, Walton ha ampliado su gama de ofertas. Sus proyectos de riego, fuentes, estaciones de bombeo, sistemas hidráulicos, o las instalaciones



sanitarias se complementan con consejos de instalación y diseño. Es el único fabricante francés de arietes hidráulicos tradicionales, comercializando siete tamaños distintos del ariete tipo Walton "W"

Schlumpf (Vilters, Suiza <http://www.schlumpf.ch/>)

Esta empresa debe su nombre a Johann Georg Schlumpf quien construyó su primer ariete en 1885 con la característica sobresaliente de tratarse del único completamente libre de mantenimiento, sin ventar y purgar.

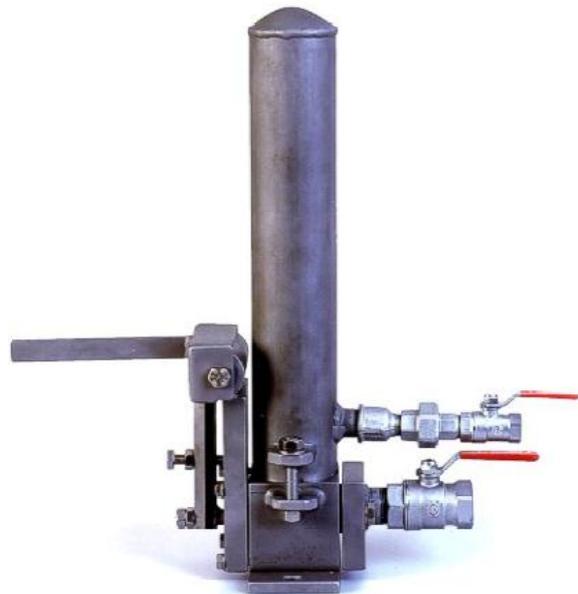
Schlumpf, al igual que otras empresas que deben su existencia a personas que en siglos anteriores han experimentado con estas bombas, han ido mejorando día a día sus prototipos, debido a su experiencia y al desarrollo de la tecnología.

Hoy en día, comercializa arietes de distintos tamaños: 0.5", 1", 1.5", 2", 2.5", 3" y 4", existiendo la posibilidad de fabricación de distintos tamaños especiales bajo pedido.



Zahner Metallbearbeitung (Uznach, Suiza <http://www.wasserpumpe>)

Empresa suiza que tiene patentado y fabrica el ariete Wasserpumpe Widder. Dispone de distintos tamaños de fabricación, de 1", 2", 2.5", 3", 4", 6" y 8".



Wama Widder (Oberneukirchen, Alemania <http://www.wama>)

El nombre y la patente de esta empresa alemana, Wama-widders Viene de las diferentes válvulas obtenidas de la Wa Pagne y de la Grafing Ma, de ahí el nombre WAMA.

La producción del ariete hidráulico con Kiehl Max. Aún después de su muerte, en diciembre de 2003, la empresa ha continuado con la producción, manteniéndose su nombre original.



Wama fabrica doce arietes de distintos tamaños que poseen un abastecimiento desde 3 litros por minuto a 600 litros por minuto.

Centragua (Buenos Aires, Argentina; <http://www.centragua.com.ar/>)

Centragua es una empresa dedicada a la venta de todo tipo de bombas para la elevación del agua sus repuestos y reparación, con más de 25 años en el mercado. Entre los distintos equipos que se comercializan están los Arietes hidráulicos, bombas manuales, bombas de diafragma, bombeadores y bombas centrífugas. Disponen de cuatro tamaños distintos de arietes hidráulicos, pudiendo ser de 1", de 1.5", de 2" y de 2.5".



ANEXO II. Matriz de consistencia metodológica

Tabla 4: Efectividad del Sistema de Bombeo con Ariete Hidráulico en la Zona Rural de La Provincia de San Pablo – Cajamarca.								
Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	VARIABLES	Dimensiones	Indicadores	Fuente o instrumento de recolección de datos	Metodología	Población y muestra
¿Cuál es la efectividad del sistema de bombeo con ariete hidráulico en la zona rural de la Provincia de San Pablo – Cajamarca?	Determinar la efectividad del sistema de bombeo con ariete hidráulico en la zona rural de la Provincia de San Pablo – Cajamarca	El sistema de bombeo con ariete hidráulico es efectivo en la zona rural de la provincia de San Pablo – Cajamarca, en su uso y aplicación.	Efectividad del sistema de bombeo con ariete hidráulico	Eficiencia	Rendimiento %	Análisis matemático	Experimental: En esta investigación se estudia las relaciones de causalidad utilizando la metodología experimental con la finalidad de manejar los parámetros hidráulicos de operación. Correlacional: porque determina el grado de relación o asociación causal existente entre la efectividad del sistema de bombeo con ariete hidráulico y el grado de satisfacción del poblador de la comunidad.	Población: Provincia de San Pablo Muestra: Caserío de Suro Antivo, perteneciente al centro poblado de Ingatambo, al noreste del distrito de Tumbadén, provincia de San Pablo, Región Cajamarca. Unidad de análisis: Sistema de bombeo con ariete hidráulico. Unidades de observación: INEI, SENAMHI
				Eficacia	Indicadores económicos Demanda satisfecha (m ³ /s) Ambiental(CO ₂ /kwh)	Análisis matemático		
			Caudal de alimentación	Flujo volumétrico	m ³ /s	Ficha de campo		
			Altura de carga	Altura	Unidad de longitud (m)	Ficha de campo		
			Altura de descarga	Altura	Unidad de longitud (m)	Ficha de campo		
¿Qué parámetros se deben tomar en cuenta para el análisis energético de una bomba de ariete hidráulico? ¿Qué configuración de bomba de ariete hidráulico será la más efectiva para el abastecimiento de agua de la zona en estudio? ¿Qué diagramas son importantes para determinar y representar la optimización operacional del sistema de bomba de ariete? ¿Cuál es la percepción ambiental y social del poblador rural respecto al uso del sistema de bomba de ariete en sus actividades cotidianas?	Establecer las necesidades de demanda y oferta del recurso hídrico de la zona en estudio. Determinar los parámetros de diseño y operación del sistema de bombeo con ariete hidráulico. Seleccionar la configuración del sistema de bomba de ariete hidráulico más efectiva para el abastecimiento de agua de la zona en estudio. Implementar y analizar la eficiencia del sistema de bombeo con ariete hidráulico en la fase de operación. Analizar la percepción ambiental y social del poblador rural respecto al uso del sistema de bomba de ariete en sus actividades cotidianas.	La efectividad del sistema de bombeo con ariete hidráulico en actividades cotidianas del poblador rural, está vinculada positivamente con el nivel de satisfacción que les proporciona su uso y aplicación.	Satisfacción del poblador rural	Grado de satisfacción	1= Totalmente en desacuerdo 2= En desacuerdo 3= Ni de acuerdo ni en desacuerdo 4= De acuerdo 5= Totalmente de acuerdo	Cuestionario/ entrevista (escala de Likert)		

ANEXO III

Datos obtenidos de las pruebas realizadas a la bomba de ariete

Tabla 5: Datos para altura de bombeo de 5,6 y 7 m

Altura de bombeo (m) descarga	Número de pruebas	Caudal de alimentación Q (l/min)	Caudal de bombeo q (l/min)	Número de golpes por minuto
5	1°	63	3.8	136
	2°	62	3.8	138
	3°	63	3.9	137
	4°	63	3.8	138
	5°	62	3.9	137
6	1°	62	3.5	137
	2°	63	3.5	138
	3°	63	3.52	136
	4°	63	3.45	135
	5°	62	3.4	136
7	1°	62	3.2	136
	2°	63	3	136
	3°	62	3.1	137
	4°	63	3.1	137
	5°	62	3.1	138

Tabla 6: Datos para altura de alimentación de 1.5, 1.75 y 2 m

Altura de alimentación (m)	Número de pruebas	Caudal de alimentación Q (l/min)	Caudal de bombeo q (l/min)	Número de golpes por minuto
1.5	1°	63	3.8	136
	2°	62	3.8	138
	3°	63	3.9	137
	4°	63	3.8	138
	5°	62	3.9	137
1.75	1°	70	4.4	137
	2°	71	4.5	138
	3°	71	4.5	136
	4°	71	4.4	135
	5°	70	4.5	136
2	1°	87	4.9	149
	2°	86	4.8	147
	3°	86	4.85	147
	4°	86	4.8	147
	5°	87	4.9	148

Tabla 7: Datos para longitud de tubería 13, 15 y 17 m

Longitud de Tubería (m)	Número de pruebas	Caudal de alimentación Q (l/min)	Caudal de bombeo q (l/min)	Número de golpes por minuto
13	1°	63	3.8	136
	2°	62	3.8	138
	3°	63	3.9	137
	4°	63	3.8	138
	5°	62	3.9	137
15	1°	62	4.9	126
	2°	63	5	125
	3°	63	4.7	125
	4°	62	4.8	126
	5°	62	4.8	124
17	1°	62	5.2	117
	2°	63	5.1	118
	3°	63	5.15	118
	4°	63	5.2	118
	5°	62	5	116

ANEXO IV

PRESUPUESTO TOTAL DE LAS BOMBAS DE ARIETE

Tabla 8. Presupuesto para 01 bomba de ariete

Accesorios	Dimensión	Cantidad	P.U. (S/.)	P. Total (S/.)
Válvula PVC	1"	1	18	18
Válvula PVC	1/2"	1	15	15
Uniones doble PVC	1"	6	2.5	15
"T" PVC	1"	2	8	16
Codo PVC	1"	1	4	4
Tubería (dif. medida)	varios	1	35	35
válvula Check	1"	1	85	85
válvula de canastilla	1"	1	55	55
Reductor PVC	1" a 3/4"	1	8	8
Reductor PVC	1" a 1/2"	1	7	7
Union doble PVC	1/2"	1	6	6
Total (inc. IGV) S/.				264

Fuente: (SODIMAC, 2016)

Por lo tanto, para un sistema de bombeo con ariete hidráulico sería de S/. 264*2; haciendo un total de S/. 528.00

ANEXO V

Evaluación económica de las alternativas, considerando el sistema de bomba de ariete y la motobomba

Concepto	Bombeo Ariete	Motobomba
Inversión (S./)	528	640
Accesorios (S./)	340	340
Costos de O/M (año) (S./)	150	500
Tiempo de vida útil (años)	4 - 6	6 - 8

EVALUACION ECONOMICA PARA LAS DOS ALTERNATIVAS (Se eligirá la que cueste menos a lo largo de 10 años como periodo de evaluación)											
N° de años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVERSION	-868	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-150
VAN (Bomba de ariete)	S/- -1,521.29										
N° de años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVERSION	-980	-500	-500	-500	-500	-500	-500	-500	-500	-500	-500
VAN (Motobomba)	S/- -3,157.63										

ANEXO VI

ENCUESTA – PERCEPCION DEL POBLADOR

Este cuestionario intenta recabar sus opiniones sobre la propuesta para la implementación y uso del sistema de bombeo con ariete hidráulico, considerando los aspectos técnico, económico y ambiental del sistema comparado con los convencionales. Cada declaración tiene 05 posibles propuestas:

- (1) Muy de acuerdo (2) De acuerdo (3) Ni de acuerdo, ni en desacuerdo
(4) En desacuerdo (5) Muy en desacuerdo

Desde el punto de vista TÉCNICO

N°	Pregunta	1	2	3	4	5
1.-	La propuesta permitirá mejorar las actividades productivas de los pobladores					
2.-	El sistema de bombeo propuesto abastecerá de agua de forma adecuada y continua a la zona en estudio					
3.-	El sistema de bombeo propuesto es mejor que la motobomba					
4.-	El sistema de bombeo funcionará por varios años					

Desde el punto de vista ECONÓMICO

N°	Pregunta	1	2	3	4	5
1.-	El sistema de bombeo propuesta es más económico que una motobomba					
2.-	El sistema de bombeo propuesto, al pasar los años, seguirá siendo más económico que la motobomba					
3.-	Los accesorios y el mantenimiento del sistema de bombeo propuesto son más baratos que la motobomba					
4.-	El sistema de bombeo propuesto permitirá mejorar las condiciones de vida de los pobladores					

Desde el punto de vista AMBIENTAL

N°	Pregunta	1	2	3	4	5
1.-	Desde el punto de vista ambiental el sistema de bombeo propuesto es menos contaminante que la motobomba					
2.-	El sistema de bombeo propuesto no emite gases					
3.-	El sistema de bombeo propuesto utiliza una forma de energía limpia					
4.-	El sistema de bombeo propuesto no desperdicia agua					

ANEXO VII

Resultados obtenidos de la aplicación del cuestionario para 10 personas

N°	Pregunta	1	2	3	4	5
1.-	La propuesta permitirá mejorar las actividades productivas de los pobladores	3	6	1		
2.-	El sistema de bombeo propuesto abastecerá de agua de forma adecuada y continua a la zona en estudio	3	6	1		
3.-	El sistema de bombeo propuesto es mejor que la motobomba	1	4	2	3	
4.-	El sistema de bombeo funcionará por varios años	5	3	2		
SUMATORIA TOTAL		12	19	6	3	0

Positivo = 31

Neutro = 6

Negativo = 3

N°	Pregunta	1	2	3	4	5
1.-	El sistema de bombeo propuesta es más económico que una motobomba	7	3			
2.-	El sistema de bombeo propuesto, al pasar los años, seguirá siendo más económico que la motobomba	6	4			
3.-	Los accesorios y el mantenimiento del sistema de bombeo propuesto son más baratos que la motobomba	8	2			
4.-	El sistema de bombeo propuesto permitirá mejorar las condiciones de vida de los pobladores	6	3	1		
SUMATORIA TOTAL		27	12	1	0	0

Positivo = 39

Neutro = 1

Negativo = 0

N°	Pregunta	1	2	3	4	5
1.-	Desde el punto de vista ambiental el sistema de bombeo propuesto es menos contaminante que la motobomba	8	2			
2.-	El sistema de bombeo propuesto no emite gases	9	1			
3.-	El sistema de bombeo propuesto utiliza una forma de energía limpia	7	3			
4.-	El sistema de bombeo propuesto no desperdicia agua		3	2	5	
SUMATORIA TOTAL		24	9	2	5	0

Positivo = 33

Neutro = 2

Negativo = 5

ANEXO VIII
FOTOGRAFIAS DEL SITIO DE ESTUDIO



Riego parcial del lugar



Desarenador, con caudal paralelo como punto de alimentación



Desnivel desde el punto de alimentación



Desnivel aproximado de 25°



Canal de derivación como punto de alimentación



Zona inferior y superior del canal



Vista de la diferencia entre zona con regadío y sin regadío



Visita a la zona de estudio