UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO"

FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA

"EVALUACIÓN DE FACTORES HIDRÁULICOS EN UNA BOMBA DE ARIETE QUE PERMITAN EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL ÁREA RURAL DEL DISTRITO DE INDEPENDENCIA - HUARAZ – 2016"

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO SANITARIO

BACHILLER BLANCA SHIRLEY ENRIQUEZ ALVA

ASESOR: ING. KIKO FELIX DEPAZ CELI

HUARAZ – ANCASH – PERÚ

DICIEMBRE - 2017

DEDICATORIA

Con mucho cariño a Dios, por permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más, a mis padres Sofía y Julio, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor, a mis hermanos Josmell, Julio, Lizbeth y Mirella, por los consejos de perseverancia y constancia, que me han infundado siempre y por el valor mostrado para salir adelante, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

AGRADECIMIENTO

El grato agradecimiento a la Facultad de Ciencias del Ambiente, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser una persona útil para la sociedad.

Quiero agradecer por la asesoría en la elaboración de la presente tesis al distinguido Ing. Depaz Celi Kiko Felix, quien me orientó y brindó la asistencia técnica y profesional suficiente para el buen desarrollo de la misma que enmarca el último escalón hacia un futuro en donde seré partícipe en el mejoramiento de la sociedad.

A los docentes que me han acompañado durante el largo camino, brindándome siempre su orientación con profesionalismo ético en la adquisición de conocimientos y afianzando mi formación.

Finalmente agradezco a mis amigos y futuros colegas, que siempre me motivaron a salir adelante.

INDICE

DEDICATORIA ii
AGRADECIMIENTO iii
INDICE iv
RESUMEN EJECUTIVO ix
ABSTRACT xi
CAPÍTULO I 1
INTRODUCCIÓN 1
1.1 INTRODUCCIÓN 1
1.2 OBJETIVOS 2
1.2.1 OBJETIVOS GENERALES: 2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS: 2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3
1.4 HIPÓTESIS 3
CAPÍTULO II 4
MARCO TEÓRICO 4
2.1 ANTECEDENTES 4
2.2 FUNDAMENTACIÓN DE LA TESIS 5
2.2.1 FUNDAMENTACIÓN LEGAL 5
2.2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA 6
2.2.3 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA 7
2.3 ÁMBITO DE ESTUDIO 30
2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS 31
CAPÍTULO III 33
METODOLOGÍA 33
3.1 MATERIALES Y MÉTODOS DE LA TESIS 33
3.2 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN 48
3.3 DISEÑO ESTADÍSTICO 49
3.3.1 TIPO DE ESTUDIO 49
3.3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 49
3.4 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN 51
3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN 52
CAPÍTULO IV 53

RESULTADOS 53
CAPÍTULO V 69
DISCUSIÓN 69
CAPITULO VI 74
CONCLUSIONES 74
RECOMENDACIONES 74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 77
ANEXO .....

RELACIÓN DE ECUACIONES

Ecuación N° 01: Relación longitud diámetro de la tubería de impulsión
Ecuación N°02: Número de golpes por minuto de las válvulas de impulsión.
Ecuación N°03: Bernoulli
Ecuación N°04: Darcy Weisbach
Ecuación N°05: Altura del tanque de alimentación
Ecuación N°06: Altura del tanque de alimentación respecto a la longitud de la tubería de impulsión.
Ecuación N°07: Longitud de la Tubería de impulsión.
Ecuación N°08: Potencia hidráulica
Ecuación N°09: Eficiencia de un Ariete hidráulico
Ecuación N°10: Eficiencia de D´Aubuisson
Ecuación N°11: Eficiencia de Rankine
Ecuación N°12: Caudal de desperdicio

RELACIÓN DE CUADROS

Cuadro N°01: Longitud de tubería de impulsión en función del diámetro.
Cuadro N°02: Longitud de tubería de impulsión en función a la altura de impulsión.
Cuadro N°03: Rango de longitud de tubería para diversos diámetros
Cuadro N°04: Número de golpes por minuto de la válvula de impulsión
Cuadro N°05: Parámetros de la cámara de aire
Cuadro N°06: Resultados del aforo en la captación
Cuadro N°07: Caudal de Impulsión para la Tubería de impulsión de 1”
Cuadro N°08: Caudal de Impulsión para la Tubería de impulsión de 2”
Cuadro N°09: Altura vertical de la bomba al sitio de descarga generada por los sistemas
Cuadro N°10: Prueba de muestras independientes de la Altura de descarga Hd
Cuadro N°11: Caudal de descarga y Altura de descarga
Cuadro N°12: Prueba de muestras independientes del Caudal de descarga (q)
Cuadro N°13: Longitud de tubería de Impulsión (m)
Cuadro N°14: Golpes por minuto producidos por la Bomba de ariete

Cuadro N°15: Golpes por minuto y Caudal de descarga
Cuadro N°16: Perdida de carga producida por la tubería de impulsión (m)
Cuadro N°17: Potencia generada en los sistemas.
Cuadro N° 18: Eficiencia generada en los sistemas.
Cuadro N° 19: Eficiencia y Altura de descarga
Cuadro N° 20: Eficiencia y Caudal de descarga
Cuadro N° 21: Eficiencia y altura del tanque de alimentación

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura N°01: Esquema de una Bomba de Ariete Hidráulico
Figura N°02: Colector del agua para la bomba de ariete
Figura N°03: Configuración típica de la bomba de ariete
Figura N°04: Esquema del principio de funcionamiento del Ariete Hidráulico

RELACIÓN DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 01: Tanque de alimentación (200 lt)
Fotografía N° 02: Bomba de ariete
Fotografía N° 03: Soportes para el tanque de alimentación
Fotografía N° 04: Tubería de impulsión
Fotografía N° 05: Tubería de descarga (manguera transparente)
Fotografía N° 06: Esquema del sistema en estudio
Fotografía N° 07: Acondicionamiento de captación
Fotografía N° 08: Instalación de tanque de alimentación
Fotografía N° 09: Instalación de tubería de impulsión de 1”
Fotografía N° 10: Instalación de tubería de impulsión de 2”
Fotografía N° 11: Instalación de Bomba de Ariete de 1”
Fotografía N° 12: Instalación de Bomba de Ariete de 2”
Fotografía N° 13: Instalación de tubería de descarga

Fotografía N° 14: Tubería de descarga instalada
Fotografía N° 15: Medición de la tubería de impulsión
Fotografía N° 16: Conteo de Golpes por minuto

RELACIÓN DE ESQUEMAS

Esquema N°01. Sistema de abastecimiento de agua potable con bomba de ariete.
Esquema N° 02: Armado del sistema con BA 1 y alturas del tanque de alimentación
Esquema N° 03: Armado del sistema con BA 2 y alturas del tanque de alimentación

RELACIÓN DE GRÁFICOS

Gráfico N°01: Curva de aforo de caudal en la captación
Gráfico N°02. Altura vertical de la bomba al sitio de descarga (Hd)
Gráfico N°03. Caudal de descarga y Altura de descarga
Gráfico N°04. Golpes por minuto y Caudal de descarga
Gráfico N°05. Caudal de descarga y Altura de descarga
Gráfico N°06. Eficiencia y Caudal de descarga
Gráfico N°07. Eficiencia y Altura de Tanque de alimentación
Gráfico N°08. Eficiencia y Caudal de desperdicio

RESUMEN EJECUTIVO

El ideal de proveer de agua a todas las zonas rurales del país es uno de los tantos aspectos que no se han logrado concretar en el Perú. El problema del desabastecimiento de agua es una realidad crítica que buena parte de la población, sobre todo de las zonas menos favorecidas, se ve obligada a enfrentar.

Las energías renovables son energías baratas, limpias y accesibles. Existen diversas fuentes de energía como la eólica, solar, biomasa e hidráulica siendo ésta última más barata y accesible que las anteriores. En el grupo de las energías hidráulicas se encuentran las Bombas de Ariete, que aprovechan la energía del agua en movimiento, convirtiéndola a través de un mecanismo en potencia mecánica para elevar o bombear el agua desde un nivel inferior a un nivel superior.

Es por ello, que la presente tesis está orientada en hacer algo a favor de la población que carece de agua, en concordancia con la protección del medio ambiente y el fomento del desarrollo en la zona rural del distrito de Independencia de la ciudad de Huaraz. Para ello esta investigación se realizó con la finalidad de evaluar de forma experimental los factores hidráulicos que intervienen en el funcionamiento de una bomba de ariete, para poder abastecer de agua potable a un área rural, en la cual se tiene un desnivel de 9 metros entre la captación y la zona que será abastecida con el sistema.

Este trabajo se basó en la variación de los factores hidráulicos, hasta encontrar una combinación adecuada que con lleve al abastecimiento del área en estudio, teniendo como objetivo principal evaluar los factores hidráulicos en una bomba de ariete que permitirán el abastecimiento de agua potable en el área rural del distrito de Independencia – Huaraz. Para esto se instaló dos sistemas una con una bomba de ariete de 1” (BA 1) y la otra con una bomba de ariete de 2” (BA 2), en cada sistema se fue cambiando la altura del tanque de alimentación de 05, 1, 1.5 y 2 metros y la longitud de tubería de impulsión, se aprovechó el caudal de la captación de 1.75 l/s la cual se encuentra a un desnivel de 9 metros con respecto a la ubicación de la población.

Mediante la instalación de las bombas se pudo observar que a medida se incrementa la altura del tanque de alimentación, la altura de descarga en el sistema con la BA 1 y la BA 2, aumenta considerablemente, hasta obtener una altura de descarga (Hd) de 10.2 m con la BA 2, a una altura de tanque de alimentación (Ha) de 2m, por otro lado también se

observó que la eficiencia (n) desciende al aumentar la altura de descarga (Hd) esto debido a que a más altura de descarga, menor es el caudal de descarga (Qd).

Finalmente la investigación reveló que con el estudio de los requisitos hidráulicos para la instalación y el funcionamiento de una bomba de ariete, se puede determinar que el más importante es el caudal de impulsión, ya que mantendrá el funcionamiento adecuado del sistema, así mismo; la dimensión de la cámara de aire es uno de los parámetros de diseño para una bomba de ariete hidráulico importantes, ya que ayuda a proporcionar una continua entrega de agua a una tasa relativamente uniforme.

La bomba de ariete puede elevar el fluido a alturas mayores gracias a la energía que produce la caída de agua, por consiguiente la altura del tanque de alimentación del sistema en estudio, fue uno de los factores más influyentes en la eficiencia del sistema.

Por tanto se concluye que con la evaluación de factores hidráulicos de una bomba de ariete se puede implementar el sistema de abastecimiento de agua potable para la zona rural en estudio.

Palabra Clave: Abastecimiento, rural, desnivel, hidráulica, altura, factores, eficiencia, bomba.

Variables: Factores hidráulicos de la bomba de ariete, Abastecimiento de agua en el área rural

ABSTRACT

The ideal of providing water to all rural areas of the country is one of the many aspects that have not been achieved in Peru. The problem of water shortages is a critical reality that a large part of the population, especially the less-favoured areas, is forced to face. Renewable energies are cheap, clean and accessible energies. There are several sources of energy such as wind, solar, biomass and hydraulics, the latter being cheaper and more accessible than the previous ones. In the group of hydraulic energies are the Ariete pumps, which take advantage of the energy of the water in motion, converting it through a mechanism in mechanical power to raise or pump the water from a lower level to a higher level.

This is why this thesis is aimed at doing something in favor of the population that lacks water, in agreement with the protection of the environment and the promotion of development in the rural zone of the District of independence of the city of Huaraz. This research was carried out with the purpose of evaluating in an experimental way the hydraulic factors involved in the operation of a ram pump, in order to supply drinking water to a rural area, in which there is a level of 9 meters between the catch and the area that will be supplied with the system.

This work was based on the variation of the hydraulic factors, until finding a suitable combination that leads to the supply of the area under study, having as main objective to evaluate the hydraulic factors in a ram pump that will allow the Potable water supply in the rural area of the Independencia District – Huaraz.

For this, two systems were installed one with a 1 "Ram pump (BA 1) and the other with a 2" Ram pump (BA 2), in each system was changing the height of the feed tank of 05, 1, 1.5 and 2 meters and the length of pipe drive , took advantage of the flow of catching 1.75 L/s which is located at a level of 9 meters with respect to the location of the population.

By installing the pumps it was observed that as the height of the feeding tank increases, the discharge height in the system with the BA 1 and the BA 2, increases considerably, until obtaining a discharge height (Hd) of 10.2 m with the BA 2 , at a height of 2 m supply tank (HA), on the other hand it was also observed that the efficiency (n) decreases when

increasing the discharge height (Hd) this because at more discharge height, the lower the discharge flow (Qd).

Finally the investigation revealed that with the study of the hydraulic requirements for the installation and operation of a ram pump, it can be determined that the most important is the flow of drive, because it will maintain the proper functioning of the system, likewise; The Air chamber dimension is one of the design parameters for an important hydraulic ram pump, as it helps to provide a continuous delivery of water at a relatively uniform rate.

The ram pump can elevate the fluid to higher heights thanks to the energy produced by the fall of water, therefore the height of the system's power tank in study, was one of the most influential factors in the efficiency of the system.

Therefore it is concluded that with the evaluation of hydraulic factors of a ram pump can implement the potable water supply system for the rural area under study.

Keyword: Supply, rural, unevenness, hydraulics, height, factors, efficiency, pump.
Variables: Hydraulic factors of the water pump, Water supply in the rural area

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

En el Perú existen 64.935 centros poblados de menos de 200 habitantes que suman una población de 2.668.520 habitantes. (INEI, 2011). Poco se sabe de la tasa de cobertura en agua de esos pueblos salvo que es dramáticamente baja. La mayoría de esos pueblos pequeños no tienen acceso vial, luz eléctrica o posta de salud, son marginados entre los marginados. Muchas veces son excluidos de los programas de lucha contra la extrema pobreza debido a su dispersión, su bajo número de habitantes, sus pocos recursos y mala accesibilidad, que hacen que los proyectos elaborados con tecnologías convencionales resulten anti-económicos.

A pesar de este marco crítico, estas comunidades demuestran empeño en mejorar su situación, existiendo una fuerte demanda por el servicio de agua potable, existen sectores de la población que tienen que recoger el agua diariamente, teniéndose que desplazar, en ocasiones, varios kilómetros. Esto les supone menos tiempo para desarrollar otros trabajos remunerados, participar en actividades comunitarias o simplemente para asistir a la escuela.

Actualmente el agua que la población utiliza en su vida cotidiana es la misma indistintamente para lavar la ropa, beber o cocinar. En época de lluvias la captación se realiza de un riachuelo que pasa cerca del sector rural o se recoge el agua directamente de la lluvia. En época seca la población tiene que recorrer una gran distancia para abastecerse de agua, debido a esto el abastecimiento del agua es un problema grave, especialmente para la población que habita las áreas rurales, que se ve limitada al uso de este recurso tan importante para su desarrollo.

En los últimos años, en que las fuentes de energía no renovables tienden a agotarse, el propósito es desarrollar otras fuentes de energía renovable, como la hidráulica, para beneficiar al hombre. Los arietes hidráulicos, son uno de los tipos de bomba de agua que funcionan aprovechando la energía hidráulica, sin requerir otra energía externa. Mediante este principio se puede conseguir elevar parte del agua de una fuente de agua a una altura superior.

En las zonas montañosas con manantiales y arroyos, la posibilidad de un dispositivo simple y confiable de bombeo es una alternativa de gran aplicación, este sistema de bombeo radica en cero contaminaciones y cero impactos ambientales que genera durante su operación.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVOS GENERALES:

- Evaluar los factores hidráulicos en una bomba de ariete que permitirán el abastecimiento de agua potable en el área rural del distrito de Independencia – Huaraz.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Investigar los requisitos hidráulicos para la instalación y el funcionamiento de una bomba de ariete.
- Estudiar los parámetros de diseño para una bomba de ariete.
- Estudiar las especificaciones hidráulicas que rigen el funcionamiento de una bomba de ariete.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El abastecimiento del agua ha sido un problema grave, especialmente para la población ubicada en zonas rurales que se ve limitada en el uso de este recurso tan importante para su desarrollo.

La necesidad de contar con sistemas que mejoren la calidad de agua de consumo es prioritaria para estas poblaciones. Sin embargo, las dificultades técnicas y financieras hacen poco viable la implementación de sistemas de abastecimiento de agua potable.

En ese sentido, uno de los métodos bastante efectivos y económicos en la instalación de la bomba de ariete hidráulico y se presenta como un posible sistema alternativo y de fácil uso, capaz de proveer agua segura a poblaciones pertenecientes a zonas rurales, con la finalidad de disminuir la prevalencia e incidencia de enfermedades transmitidas por agua.

Dentro de este contexto se plantea el siguiente problema: ¿La evaluación de factores hidráulicos en una bomba de ariete permitirá el abastecimiento de agua potable en el área rural del distrito de Independencia – Huaraz?

1.4 HIPÓTESIS

"Si, la evaluación de factores hidráulicos en una bomba de ariete permitirá el abastecimiento de agua potable en el área rural del distrito de Independencia – Huaraz".

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

(Rojas, 2013), en su tesis: "Utilización de una bomba de ariete para la alimentación de agua a predios rurales, a partir de cauces naturales de agua Iquitos – Perú", el diseño de la investigación implementa directamente la bomba de ariete plástico de 1" de diámetro, en forma independiente lo cual se sometió a prueba de campo con la finalidad de estudiar su eficiencia y eficacia en rendimiento. Finalmente se concluye que la bomba de ariete plástico permite elevar agua a alturas mayores desde el nivel del agua del río, acequia, laguna o quebrada, gracias a la energía que produce la caída de agua.

(Gómez y Villota, 2011), en su tesis: "Planificación y diseño de un sistema hidráulico para el abastecimiento de agua en el barrio San Miguel de Paquiestancia del cantón Cayambe ubicado a 3200 m.s.n. m.", contempla la planificación y el diseño de un sistema hidráulico para el abastecimiento de agua, para dicho propósito se ha diseñado una bomba de ariete capaz de satisfacer la necesidad de agua de la comunidad y se realizó un estudio para conocer la mejor trayectoria para facilitar la instalación de las tuberías, concluyendo que la bomba de ariete permite elevar agua a grandes alturas gracias a la energía que produce la caída de agua y los valores del caudal de descarga, caudal de desecho, rendimiento y potencia desarrollada decrecen con el incremento de la altura de descarga.

(Paredes y Tuquinga, 2012), en su tesis: "Diseño e instalación de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en la comunidad de Airón Cebadas", el diseño de bombeo cuenta con un caudal disponible de 4 lts/s que es captada de un canal existente en la zona, por el cual pasan 210 lts/s y una altura disponible de 17 m. La bomba de ariete en su funcionamiento óptimo eroga un caudal de 13.2 lts/min, con una carrera de la válvula de impulso de 20 mm, 70 golpeteos al minuto, y una altura de descarga de 170 m, cabe recalcar que por el pedido de los moradores el tanque de reservorio está ubicado a 100m desde el ariete, con una altura de descarga de 100m y un caudal de descarga de 19.8 lts/min.

(Acitorez, 2012), en su tesis: "Estudio teórico y experimental de la bomba de ariete", el proyecto ha constado en dos líneas de trabajo simultáneas. La primera trataba del diseño y la construcción dentro del laboratorio de un banco de ensayos apto para varios tipos de bombas de ariete, mientras que en la segunda línea nos centraríamos en el estudio detallado de las ecuaciones que rigen el funcionamiento de este tipo de bombas, para tratar de crear algún tipo de modelo teórico que se acercara al menos a proporcionarnos algún resultado mínimamente fiable.

(Galarza, 2013) en su tesis: "Estudio hidráulico de una bomba de ariete y el efecto multimpulsor para su instalación", este trabajo se basó en la modificación del diseño mecánico del Ariete Hidráulico convencional por un ariete multimpulsor, teniendo como objetivo la configuración idónea de la válvula de impulsión mejorando su eficiencia, lo que se comprobó mediante la instalación de la bomba. Para esto se diseñó un sistema de válvulas colocadas en serie (ariete multimpulsor), aprovechando el caudal y la energía remanente que generalmente se desperdicia. Mediante la instalación de la bomba se comprobó que el ariete de tres impulsores es el más eficiente.

2.2 FUNDAMENTACIÓN DE LA TESIS

2.2.1 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

- **Ley N° 26338, Ley General de Saneamiento Básico:** En su Artículo 1°, establece las normas que rigen la prestación de los servicios de saneamiento (agua potable, alcantarillado sanitario y pluvial y disposición de excretas), tanto en el ámbito urbano como rural.

- **D.S. Nº 023- 2005- Vivienda, del Reglamento L.G.S.S N° 26338:** En su Artículo 169, indica las competencias de las municipalidades distritales en el ámbito rural y de pequeñas ciudades, y de modo supletorio a las municipalidades provinciales.

- **Ley N° 27867, Ley Orgánica de Gobiernos Regionales:** En el Artículo 58, menciona las funciones en materia de vivienda y saneamiento como formular, aprobar y evaluar los planes en materia de vivienda y saneamiento, en concordancia con los planes de desarrollo de los gobiernos locales.

- **Ley N° 27972, Ley Orgánica de Municipalidades:** En el Artículo 80° se establece que las municipalidades, en materia de saneamiento, salubridad y salud, tienen, entre otras funciones, la de proveer los servicios de saneamiento rural cuando estos no puedan ser atendidos por las municipalidades distritales o las de los centros poblados rurales. Difundir programas de saneamiento ambiental en coordinación con las municipalidades distritales y los organismos regionales y nacionales pertinentes.

- **Ley N° 30156, Ley de organización y funciones del MVCS:** El artículo 2° menciona que el MVCS tiene como competencia: formular, aprobar, ejecutar y supervisar las políticas de alcance nacional aplicables en materia de vivienda, urbanismo, construcción y saneamiento; para tal efecto, dicta normas de alcance nacional y supervisa su cumplimiento.

2.2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

Se ha discrepado mucho sobre el verdadero creador empírico de ésta bomba, pero en las crónicas más aceptadas es en la cual se atribuye la invención al inglés John Whitehurst en el año de 1775, "Fermentó su ingenio para construir un aparato con un principio de funcionamiento novedoso: accionaba manualmente un grifo en una tubería conectada a un tanque de abasto, en un nivel superior, para provocar el fenómeno físico conocido como golpe de ariete, que permitía elevar el líquido un tanque de almacenamiento colocado a una altura mayor"; aunque su aplicación no fue tan apetecida por el gran ruido y vibración propios de dicho equipo; además era manual. Este hydram fue capaz de elevar el agua hasta una altura de 4.9 m. (PUCP, 2007)

La invención, reconocida en 1776, y la posterior muerte del ilustre inglés fue precedida por investigadores que se ocuparon de añadir bondades al equipo y descubrir los secretos de su aparente magia. La sagacidad humana añadió elementos al invento, posteriormente Joseph Montgolfier junto a su hermano Étienne, concibieron un ariete autoactivante, en principio, la mejora radica en que ya no se utilizaba fuerza externa para abrir la válvula de impulso, sino la fuerza inherente del agua en movimiento se encargaba de realizar ésta tarea.

El ariete hidráulico fue patentado en 1796, por Joseph Montgolfier, que como en la actualidad consistía en una máquina que aprovecha únicamente la energía de un pequeño salto de agua para elevar parte de su caudal a una altura superior. Su trabajo fue mejorado por Pierre Francois Montgolfier, su hijo (1816), quien diseñó una válvula para introducir el aire en la cámara del hydram esto mejoró su rendimiento. (CUBASOLAR, 2010)

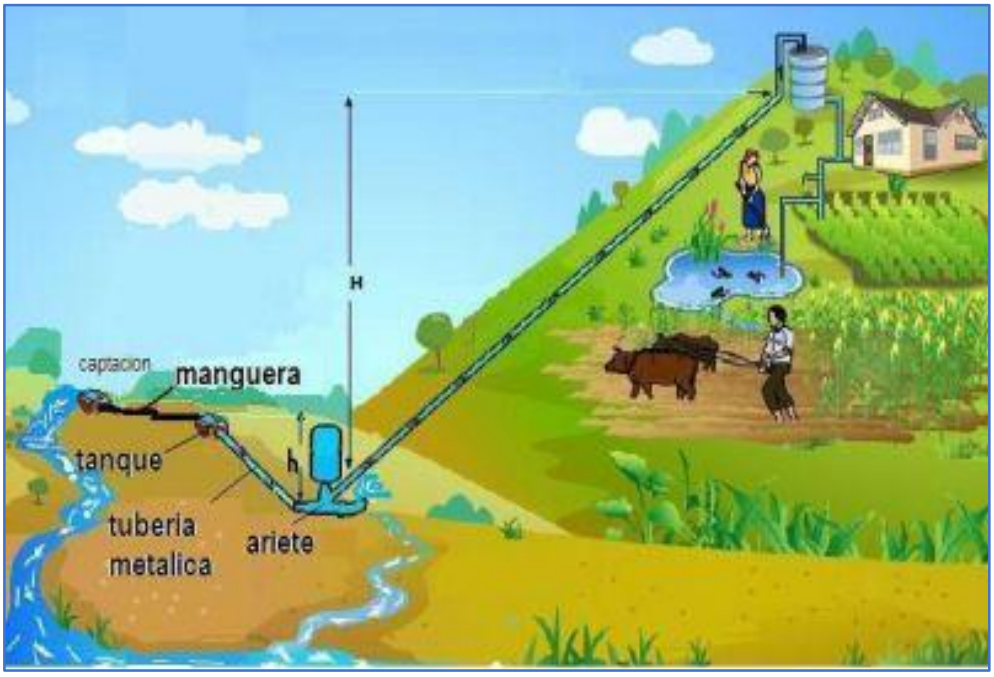
2.2.3 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA

A. BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO

Una bomba de ariete o ariete hidráulico es una bomba hidráulica cíclica desprovista de motor que utiliza la energía cinética de un golpe de ariete sobre un fluido para subir una parte de ese fluido a un nivel superior. No necesita por lo tanto aporte de otra energía exterior. Esto y su sencillez la hacen adecuada para lugares remotos donde no hay acceso a energía eléctrica o motores de otro tipo.

Mediante un ariete hidráulico, se puede conseguir elevar parte del agua de un arroyo o acequia a una altura superior. También se puede emplear para riego por aspersión. El ariete hidráulico es un sistema de construcción sencilla y su rendimiento energético es de cerca del 70%. (Fernández Muñoz, N. 2013).

Figura N°01: *Esquema de una Bomba de Ariete Hidráulico*



Fuente: *Soluciones Hídricas Sustentables, Nelson Fernández Muñoz*

i. CARACTERÍSTICAS DEL ARIETE HIDRÁULICO

Sus características generales son; no necesita combustible fósil, electricidad, ni ningún impulsor en absoluto fuera del fluido, no necesita un mantenimiento permanente. Este sistema es más económico que los otros convencionales motorizados, no causa contaminación al medio ambiente, su operación es segura no necesita mano de obra durante su operación y su costo de funcionamiento teóricamente en nulo; ya que este dispositivo presenta únicamente dos partes móviles, la vida útil del equipo es larga y funciona continuamente las 24 horas del día.

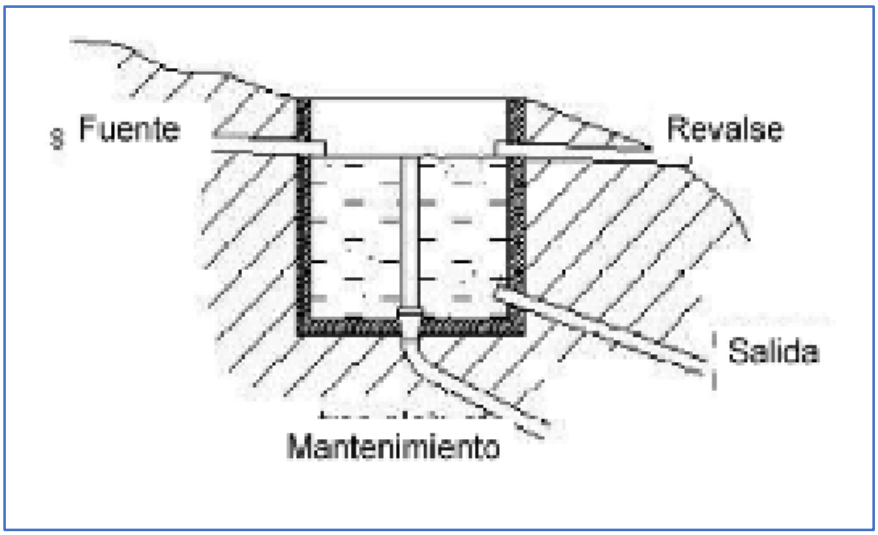
Ideal para terreno escarpado en donde se puedan solventar necesidades de agua potable. (Gonzales; Llanos, 2007).

Sus componentes principales son:

- **Colector**: Puede ser un cilindro de plástico o metal. De todas maneras el tubo de salida que va a la bomba del ariete debe siempre estar cubierto por

unos 30-40 cm de agua para no dejar escapar el golpe de ariete. (Federico, Coz., 1995)

Figura N°02: *Colector del agua para la bomba de ariete*



Fuente: *Manual de mini y microcentrales hidraúlicas, Federico Coz.*

El colector debe ser construido de manera que las burbujas de gua que llegan a la fuente no entren en el tubo de salida. Para evitar eventuales residuos sólidos como arena o piedras entre al tubo de salida, el tubo debe de estar colocado unos 20 cm arriba del fondo del colector.

En la toma del agua no debe haber entrada de aire por tanto es necesario hacer un reservorio de agua con cierta capacidad de volumen que permite el flujo continuo y guarde las condiciones de estabilidad y el sitio donde se ubica el ariete debe tener un lugar de almacenamiento para las pérdidas de agua. (Federico, Coz., 1995)

- **Ducto de entrada (Tubería de impulsión):** Conecta el colector con la bomba de ariete. El diámetro de este tubo depende del tamaño del ariete utilizado. El tubo de entrada debe resistir los golpes de ariete y debe ser de material rígido y de metal. El tubo debe ser perfectamente hermético, no puede tener ninguna fuga y debe tener una pendiente constante. (Federico, Coz., 1995)

- **La bomba de ariete:** Es una bomba impulsada por energía del agua que fluye por la tubería que la alimenta. Funciona continuamente, todo el día sin interrupción. No requiere electricidad ni algún tipo de combustible para su funcionamiento. Así, no tiene costos operacionales ni causa polución al medio ambiente.

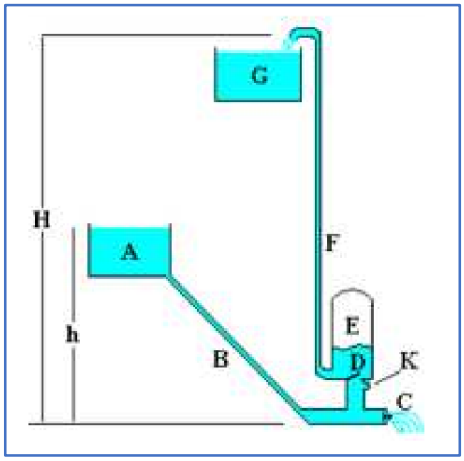
  La bomba de ariete está conectada a una tubería de presión, la misma que se conecta con uniones, al ingreso del ariete tenemos una válvula de compuerta la cual nos ayuda a regular el paso del agua al ariete. Para que funcione el ariete a cada golpe se necesita succionar una pequeña cantidad de aire para compensar el aire que se va con el agua bombeada. Consta de una válvula de impulso, la cámara de aire que es la amortiguadora de la presión y parte esencial para la elevación dl agua, y la descarga que se hace al tanque reservorio por medio de una tubería de presión. (Ortega Nebra. J. 2013)

- **Ducto de salida (Tubería de descarga):** Conecta la bomba con el reservorio de almacenamiento. El diámetro de este tubo depende del tamaño del ariete, en nuestro caso utilizaremos una manguera de 1" y 3/4". Uno de salida que no debe tener tramos de contrapendientes. Si no se pueden evitar estas pendientes, tenemos que prever unos sistemas de aireación en los puntos más elevados. El tubo de salida puede ser de plástico, dado que hay que tener en cuenta la presión hidráulica estática que está sometido el ducto. (Federico, Coz., 1995)

ii. CONFIGURACIÓN GENERAL DE LA BOMBA DE ARIETE

La configuración generalizada de cada ariete depende de su diseño y fabricación, pero el principio de funcionamiento sigue siendo el mismo en todos.

Figura N°03: *Configuración típica de la bomba de ariete*



Fuente: *Construcción, caracterización hidráulica y estudio de aplicación de una bomba de ariete para el riego agrícola, Javier Ortega Nebra.*

Donde:

H: Altura a la cual el agua será elevado tomando como nivel de referencia del ariete hidráulico.

h: Altura disponible entre el tanque de captación y el punto más bajo del ariete hidráulico.

A: Reservorio de alimentación.

B: Tubería de conducción

C: Válvula de impulsión

D: Válvula de retención, descarga.

E: Cámara de aire

F: Tubería de descarga

K: Válvula de aire

iii. FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA

La bomba de ariete es una de las máquinas más sencillas. El ciclo su funcionamiento generalizado es el siguiente: El agua de la fuente de alimentación (1) puede inyectarse al depósito (9) que se halla a una cota más elevada. El dispositivo funciona de la siguiente manera: Al descender el agua por efecto de la gravedad por la tubería de alimentación (2), tiene una cierta presión Ha debida a la diferencia de nivel, esta se derrama en la

válvula de impulso (3), alcanzando una presión dinámica que sea capaz de cerrarla, contrarrestando su peso.

El cierre repentino de la válvula de impulso produce una sobrepresión en la tubería de alimentación, este fenómeno es conocido como golpe de ariete. La válvula check (6) se abre por efecto de dicha sobrepresión, y deja pasar cierta cantidad de agua hacia la cámara de aire (7), comprimiendo el aire existente, y haciendo que fluya cierta cantidad de agua (q) por la tubería de descarga (8).

El retroceso del agua en la tubería de alimentación, produce una ligera succión en la caja de válvulas (4), creando una caída de presión que produce la apertura de las válvulas de impulsión y el cierre de la válvula check (6). (Paredes, M.; Tuquinga, R. 2012)

De esta forma, el proceso se vuelve automático. El aire comprimido continúa impulsando el líquido almacenado en ella por la tubería de descarga, entre ciclos de operaciones; lográndose una entrega de agua casi uniforme hacia el tanque de almacenamiento (9).

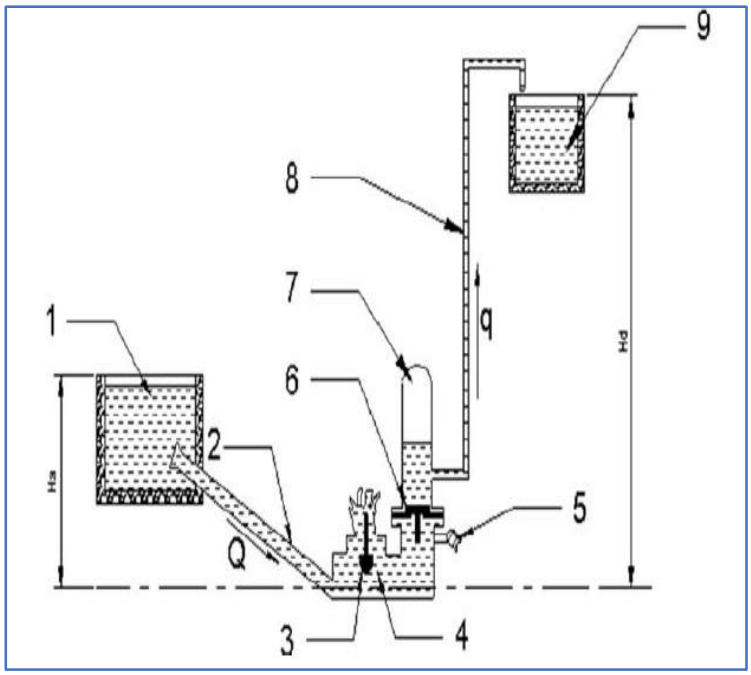
El aire que es parte de la cámara de aire se consume en el flujo bombeado, sino se renovase, manteniendo el nivel se saturaría toda la cámara de agua, por esta razón se coloca la válvula de aire (5).

En su posición óptima que es debajo de la válvula check. Esta válvula funciona aprovechando la onda de presión negativa que produce una depresión en la caja del ariete y al producirse dicha depresión, succiona una pequeña cantidad de aire que va a renovar el aire de la cámara. El dispositivo trabajará automáticamente mientras el caudal Q entre en la cámara. Su mayor parte el caudal Q, se verterá afuera en el tanque reservorio.

La longitud del tubo no influye directamente en el caudal. Sí influye en el tiempo de ciclo del transporte mediante la masa del agua que contiene y el tiempo de aceleración.

Una tubería larga tiene tiempos de aceleración largos y tiempos de ciclos altos. Si las tuberías son demasiado cortas, la dinámica propia de la válvula de impulsión de la válvula check, ejercen una influencia negativa. Debido a su inercia, las válvulas no tienen tiempo suficiente para abrirse y cerrarse por completo. (Paredes, M.; Tuquinga, R. 2012)

Figura N°04: *Esquema del principio de funcionamiento del Ariete Hidráulico*



Fuente: *Diseño e Instalación de un sistema de Bombeo mediante Ariete Hidráulico, María Paredes Godoy.*

Donde:

1: Agua de la fuente de alimentación
2: Tubería de impulsión
3: Válvula de impulso
4: Caja de válvulas
5: Válvula de aire
6: Válvula check
7: Cámara de aire
8: Tubería de descarga
9: Depósito de descarga cota más elevada.

Q: Caudal de Impulsión

q: Caudal de descarga

Hd: Altura de descarga

iv. FACTORES HIDRAULICOS EN UNA BOMBA DE ARIETE

a. REQUISITOS HIDRÁULICOS DE INSTALACIÓN PARA UN ARIETE HIDRÁULICO

- **Caudal de impulsión:** Para el correcto funcionamiento de la bomba de ariete se necesita un caudal de impulsión continuo; es decir es importante mantener el nivel del agua en el reservorio de alimentación tratando que este no disminuya para evitar que no ingrese aire a la tubería de impulsión, lo que ocasionaría una deficiente operación del ariete y podría producir cavitación en la máquina.

  Es importante que la instalación de la bomba de ariete se realice en un sitio conveniente, ya que, si no se hace esto, las condiciones propias del sitio como pueden ser el calor, polvo, viento, etc., pueden ser agentes aceleradores para que se produzca el desgaste prematuro de la máquina; por lo tanto, el lugar de instalación del ariete tiene que ser estudiado antes de la puesta en marcha de la bomba. (Cavero La Roa, P. 2013)

- **Dimensionamiento del tanque de impulsión:** En el caso de que se use el tanque, se tendrá un tubo de alimentación y uno de desagüe, también es necesario colocar la toma del tubo de impulsión lo más arriba del fondo del tanque para evitar la entrada de sedimentos en el tubo, sobre la toma se recomienda por lo menos 40 cm de agua para que el tubo no absorba aire lo que podría afectar directamente a la eficiencia del sistema.

  Es importante mantener la cota del nivel de agua en el tanque, ya que si no lo hace la velocidad de salida en la tubería de impulsión no es constante y por lo tanto el caudal es variable afectando la normal operación de la bomba.

Los tanques de impulsión varían con el sitio, y se los puede usar o no, dependiendo del tipo de fuente que se tenga o el uso que el agua requiera, prestando especial atención si es para consumo humano, en donde se debe evitar la contaminación. (Cavero La Roa, P. 2013).

- **Altura vertical de la bomba al sitio de entrega:** La altura de descarga o elevación H, es la altura a la cual se desea obtener el caudal de descarga. Se mide desde el nivel de la válvula de descarga hasta el nivel que llega el agua en el tanque de descarga. (Campaña, C.; Guaman, D. 2011)

- **Longitud de la tubería de impulsión:** De la longitud del conducto de impulso depende el funcionamiento automático de un ariete. Si no tiene la dimensión correcta, el cambio en volumen entre expansión y contracción no es suficiente para producir la succión necesaria para abrir la válvula de impulso, o el tiempo entre los dos extremos, será demasiado corto para superar la inercia de la misma válvula. La onda de compresión de agua deberá alcanzar la fuente abierta y ser disipado antes de que el agua fluya de nuevo a través de la válvula, la pared interior del tubo debe ser lo más liso posible para evitar pérdidas por fricción, que afecta el rendimiento del ariete.

  La longitud de la tubería de impulsión es uno de los factores que influye de gran manera en el valor de la sobrepresión y eficiencia de funcionamiento del ariete la misma que se puede calcular mediante dos métodos; en función del diámetro de la tubería de impulsión y en función de la altura de impulsión "H". (Campaña, C.; Guaman, D. 2011)

  En función del diámetro de la tubería "D":

Cuadro N°01: *Longitud de tubería de impulsión en función del diámetro.*

Longitud Mínima	**L = 150D**
Longitud Óptima	L = 500 D
Longitud Máxima	L = 1000 D

Fuente: *Estudio hidráulico de una bomba de ariete y el efecto multimpulsor para su instalación**,** Galarza, R.*

En general la longitud no debe ser muy corta ya que esto provoca un cierre temprano de la válvula de impulsión lo cual no permite un aumento de presión adecuado; si la dimensión es muy larga las pérdidas por fricción dominan reduciendo la capacidad de la bomba además una tubería de impulso de gran extensión dañaría los elementos del sistema; por lo tanto, la relación longitud diámetro de la tubería de impulsión debe encontrarse en el rango de la siguiente ecuación, ya que fuera de este rango la operación del ariete puede verse afectada notoriamente. (Galarza, R. 2013)

Ecuación N° 01: Relación longitud diámetro de la tubería de impulsión.

$$\mathbf{150 \leq \frac{L}{D} \leq 1000}$$

En función a la altura de impulsión "H":

Cuadro N°02: *Longitud de tubería de impulsión en función a la altura de impulsión.*

H	L
H ≤ 4.5 m	L = 5H
4.5 < H ≤ 8 m	L = 4H
4.5 < H≤ 16 m	L = 3H
H ≥ 16 m	L = 2H

Fuente: *Estudio hidráulico de una bomba de ariete y el efecto multimpulsor para su instalación, Galarza, R.*

Por lo tanto, la longitud de la tubería de impulsión depende tanto del diámetro como de la altura de impulsión, requerimientos de resistencia, consideraciones de costo, disponibilidad de materiales en el mercado para su respectivo dimensionamiento y selección. (Galarza, R. 2013)

- **Diámetro de la tubería de impulsión:** El correcto dimensionamiento del diámetro de la tubería de impulsión es lo que nos va a permitir asegurar la correcta velocidad de cierre da la válvula de impulsión; de ahí que es necesario su correcta selección, la tabla permite la selección del diámetro de la tubería de impulsión a partir del caudal de impulsión. (Cavero La Roa, P. 2013)

Cuadro N°03: *Rango de longitud de tubería para diversos diámetros*

Diámetros del tubo de impulsión (“)	**Caudal de Impulsión (l/min)**	
	Mínimo	**Máximo**
0.75	3	8
1	8	38
1.5	38	57
2	57	95
2.5	95	170
3	170	265
4	265	473

Fuente: *Modelamiento matemático de bomba de ariete, Pablo Cavero La Roa.*

b. PARÁMETROS DE DISEÑO PARA UN ARIETE HIDRÁULICO

- **Golpes por minuto de la válvula de impulsión:** A pesar de varias investigaciones experimentales, no se llega a un acuerdo racional acerca de la extensión de tubería que debería ser usada; investigadores rusos recomiendan la siguiente fórmula:

Ecuación N°02: Número de golpes por minuto de las válvulas de impulsión.

$$\mathbf{N} = \sqrt{\frac{900H}{DL}}$$

El número de golpes por minuto para las válvulas de impulsión en las mismas condiciones de funcionamiento son:

Cuadro N°04: *Número de golpes por minuto de la válvula de impulsión*

Tipo de Válvula	Número de golpes por minuto
Blake	60 – 80
Movimiento Axial	40 – 50
Muelle Restitutor	55 - 65

Fuente: *Modelamiento matemático de bomba de ariete, Pablo Cavero La Roa.*

El rango de funcionamiento de las válvulas de impulsión tipo Blake son las que producen el mayor número de golpes por minuto, garantizando el paso continuo de agua hacia la tubería de descarga.

Si se tiene en el sistema un mayor número de golpes por minuto se produce un mayor caudal de bombeo y por lo tanto es más eficiente. (Cavero La Roa, P. 2013)

- **Peso de la válvula de impulsión:** Otro factor que se puede manipular ya instalado el sistema de bombeo es el peso de la válvula de impulsión, al igual que la carrera la correcta sintonización del peso nos puede permitir mejorar notablemente la eficiencia del sistema. (Galarza, R. 2013)

- **Cámara de aire:** La cámara de aire ayuda a proporcionar una continua entrega de agua a una tasa relativamente uniforme. Es decir, cambia el funcionamiento intermitente de la bomba a un comportamiento continuo. Está debe ser tan grande como sea posible, para comprimir y amortiguar el pulso de presión. Si la cámara llega a llenarse completamente con agua, el golpeteo es brusco lo cual lleva a la rotura de la instalación.

  El volumen de la cámara de aire deberá encontrarse entre 20 a 50 veces el diámetro de la tubería de impulsión; está probado que un funcionamiento apropiado se consigue cuando el nivel de agua dentro de la cámara de aire se encuentra por encima de la salida de la tubería de entrega; recientes investigaciones sugieren que el dimensionamiento de la cámara de aire tiene que estar entre los siguientes rangos. (Cavero La Roa, P. 2013)

Cuadro N°05: *Parámetros de la cámara de aire*

PARÁMETRO	VALOR
Diámetro de cámara de aire	3 Diámetro de la tubería de impulsión
Altura de cámara de aire	10 Diámetro de la tubería de impulsión

Fuente: *Modelamiento matemático de bomba de ariete, Pablo Cavero La Roa.*

Se recomienda que el volumen de la cámara de aire, sea 100 veces el volumen de agua bombeada por ciclo.

- **Diámetro de la válvula de impulsión:** El correcto dimensionamiento y selección del material de la válvula de impulsión, es de vital importancia para el correcto funcionamiento del sistema de bombeo; el dimensionamiento del diámetro de la válvula debe estar orientado a disminuir al máximo la pérdida volumétrica, y la selección del material del asiento de la válvula encaminado a disminuir el ruido metálico del golpe de ariete. (Paredes, M.; Tuquinga, R. 2012)

- **Material de la tubería de impulsión:** Es muy importante en el sistema de conducción del agua el valor de la sobrepresión, este se debe tener en cuenta al momento de dimensionar este tubo, mientras que en general el peligro de rotura debido a la depresión no es importante, más aún si los diámetros son pequeños. No obstante si el valor de la depresión iguala a la tensión del vapor de líquido se producirá cavitación.

  De la longitud del conducto de impulso depende el funcionamiento automático de un ariete. Si no tiene la dimensión correcta, el cambio en volumen entre expansión y contracción no es suficiente para producir la succión necesaria para abrir la válvula de impulso, o el tiempo entre los dos extremos, será demasiado corto para superar la inercia de la misma válvula. (Paredes, M.; Tuquinga, R. 2012)

- **Material de la tubería de descarga:** El agua puede ser bombeada a cualquier distancia, pero la longitud de la tubería involucra trabajo adicional para la bomba de ariete, ya que tiene que vencer la fuerza de fricción ofrecida por las paredes de la tubería. A diferencia de la tubería impulsión, la de descarga o entrega puede ser de cualquier material; que sea capaz de soportar una pequeña presión de agua ascendiendo al tanque de descarga.

  Generalmente es de la mitad del diámetro del tubo de impulso, aunque es más lógico determinarlo según el caudal del bombeo, el largo del tubo y la potencia disponible. (Paredes, M.; Tuquinga, R. 2012)

- **Vibración:** Las vibraciones que produce el golpe de ariete hacen necesario prever un tubo de impulso, preferiblemente de acero, que resista un régimen de trabajo caracterizado por una fatiga excesiva. (Acitorez, F. 2012)

c. ESPECIFICACIONES HIDRÁULICAS PARA UN ARIETE HIDRÁULICO

- **Coeficientes de rozamiento en la tubería de impulsión (pérdidas):** La onda de compresión de agua deberá alcanzar la fuente abierta y ser disipado antes de que el agua fluya de nuevo a través de la válvula, la pared interior del tubo debe ser lo más liso posible para evitar pérdidas por fricción, que afecta la eficiencia del ariete. En general la longitud no debe ser muy corta ya que esto provoca un cierre temprano de la válvula de impulsión lo cual no permite un aumento de presión adecuado; si la dimensión es muy larga las pérdidas por fricción dominan reduciendo la capacidad de la bomba.

  A medida que un fluido fluye por un conducto, tubo o algún otro dispositivo, ocurren pérdidas de energía debido a la fricción interna en el fluido, tales pérdidas de energía traen como resultado una disminución de la presión entre dos puntos del sistema de flujo. (Acitorez, F. 2012)

  Ecuación N°03: Bernoulli

$$\frac{\boldsymbol{P1}}{\gamma} + \boldsymbol{Z1} + \frac{\boldsymbol{V1^2}}{\boldsymbol{2g}} - \boldsymbol{hl} = \frac{\boldsymbol{P2}}{\gamma} + \boldsymbol{Z2} + \frac{\boldsymbol{V2^2}}{\boldsymbol{2g}}$$

  Donde:

  $\frac{P1}{\gamma}$; $\frac{P2}{\gamma}$ = Presión de entrada y salida

  Z1; z2 = Elevación

  $\frac{V1^2}{2g}$; $\frac{V2^2}{2g}$ = Velocidad de entrada y salida

  El término se define como la energía perdida por el sistema. Una componente de la pérdida de energía se debe a la fricción en el fluido en movimiento. La fricción es proporcional a la cabeza de velocidad del flujo y al cociente de la longitud entre el diámetro de la corriente de flujo, para el caso de flujo en conductos y tubos. Lo anterior se expresa de manera matemática en la ecuación de Darcy. (Acitorez, F. 2012).

Ecuación N°04: Darcy Weisbach

$$\boldsymbol{hl = f + \frac{L}{D} + \frac{V^2}{2g}}$$

Donde:

hl = pérdida de energía debido a la fricción. (m)

L = longitud de la corriente de flujo (m)

D = diámetro del conducto (m)

V= velocidad de flujo promedio (m/s)

f= factor de fricción (adimensional)

- **Altura del tanque de alimentación (Ha):** La altura o salto de agua es la caída aprovechable que suministra energía para accionar la válvula que produce el golpe de ariete. Ésta altura no debe ser inferior a 1m. El rango de las alturas varía entre 1 a 30 m. Con caídas menores a 1 m se tendrá una deficiente operación y con alturas superiores a los 30 m, el funcionamiento de la Bomba es inestable con el riesgo de desgaste de las válvulas y el percutor de la Bomba. (CUBASOLAR, 2010)

Ecuación N°05: Altura del tanque de alimentación.

$$\mathbf{1m \leq H \leq 30\ m}$$

Ecuación N°06: Altura del tanque de alimentación respecto a la longitud de la tubería de impulsión.

$$\mathbf{4H \leq L \leq 10H}$$

- **Longitud de la tubería de descarga L(m):** Se sabe que, a mayor longitud de la tubería de descarga, se tendrá más pérdida de energía, por consiguiente, su longitud debe estar en relación con la altura a la que se desea elevar el agua y debe tener la menor cantidad posible de accesorios como uniones. (Galarza, R. 2013)

Ecuación N°07: Longitud de la Tubería de impulsión.

$$L = 5Ha$$

Donde:

L = Longitud de tubería (m)

Ha = Altura de alimentación (m)

- **Potencia P(w):** Si se define Q como el caudal del fluido suministrado por un sistema, mecanismo o equipo hidráulico, se puede establecer que la potencia útil suministrada al fluido por estos medios es la energía por unidad de tiempo, quedando expresado la potencia hidráulica de la siguiente manera: (Galarza, R. 2013).

Ecuación N°08: Potencia hidráulica

$$PH = \gamma\ Q\ H$$

Donde:

PH = Potencia hidráulica, Potencia suministrada al fluido (W)

γ = Peso específico del fluido (N/m3)

Q = Caudal suministrado al fluido (m3 /s)

H = Energía de elevación o presión suministrada al fluido (m)

v. EFICIENCIA

La eficiencia de un Ariete hidráulico se considera desde dos puntos de vista: desde el criterio de D´Aubuisson y de Rankine. Por definición la eficiencia está dada por la relación entre la potencia útil entregada en la descarga ($\boldsymbol{nu}$) y la potencia recibida (absorbida) del agua de alimentación ($\boldsymbol{nb}$). (Espinosa, M., Villota, D., 2011).

Ecuación N°09: Eficiencia de un Ariete hidráulico

$$\eta = \frac{nu}{nb}$$

Ecuación N°10: Eficiencia de D´Aubuisson

$$nu = qb \times Hi \times g \times \rho$$

Donde:

nu = Potencia útil entregada a la descarga en W.

qb = Caudal de bombeo en m^3/s

Hi = Altura desarrollada por el ariete en m.

g = Aceleración de la gravedad en m^2/s

ρ = Densidad del agua en kg/m

La eficiencia de Rankine toma como referencia el nivel, considerando la instalación como un todo.

Entonces:

$$nu = qb \times (Hi-Ha) \times g \times \rho$$

$$nu = Q \times Ha \times g \times \rho$$

Finalmente:

Ecuación N°11: Eficiencia de Rankine

$$nR = \frac{qbx(Hi-Ha)}{QxHa}$$

vi. CAUDAL DE DESPERDICIO

Es la cantidad de agua que la bomba de ariete expulsa hacia la atmósfera cuando está en funcionamiento. (Espinosa, M., Villota, D., 2011).

Ecuación N°12: Caudal de desperdicio

$$Qd = Q - q$$

Donde:

Qd = Caudal de desperdicio (m3/s)

Q = Caudal de descarga (m3/s)

q = Caudal de impulsión (m3/s)

B. ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL ÁREA RURAL

Se conoce como red de abastecimiento de agua potable al sistema que permite que llegue el agua desde el lugar de captación al punto de consumo en condiciones correctas, tanto en calidad como en cantidad. Este sistema se puede clasificar por la fuente del agua en: agua de mar, agua superficial; esta procede de lagos o ríos, agua de lluvia almacenada, agua subterránea y las aguas procedentes de manantiales naturales. Es importante tener en cuenta que esta agua antes de ser enviadas a las viviendas se transformará en agua potable, dependiendo el origen de estas, se le hará un proceso de saneamiento y desinfección.

En zonas rurales y pequeñas localidades con mayor densidad poblacional, existen dificultades como:

- Bajo nivel socio económico de los beneficiarios;
- Viviendas aisladas o pequeños núcleos urbanos, no permiten economías de escala de las soluciones propuestas;
- Limitado acceso a nuevas tecnologías;
- Limitado o nulo acceso a recursos financieros;
- Los sistemas son operados a través de organizaciones conformadas por miembros de la comunidad, lo que resulta en bajo nivel técnico de los operadores; y
- Carencia de supervisión, control y apoyo técnico de instituciones públicas o empresas de agua y saneamiento de mayor tamaño.

La complejidad del sistema de abastecimiento de agua en esas zonas está vinculada a factores locales, como las fuentes de abastecimiento disponibles, la oferta de agua, la dispersión de las viviendas, factores climáticos, etc. En algunos casos la solución adoptada es única, no existiendo alternativas más simplificadas. (Ruiz Fujarte, E., 2016).

i. LA DEMANDA

Es necesario desarrollar en la comunidad el sentido de la necesidad del servicio que se está implementando y que se genere la demanda a partir de esta prioridad. La experiencia muestra que aún los sistemas más simples quedan inoperantes en poco tiempo por la falta de interés que tienen los beneficiarios y responsables por desarrollar las tareas mínimas de mantenimiento requeridas.

Es importante buscar alternativas de pequeña escala que atiendan a las necesidades específicas de cada comunidad. Éstas deben ser fáciles de operar, no deben requerir mano de obra especializada, ni involucrar altos costos de mmantenimiento. Los sistemas deben ser de uso fácil por parte de los beneficiarios, de modo que no se favorezca el uso de fuentes alternativas de dudosa calidad. (Centro Internacional de Agua y Saneamiento, 1988)

El rol de la comunidad es fundamental para la sostenibilidad del sistema, mediante el buen uso y el mantenimiento preventivo permanente.

ii. LOS FACTORES DE SOSTENIBILIDAD

Para tener soluciones sostenibles debe plantearse una planificación integral, donde se tenga en cuenta la gestión integral de los recursos hídricos de la cuenca. Para la localidad debe tenerse una selección adecuada de la tecnología y organizando la participación y gestión comunitaria con enfoque de género e interculturalidad. La política financiera debe garantizar la operación y mantenimiento eficiente del sistema y, desde el ámbito local, se necesita un apoyo institucional continuo. (Lampoglia, T., 2008)

Los factores que se consideran clave para lograr la sostenibilidad de una infraestructura de agua y saneamiento en zonas rurales son:

1. Tamaño de la comunidad.
2. Demanda del sistema por la comunidad.
3. Solución adecuada al problema.
4. Baja complejidad del sistema.
5. Calidad del diseño y de la obra.
6. Capacidad de los beneficiarios para la administración, operación y mantenimiento de la solución adoptada.
7. Capacitación a los operadores en el control de la calidad de agua para consumo.
8. Apoyo externo para solución de problemas fuera del alcance de la capacidad local

iii. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO

a. SISTEMAS CONVENCIONALES

Sistemas que brindan el servicio de agua potable al usuario a nivel de vivienda con conexión domiciliaria y/o piletas públicas. Se emplea un sistema de distribución de agua a través de redes para proporcionar la cantidad y calidad de agua establecidas. (Torres, R. CEPIS 2006)

- Sistema por gravedad Sin Tratamiento
- Sistema por gravedad Con Tratamiento
- Sistema por Bombeo Sin Tratamiento
- Sistema por Bombeo Con Tratamiento

b. SISTEMAS NO CONVENCIONALES

Son sistemas en los cuales no existen redes de distribución, están compuestos por soluciones individuales a nivel familiar y/o multifamiliar. Por lo general requiere el transporte, almacenamiento y desinfección del agua en el domicilio. (Torres, R. CEPIS 2006)

Debido a las condiciones de la investigación, nos enfocaremos al sistema por gravedad sin tratamiento ya que es el más indicado para el área rural.

iv. SISTEMA DE AGUA POTABLE POR GRAVEDAD SIN TRATAMIENTO

Es aquel sistema que conduce agua para consumo humano por efectos de la gravedad o peso propio del agua desde una captación de manantial o humedal natural ubicado en la parte alta de la localidad hacia las viviendas. A través de los diferentes componentes del sistema de agua potable.

Este sistema consta de cinco componentes principales: Captación, Línea de conducción, Reservorio, Red de distribución y Conexiones domiciliarias. (Torres, R. CEPIS 2006)

a. CAPTACIÓN

Es una estructura de concreto armado que protege el manantial y reúne adecuadamente el agua que produce la fuente para abastecer a la población. Cuenta con un cono de rebose que sirve para controlar el nivel del agua para evitar que alcance el techo y por ningún motivo debe estar más elevado que los orificios de ingreso a la cámara húmeda.

La canastilla de salida sirve para evitar que los objetos grandes y la suciedad puedan ingresar a la tubería de conducción.

La tubería de limpia o desagüe sirve para eliminar el agua que se ha utilizado durante la limpieza y desinfección de la captación. (Ruiz Fujarte, E. 2016)

b. LÍNEA DE CONDUCCIÓN

Es el tramo de tuberías y estructuras existentes que conduce agua desde la captación hacia el reservorio. En algunos casos cuando existe demasiado desnivel entre la captación y el reservorio (mayor a 50 metros) se instalan

cámaras rompe presión tipo CRP-6 o tubos rompe carga para evitar que la tubería reviente por la presión del agua.

Cuando el terreno es muy accidentado, la tubería puede atravesar zonas elevadas o zonas de depresión formándose bolsas de aire o acumulación de sólidos respectivamente, para lo cual se instalan válvulas de aire o válvulas de purga. (Ruiz Fujarte, E. 2016)

c. RESERVORIO

Es un depósito de concreto armado que sirve para almacenar y distribuir el agua. L reservorio permite que la población cuente con un servicio eficiente en horas de mayor variación de consumo. También sirve para efectuar el tratamiento del agua con hipoclorito de calcio. (Ruiz Fujarte, E. 2016)

Las partes internas del reservorio son:

1. Cono de rebose: para dejar salir el agua que sobrepase el nivel de almacenamiento.
2. Tubo de rebose: Conduce el agua del cono de rebose al tubo de desagüe.
3. Tubo de ingreso: Permite el ingreso del agua que se conduce desde la captación al reservorio.
4. Tubo de salida: Permite la salida del agua desde el reservorio a la red de distribución.
5. Canastilla: Su función es no dejar pasar a la red de distribución objetos extraños que pudieran haber ingresado al reservorio.
6. Tubo de desagüe: Sirve para eliminar el agua cuando se hace la limpieza y desinfección.
7. Control estático: Su función es derivar el agua que viene de la captación directamente al tubo de rebose para evitar que se desperdicie el agua clorada cuando el reservorio está lleno.

d. RED DE DISTRIBUCIÓN

Son ramales de tubería que distribuyen agua desde la línea de aducción a las conexiones domiciliarias.En lugares de mucha pendiente se instalan cámaras rompe presión CRP-7 que sirven para disipar la energía del agua y permitir que obture el servicio aguas abajo cuando no haya uso del servicio mediante una válvula de cierre o flotadora.

Con la finalidad de regular el flujo del agua hacia todos los sectores de la red de distribución, así como para obturar el servicio si fuera necesario cuando se realicen reparaciones o nuevas instalaciones, se instalan válvulas de control con sus respectivas cajas de protección.

En las zonas bajas o en los ramales extremos de la red de distribución se instalan válvulas de purga para eliminar la tierra y arena que se acumula dentro de la tubería así como eliminar el agua cuando se hace la desinfección de la red de distribución. (Ruiz Fujarte, E. 2016)

e. CONEXIONES DOMICILIARIAS

Son tuberías y accesorios interconectados que se instalan desde la red de distribución hacia las viviendas. Consta de dos partes, la pública que va desde la conexión de la tubería matriz hasta la llave de paso y la privada o interna que comprenden las instalaciones interiores en la vivienda. (Ruiz Fujarte, E. 2016)

2.3 ÁMBITO DE ESTUDIO

La zona rural, perteneciente al distrito de independencia de la provincia de Huaraz, población que no tiene acceso al agua para el consumo, existen sectores de la población que tienen que recoger el agua diariamente, teniéndose que desplazar, en ocasiones, varios kilómetros. Esto les supone menos tiempo para desarrollar otros trabajos remunerados, participar en actividades comunitarias o simplemente para asistir a la escuela.

2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Energías Hidráulica: Es la energía generada por fuentes de agua, se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente del agua o los saltos de agua naturales.

Aforo de caudal: Conjunto de operaciones para determinar el caudal de un curso de agua para un nivel observado, a un cierto nivel o porcentaje de exactitud.

Caudal: Cantidad de agua que lleva una corriente o que fluye de un manantial o fuente.

Desnivel: Diferencia de altura entre dos o más puntos o superficies.
Demanda: Es la cantidad de un bien o servicio que la gente desea adquirir. Casi todos los seres humanos del planeta demandan un bien o un servicio.

Continuidad: Hace referencia a las horas de servicios de agua que tiene una población o localidad.

Abastecimiento: Suministro de agua potable a una comunidad, que incluye las instalaciones de depósitos, válvulas y tuberías.

Eficiencia Hidráulica: Relacionada con las pérdidas de energía útil, debidas al rozamiento.
Golpe de Ariete: Es el incremento momentáneo en presión, el cual ocurre en un sistema de agua cuando hay un cambio repentino de dirección o velocidad del agua.

ABREVIATURAS

Q: Caudal de impulsión (l/s).

Ha: Altura de alimentación (m)

Hd: Altura de descarga (m)

H: Altura (m)

P: Presión (m.c.a)

Z: Elevación (m)

V: Velocidad (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m^2/s)

hl: Pérdida de energía por fricción (m)

L: Longitud (m)

D: Diámetro (mm)

Ƒ: Factor de fricción (adimensional)

PH: Potencia hidráulica(W)

γ: Peso específico del fluido (N/m3)

nu: Potencia útil (W)

nb: Potencia recibida (W)

qb: Caudal de bombeo en m^3/s

ρ: Densidad del agua en kg/m

nR: Eficiencia de Rankine

Qd: Caudal de desperdicio (m^3/s)

q: Caudal de descarga

Li: Longitud de la tubería de impulsión

Gpm: Golpes por minuto

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 MATERIALES Y MÉTODOS DE LA TESIS

3.1.1. MATERIALES:

Se utilizó lo siguiente:

A. EQUIPOS:

- **Tanque de Alimentación (200 lt):** Es la parte del sistema hidráulico que nos va a permitir tener una fuente de agua constante para alimentar a la bomba de ariete.

Fotografía N° 01: *Tanque de alimentación (200 lt)*

- **Bomba de ariete de 1” y 2”:** Se utilizó dos bombas de ariete armada manualmente con accesorios de PVC y válvula Check.

Fotografía N° 02: *Bomba de ariete*

- **Soportes para el tanque de alimentación:** Fueron fabricados de madera, de 0.5 m cada uno.

Fotografía N° 03: *Soportes para el tanque de alimentación*

- **Tubería PVC de 1” y 2” (Impulsión):** Tubería desde la salida del tanque de alimentación hasta el ingreso a la bomba de ariete.

Fotografía N° 04: *Tubería de impulsión*

- **Manguera Transparente de ¾” y 1” (Tubería de descarga):** Debe de ser de un material que sea capaz de soportar una pequeña presión de agua.

Fotografía N° 05: *Tubería de descarga (manguera transparente)*

- **Wincha:** Para realizar las mediciones necesarias.
- **Cronómetro:** Para controlar los golpes por minuto producido por el sistema

B. MATERIALES DE OFICINA:

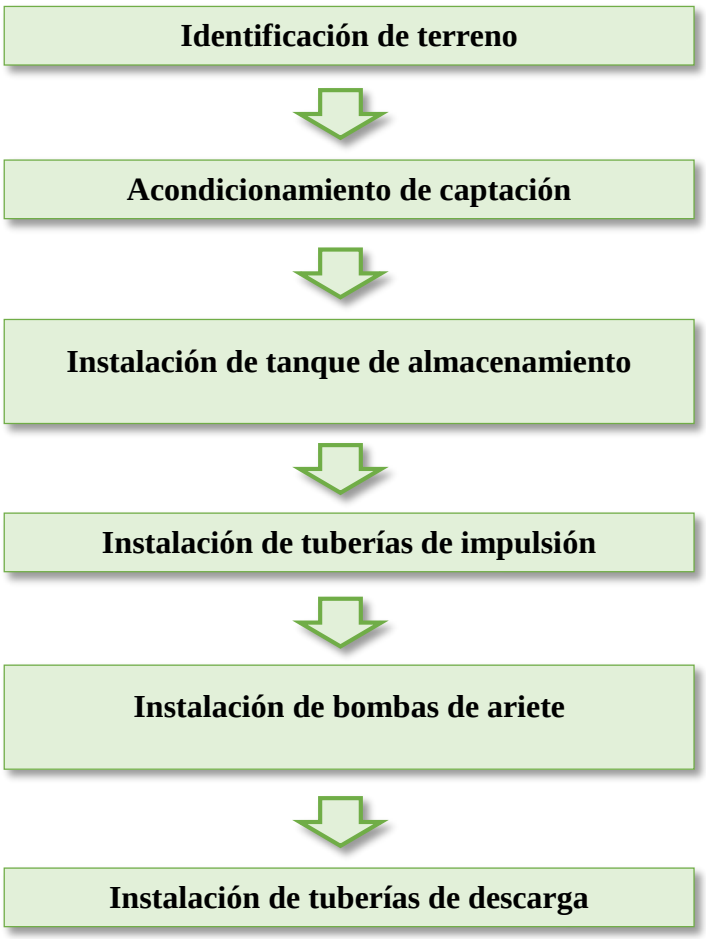
- Libreta de registro
- Cámara fotográfica
- Hojas de papel
- Lapiceros
- Impresiones

3.1.2. METODOLOGÍA

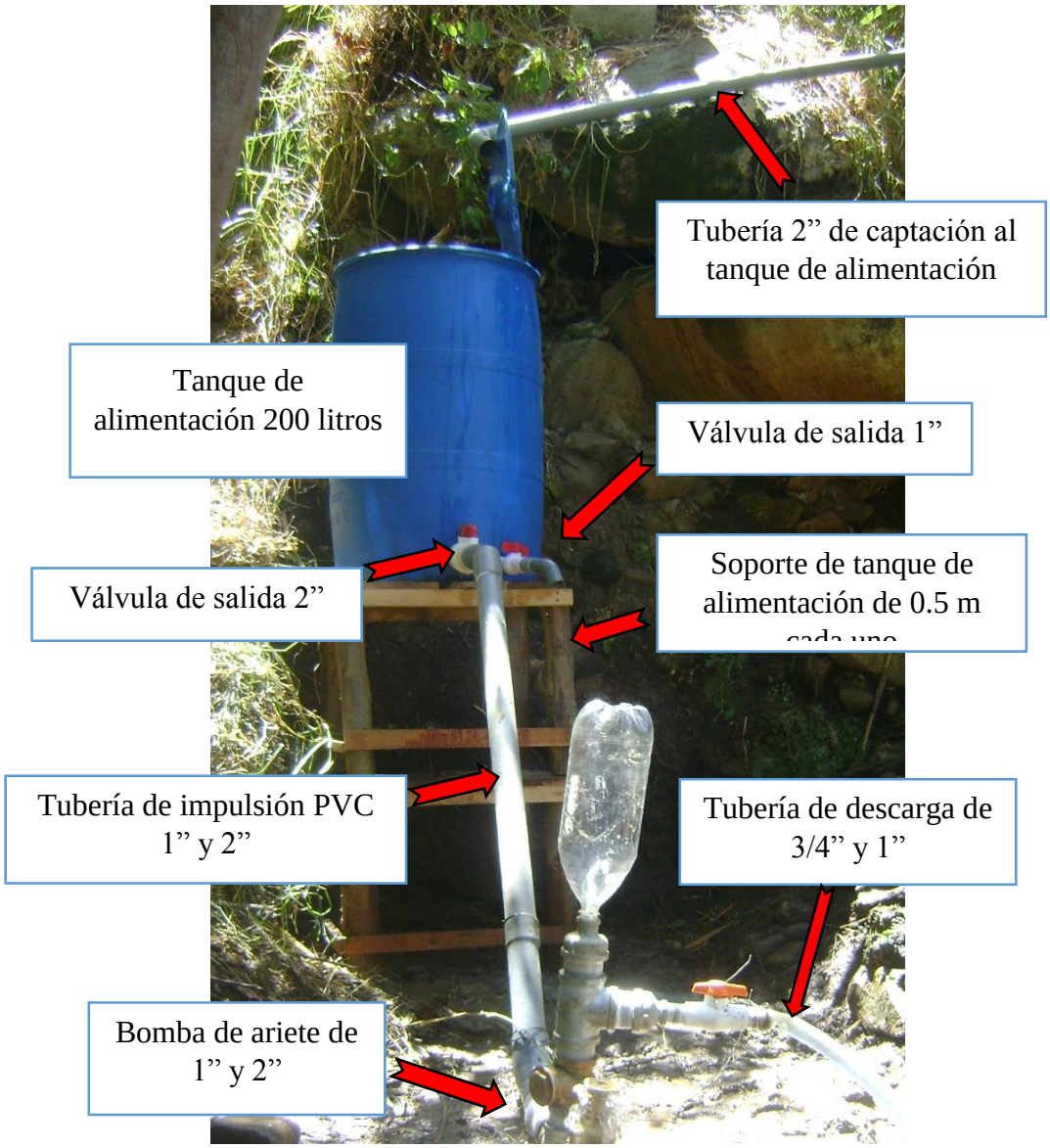
La etapa experimental de la investigación se realizó en un área del ámbito rural perteneciente al distrito de independencia de la ciudad de Huaraz.

A. FLUJOGRAMA

Esquema N°01. Sistema de abastecimiento de agua potable con bomba de ariete.



Fotografía N° 06: *Esquema del sistema en estudio*



B. PROCEDIMIENTO

i. IDENTIFICACIÓN DEL TERRENO

Se realizó la localización y reconocimiento de la zona de estudio, así mismo se localizó el punto de la toma de agua o captación, como también se pudo identificar las alturas disponibles y altura de descarga necesaria para el sistema en estudio. (Lugar donde se encuentra la población que será abastecida). En esta etapa se localizó

también el área donde fue ubicada la bomba de ariete para las pruebas experimentales.

Coordenadas de la Captación: E= 29978
N= 33826
Altitud: 3534 m.s.n.m.

Coordenadas del área rural: E= 30024
N= 33848
Altitud: 3543 m.s.n.m.

El área total de trabajo es de 35,00 m2 (7,00 m de largo y 5,00 m de ancho). Donde se instaló el tanque de alimentación, tuberías de impulsión, bombas de ariete y tuberías de descarga.

ii. ACONDICIONAMIENTO DE CAPTACIÓN

Se realizó la limpieza de la captación y alrededores, se retiró malezas y vegetación que evitaban la visibilidad y acceso completo a la captación, se instaló una tubería de 2” de la captación al tanque de alimentación.

Fotografía N° 07: *Acondicionamiento de captación*

iii. INSTALACIÓN DE TANQUE DE ALIMENTACIÓN

Se realizó la instalación del tanque de alimentación de tal forma que en cada prueba realizada se pudo variar la altura de 0.5, 1, 1.5 y 2 metros.

Fotografía N° 08: *Instalación de tanque de alimentación*

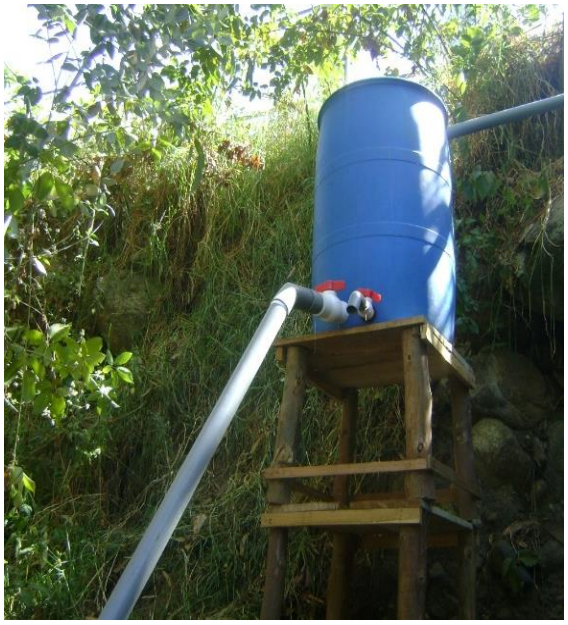
Las alturas de los soportes del tanque de alimentación, fueron definidas en base a un mejor manejo al realizar las pruebas experimentales, ya que la bomba de ariete al entrar en funcionamiento produce movimientos continuos haciendo que se inestabilice el tanque de alimentación.

iv. INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE IMPULSIÓN

Se realizó la instalación de la tubería de impulsión de 1” y 2”, cada una de la longitud adecuada a las alturas de 0.5, 1, 1.5 y 2 metros, formando un ángulo de 45° de la salida del tanque de alimentación a la entrada de la bomba de ariete correspondiente.

Fotografía N° 09: *Instalación de tubería de impulsión de 1”*

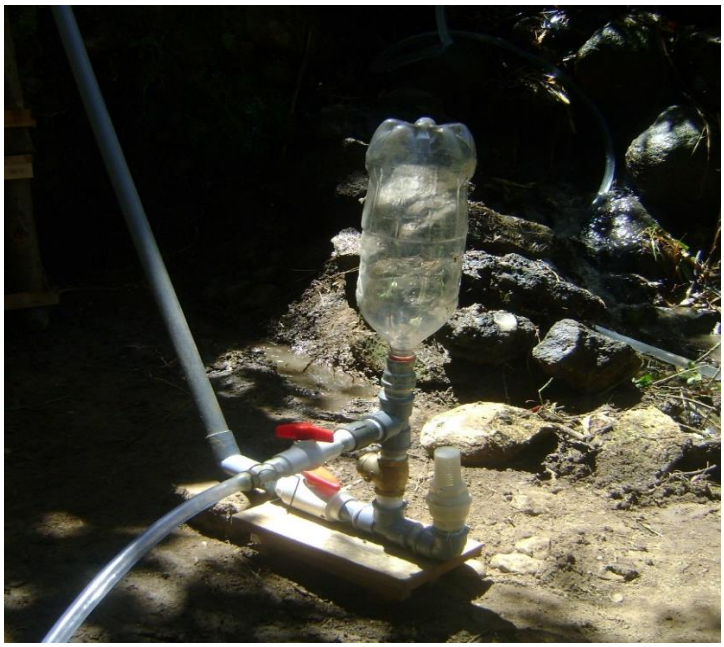
Fotografía N° 10: *Instalación de tubería de impulsión de 2”*



v. INSTALACIÓN DE BOMBAS DE ARIETE

Se realizó la instalación de las bombas de ariete de 1” y 2”, acopladas a las tuberías de impulsión correspondiente a cada prueba experimental.

Fotografía N° 11: I*nstalación de Bomba de Ariete de 1”*



Fotografía N° 12: *Instalación de Bomba de Ariete de 2”*

vi. INSTALACIÓN DE TUBERÍAS DE DESCARGA

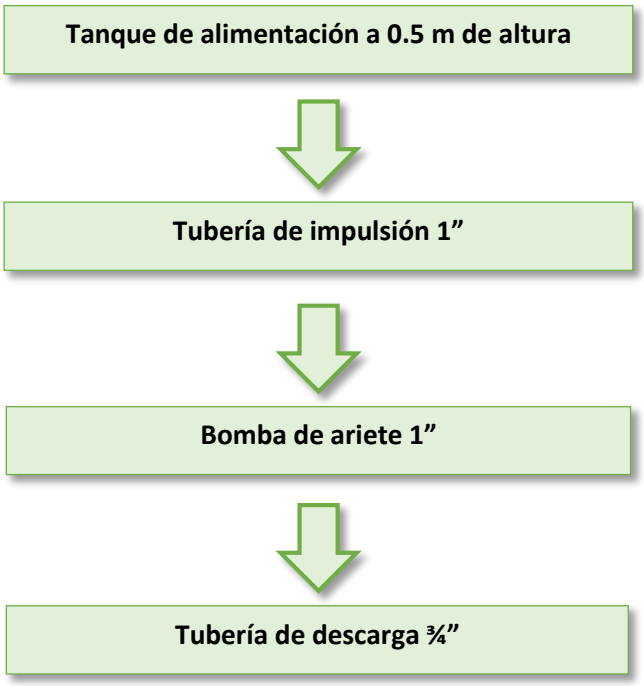
Las tuberías de descarga, fueron acopladas en la salida de cada bomba de ariete, en la bomba de ariete de 1” se colocó una manguera transparente de ¾” y en la bomba de ariete de 2” se acopló la manguera de 1”, asi mismo estas mangueras fueron unidas a una regla de 12 metros de largo, para facilitar la lectura de la altura de descarga, posteriormente fueron colocadas de forma vertical.

Fotografía N° 13: *Instalación de tubería de descarga*

A. ARMADO DEL SISTEMA

i. BOMBA DE ARIETE DE 1” (BA 1)

Esquema N° 02: Armado del sistema con BA 1 y alturas del tanque de alimentación

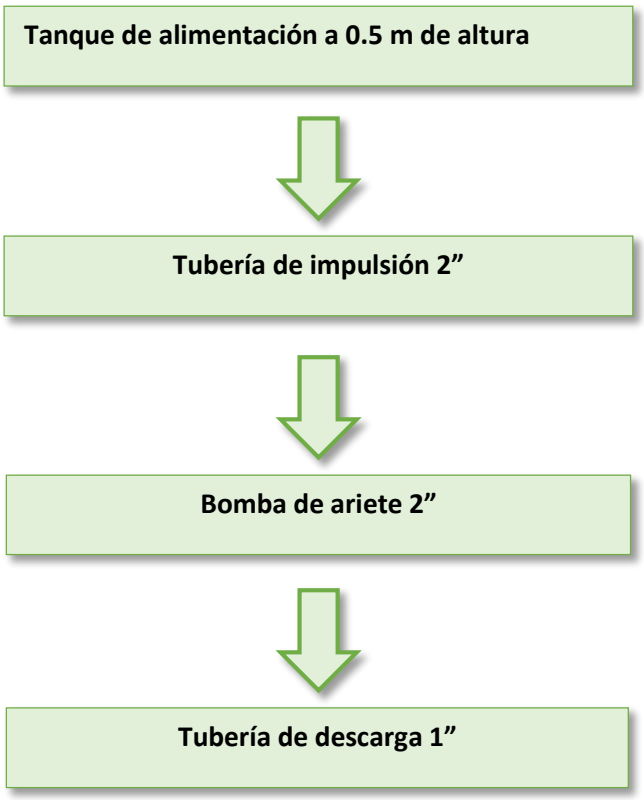


- Se continuó con el armado del sistema con las alturas del tanque de alimentación de 1, 1.5 y 2 metros.

- Se cambió las tuberías de impulsión de acuerdo al cambio de altura del tanque de alimentación, ya que al incrementar la altura del tanque, la longitud de la tubería también aumentará.

ii. BOMBA DE ARIETE DE 2” (BA 2)

Esquema N° 03: Armado del sistema con BA 2 y alturas del tanque de alimentación



- Se continuó con el armado del sistema con las alturas del tanque de alimentación de 1, 1.5 y 2 metros.

- Se cambió las tuberías de impulsión de acuerdo al cambio de altura del tanque de alimentación, ya que al incrementar la altura del tanque, la longitud de la tubería también aumentará.

B. FACTORES HIDRÁULICOS A EVALUARSE

i. CAUDAL DE IMPULSIÓN

La medición del caudal de impulsión se realizó, al iniciar cada prueba, mediante el método volumétrico realizando cinco veces por cada unidad experimental: en la tubería de impulsión de 1” y en la tubería de impulsión de 2”, los valores fueron promediados para obtener una lectura única.

ii. ALTURA DE DESCARGA

La altura vertical de descarga fue medida mediante una regla de madera de 12 metros de largo que fue colocada al costado de las tuberías de descarga. Cada prueba experimental realizada tuvo una duración de 48 horas continuas, la medición de la altura de descarga se realizó al inicio del día 1 y al final del día 2.

Fotografía N° 14: *Tubería de descarga instalada*

iii. LONGITUD DE TUBERÍA DE IMPULSIÓN

La longitud de la tubería de impulsión, fue medida mediante una wincha, midiendo desde la salida del tanque de alimentación hasta la entrada a la bomba de ariete respectiva, esto se realizó en cada prueba experimental ya que en cada una se cambió la altura de tanque de alimentación de 0.5, 1, 1.5 y 2 metros por ende la longitud de tubería de impulsión se incrementa.

Fotografía N° 15: *Medición de la tubería de impulsión*

iv. GOLPES POR MINUTO DE LA BOMBA DE ARIETE

Cuando el sistema entró en funcionamiento se realizó el conteo de golpes por minuto que efectúa la bomba de ariete, mediante un cronómetro manual, esto se repitió para cada prueba experimental realizada en cada bomba de ariete.

Fotografía N° 16: *Conteo de Golpes por minuto*

v. GOLPES POR MINUTO DE LA BOMBA DE ARIETE

La medición del caudal de descarga se realizó mediante el método volumétrico realizando cinco veces por cada prueba experimental: en la tubería de descarga de 3/4" y en la tubería de descarga de 1", a las alturas de 0.5, 1, 1.5 y 2 metros. Los valores fueron promediados para obtener una lectura única.

vi. CAUDAL DE DESPERDICIO

La medición del caudal de desperdicio se realizó mediante el método volumétrico realizando cinco veces por cada prueba experimental, en cada bomba de ariete. Los valores fueron promediados para obtener una lectura única.

Este caudal no influye en nuestros resultados finales, pero es importante su medición ya que este será conducido por un pequeño canal a parcelas agrícolas cercanas al lugar de estudio.

vii. POTENCIA DE LA BOMBA DE ARIETE

Se determinó la Potencia de la Bomba de ariete de cada sistema, en cada uno de las pruebas experimentales, mediante los datos obtenidos aplicando la Ecuación N° 08.

viii. EFICIENCIA DE LA BOMBA DE ARIETE

A través de los datos obtenidos, se determinó la Eficiencia de la bomba de ariete, teniendo una idea preliminar de la acción de los factores hidráulicos en los sistemas instalados. Esta eficiencia fue calculada mediante la Ecuación N° 11.

3.2. PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Las técnicas utilizadas para la recolección de la información son:

1. La observación directa, puesto que se estuvo en contacto con el objeto de estudio en el lugar de estudio debidamente preparados y equipados para realizar la investigación.

2. En la investigación en diversas fuentes bibliográficas mediante la investigación documentada de los factores que se está investigando.

3.3. PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Con la información recolectada se procedió a elaborar tablas para una mejor interpretación de los resultados obtenidos. Además se elaboró graficas con los factores más idóneos para un ideal desempeño de la bomba de ariete. Con las pruebas realizadas se procedió a verificar y comparar los factores hidráulicos que más influyen en una bomba de ariete, con el fin de comparar las distintas eficiencias para cada caso y así poder establecer las conclusiones y recomendaciones del estudio realizado.

3.4. DISEÑO ESTADÍSTICO

3.4.1. TIPO DE ESTUDIO

- **Descriptivo:** La presente investigación en razón a su finalidad y carácter tiene el nivel descriptivo, debido a que para la realización de la investigación su utilizarán datos obtenidos directamente de la realidad, sin que estos sean modificados o alterados, así mismo se utilizará la observación. Además se comparó varios factores, situaciones o formas.

- **Explorativa:** Se investigó todos y cada uno de los detalles del proyecto, tanto su diseño como su funcionamiento. Para esto se indagó cada uno de los factores de análisis, generando hipótesis y reconociendo las variables de interés investigativo.

3.4.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

A. TIPO DE DISEÑO

- **Diseño experimental:** En este tipo de investigación se realizó diferentes experimentos para la evaluación de los diferentes factores hidráulicos de la bomba de ariete hidráulico en estudio, logrando obtener una lista de datos y poder comprobar su correcto funcionamiento para el abastecimiento de agua potable en la zona rural en estudio. En esta investigación se estudió las relaciones de causalidad utilizando la metodología experimental con la finalidad de controlar los factores hidráulicos de la bomba de ariete.
- **Características del ensayo:** El ensayo consta en total de ocho pruebas experimentales, cuatro pruebas por cada bomba de ariete, cada una con un funcionamiento de 48 horas continúas.
- **Características de la unidad experimental:** Los sistemas tuvieron las siguientes características: Bombas de ariete de 1”, tubería de alimentación de 1” y tubería de descarga de ¾”, Bomba de ariete de 2”, tubería de alimentación de 2” y tubería de descarga de 1”, las pruebas se realizaron variando la altura del tanque de alimentación de 0.5, 1, 1.5 y 2 metros de altura para cada bomba de ariete.

B. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Hipótesis	Tipo de Variable	Indicadores	Descripción de la variable	Unidad	Método
La evaluación de factores hidráulicos en una bomba de ariete permitirá el abastecimiento de agua potable en el área rural del distrito de Independencia – Huaraz	Independientes FACTORES HIDRÁULICOS DE LA BOMBA DE ARIETE	Caudal de ingreso al tanque de alimentación	Caudal que ingresa de la captación al tanque	l/s	Método empírico
		Altura vertical del tanque de alimentación.	Varía en cada prueba	m	Medición y observación
		Caudal de impulsión	Se utilizó el método volumétrico para su medición.	l/s	Método empírico
		Longitud de tubería de impulsión	Se utilizó una wincha para medir en cada prueba realizada.	m	Medición y observación
		Diámetro de la tubería de impulsión	De 1" y 2" respectivamente ara cada bomba de ariete	Plg	Medición y observación
	Dependiente ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL ÁREA RURAL	Altura vertical de la bomba al sitio de descarga	Se obtuvo mediante una regla de madera que fue colocada al costado de la tubería de descarga.	m	Medición y observación
		Caudal de descarga	Medidas en las dos tuberías de descarga	l/s	Método empírico
		Continuidad de descarga	Medida por horas de funcionamiento del sistema	h/día	Observación

Fuente: *Elaboración propia*

3.5. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

3.5.1. LA OBSERVACIÓN DIRECTA: Debido a que se estuvo en contacto con el objeto de estudio en escenarios y ambientes debidamente preparados y equipados para realizar la investigación.

3.5.2. FICHAS: Para registrar la información de diversas fuentes bibliográficas mediante la investigación documentada de los factores que se está investigando. Estas fichas fueron de registro de documentación e investigación.

3.5.3. LIBRETA DE CAMPO: Se utilizó para apuntar la información y datos obtenidos en campo al realizar las pruebas experimentales.

a. **Ubicación de terreno en estudio:** Al realizar el reconocimiento de terreno, tomamos los puntos GPS de la captación y del sitio donde se requiere el agua potable, para poder obtener las alturas disponibles de trabajo.

b. **Caudal de captación:** El caudal de captación fue determinada por el método volumétrico, se realizó una vez por semana durante dos meses. Esto se realizó para determinar si la variación de caudal de captación afectaría el funcionamiento del sistema.

c. **Altura de tanque de alimentación:** En cada prueba realizada, se cambió la altura de tanque de alimentación, las anotaciones realizadas fueron para cada prueba experimental.

d. **Longitud de tubería de impulsión:** Se anotó la longitud de tubería de impulsión, ya que con cada cambio de altura, la longitud de tubería cambia, esta tubería estuvo colocada formando un ángulo de 45° con la salida del tanque de alimentación y la entrada de la bomba de ariete respectiva.

e. **Altura de descarga:** La altura de descarga fue determinada en cada prueba realizada, la medición se realizó con una regla de madera de 12 metros de largo,

esto para poder determinar si los factores hidráulicos proporcionados al sistema son adecuados para el abastecimiento de agua potable a la zona en estudio.

f. **Golpes por minuto:** Los golpes por minuto que se producen en la bomba de ariete, cuando está en funcionamiento se determinaron mediante un cronómetro digital en cada prueba realizada.

g. **Caudal de descarga:** Para determinar el caudal de descarga, en la tubería de ¾" y 1" se realizó el aforo utilizando el método volumétrico, empleando un balde de 4litros, esto se realizó cinco veces en cada prueba experimental.

h. **Caudal de desperdicio:** Este caudal fue medido en la bomba de ariete, se utilizó el método volumétrico, este caudal será derivado a un canal que será utilizada para el riego de pequeñas parcelas agrícolas que se encuentran cerca al lugar donde fue instalado el sistema hidráulico.

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN

Cuando se diseña un sistema de abastecimiento agua como lo es una bomba de ariete. Antes de la construcción se deberá conocer la cantidad de agua que se entregará, la altura de descarga que se requiere y conocer la eficiencia del sistema. La manipulación de todos los factores utilizados en la metodología de diseño para la entrada de diferentes parámetros es un proceso muy largo y cansado. Por lo tanto, con el fin de procesar y evaluar los factores hidráulicos en una bomba de ariete que nos permita el abastecimiento de agua potable al área en estudio, se utilizó una base de datos, que fue procesada con el programa SPSS, utilizando el método de **T de Student**, así mismo se utilizó los datos para obtener resultados de gabinete aplicando fórmulas establecidas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. REQUSISITOS HIDRÁULICOS PARA LA INSTALACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA DE ARIETE

4.1.1. CAUDAL DE INGRESO AL TANQUE DE ALIMENTACIÓN

Cuadro N° 06: *Resultados del aforo en la captación*

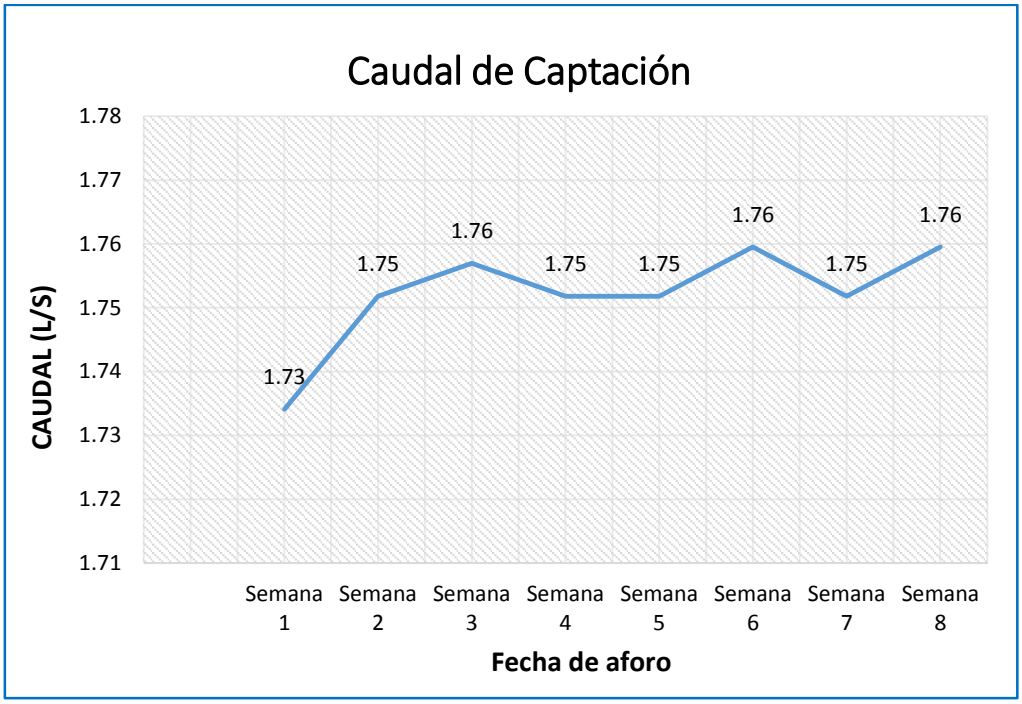
Fecha	Volumen (l)	Tiempo (s)	Caudal (l/s)
09/01/2017	4	2.28	1.75
16/01/2017	4	2.31	1.73
23/01/2017	4	2.28	1.76
30/01/2017	4	2.28	1.75
06/02/2017	4	2.28	1.75
13/02/2017	4	2.27	1.76
20/02/2017	4	2.28	1.75
27/02/2017	4	2.27	1.76
			1.75

Fuente: *Elaboración propia*

El aforo se realizó cada día lunes durante dos meses, antes de iniciar las pruebas. Se utilizó el método volumétrico, usando un balde de 4 litros de volumen, y realizando cinco mediciones de tiempo en cada día.

Al promediar los tiempos, se calculó el caudal en l/s. Durante los meses de trabajo, no hubo variación significativa en el afloramiento de agua, por lo cual se garantizó el óptimo funcionamiento del sistema.

Gráfico N°01: *Curva de aforo de caudal en la captación*



Fuente: *Elaboración propia*

En el Gráfico N° 01, se observa el aforo de caudal de la captación durante todo el proceso, se observa que el caudal máximo es de 1.76 l/s y el caudal mínimo es de 1.73 l/s, para el funcionamiento del sistema en estudio; se colocó una tubería de 2" de la captación hasta el tanque de alimentación, para poder captar solo el caudal requerido para el óptimo funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua potable mediante bomba de ariete.

4.1.2. CAUDAL DE IMPULSIÓN (Q)

a. Tubería de 1”

Cuadro N° 07: *Caudal de Impulsión para la Tubería de impulsión de 1”*

Fecha	Altura del Tanque de Alimentación (m)	Caudal de Impulsión (l/s)
09/01/2017	0.5	0.67
16/01/2017	1	0.67
23/01/2017	1.5	0.66
30/01/2017	2	0.65

Fuente: *Elaboración propia*

El caudal de impulsión para la tubería de 1”, se calculó mediante el método volumétrico, utilizando un balde de 4 lt de volumen, esta medición se realizó una vez por semana durante un mes, cada día se midió cinco veces para obtener un tiempo promedio, con este dato se calculó el caudal de impulsión para la tubería de impulsión de 1”.

b. Tubería de 2”

Cuadro N° 08: *Caudal de Impulsión para la Tubería de impulsión de 2”*

Fecha	Altura del Tanque de Alimentación (m)	Caudal de Impulsión (l/s)
06/02/2017	0.5	1.01
13/02/2017	1	0.99
20/02/2017	1.5	0.98
27/02/2017	2	0.98

Fuente: *Elaboración propia*

El caudal de impulsión para la tubería de 2”, se calculó mediante el método volumétrico, utilizando un balde de 4 lt de volumen, esta medición se realizó una vez por semana durante un mes, cada día se midió cinco veces para obtener un tiempo promedio, con este dato se calculó el caudal de impulsión para la tubería de impulsión de 2”.

4.1.3. ALTURA VERTICAL DE LA BOMBA AL SITIO DE DESCARGA (Hd)

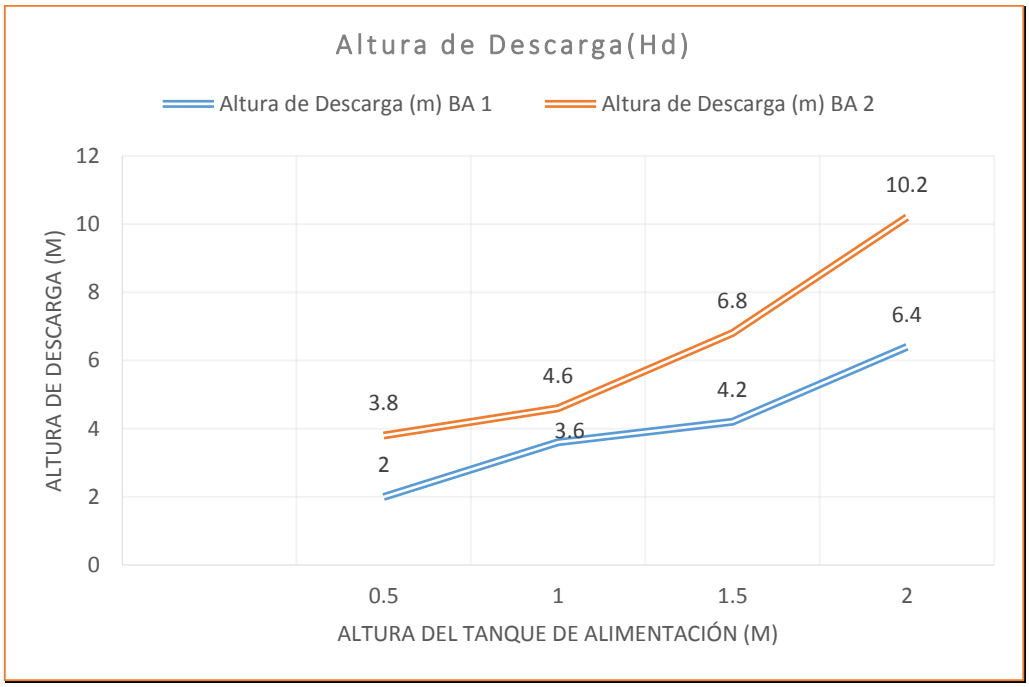
Cuadro N° 09: *Altura vertical de la bomba al sitio de descarga generada por los sistemas*

Altura del Tanque de Alimentación (m)	Altura de Descarga (m)	
	BA 1 (1")	BA 2 (2")
0.5	2	3.8
1	3.6	4.6
1.5	4.2	6.8
2	6.4	10.2

Fuente: *Elaboración propia*

Como se muestra en el Cuadro N° 11, en ambas Bomba de Ariete (BA 1 y BA 2) la altura vertical de la bomba al sitio de descarga (altura de descarga) aumenta considerablemente al incrementar la altura del tanque de alimentación, con esto se obtiene una relación directamente proporcional, teniendo una altura máxima de descarga de 6.4 m en la bomba de ariete de 1" (BA 1) y 10.2 m en la bomba de ariete de 2" (BA 2).

Gráfico N°02. *Altura vertical de la bomba al sitio de descarga (Hd)*



Fuente: *Elaboración propia*

En el Gráfico N°02 se observa como la altura de descarga en ambas bombas de ariete (BA 1 y BA 2) se incrementa al aumentar la altura del tanque de alimentación, obteniendo una altura máxima de descarga de 10.2 m en la Bomba de Ariete de 2" (BA 2).

- ✓ **ANÁLISIS PARA LA ALTURA DE DESCARGA (Hd)**

El análisis estadístico se realizó utilizando la prueba T de Student, con la finalidad de comparar la altura de descarga (Hd) en los dos Sistemas de ariete aplicados en esta investigación, previamente se verificó la normalidad y homogeneidad de varianzas en ambas muestras, ya que para aplicar la prueba T de Student, necesitamos primero obtener esos datos. (Anexo N° 02).

Obtenido los datos de verificación de la normalidad y la homogeneidad de varianzas en nuestras muestras, se procedió al cálculo de los intervalos de confianza (IC) para la media de la altura de descarga Hd (m) en ambos Sistemas compuestas por la BA 1 y BA 2 al 95% de confianza, el cual nos indica que los grupos son diferentes.

Cuadro N° 10: *Prueba de muestras independientes de la Altura de descarga Hd*

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		**Prueba T para la igualdad de medias**				
		F	**Sig.**	**t**	**gl**	**Sig. (bilateral)**	**Diferencia de medias**	**Error típ. de la diferencia**
Altura de descarga **Hd (m)**	Se han asumido varianzas iguales	1224	0,311	-1,435	6	0,201	-24000	16728
	No se han asumido varianzas iguales			-1,435	4,935	0,212	-24000	16728

Fuente: *Elaboración propia*

Interpretación:

La prueba T de Student para muestras independientes se realizó con un nivel de significancia del 5% (0.05), obteniéndose un valor T Student de -1.435, con un nivel de significancia del 0.201 mayor a 0.05, verificándose que la Altura de descarga Hd (m) con el Sistema de ariete de 1" (BA 1) no es diferente que a la Altura de descarga Hd (m) con el Sistema de ariete de 2" (BA 2). Lo cual indica que ambos sistemas funcionan adecuadamente, elevando el fluido sobre el nivel de la bomba de ariete.

- **Relación entre el caudal de descarga y altura de descarga en los sistemas**

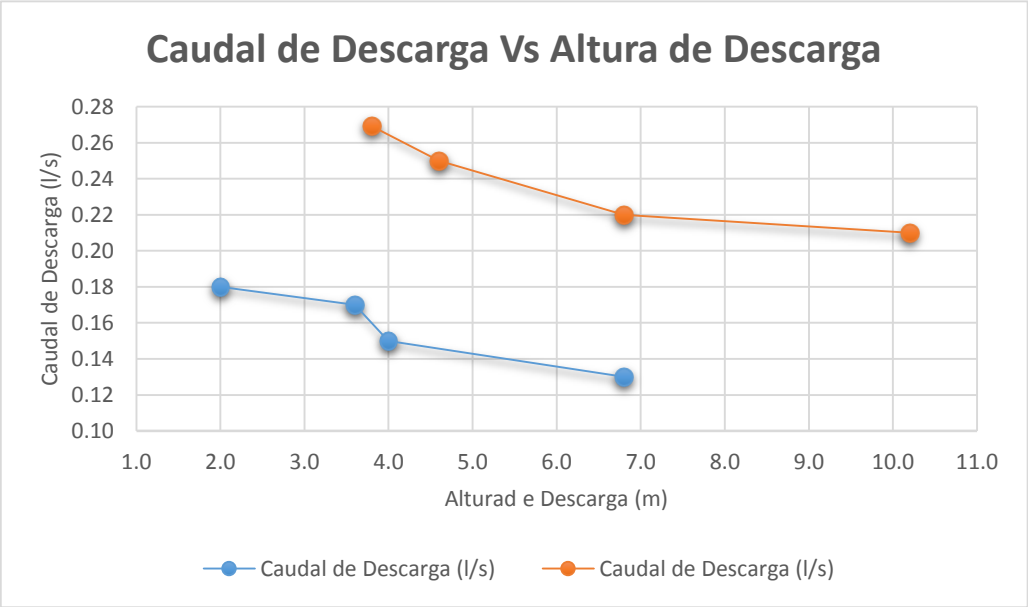
Cuadro N° 11: *Caudal de descarga y Altura de descarga*

Altura de tanque de alimentación Ha (m)	BA 1 (1")		BA 2 (2")	
	Altura de Descarga (m)	Caudal de Descarga (l/s)	Altura de Descarga (m)	Caudal de Descarga (l/s)
0.5	2.0	0.18	3.8	0.27
1	3.6	0.17	4.6	0.25
1.5	4.0	0.15	6.8	0.22
2	6.8	0.13	10.2	0.21

Fuente: *Elaboración propia*

Como se observa en el Cuadro N° 20, al incrementar la altura del tanque de alimentación, la altura de descarga aumenta en ambos sistemas (BA 1 y BA 2), sin embargo, se produce el efecto contrario en el caudal de descarga, observando que a mayor altura de descarga menor es el caudal de descarga para ambos sistemas.

Gráfico N°03. *Caudal de descarga y Altura de descarga*



Fuente: *Elaboración propia*

En el Gráfico N°03, se observa una relación inversamente proporcional ya que el caudal de descarga disminuye al incrementarse la altura de descarga en los sistemas con la Bomba de ariete de 1" (BA 1) y con la bomba de ariete de 2" (BA 2), esta condición es aceptable, ya que esto se ajusta al modelo teórico.

✓ ANÁLISIS PARA EL CAUDAL DE DESCARGA (q)

El análisis estadístico se realizó utilizando la prueba T de Student, con la finalidad de comparar el Caudal de descarga (q) en los dos Sistemas de ariete aplicados en esta investigación, previamente se verificó la normalidad y homogeneidad de varianzas en ambas muestras, ya que para aplicar la prueba T de Student, necesitamos primero obtener esos datos. (Anexo N°02)

Obtenido los datos de verificación de la normalidad y la homogeneidad de varianzas en nuestras muestras, se procedió al cálculo de los intervalos de confianza (IC) para la media del Caudal de descarga (q) en ambos Sistemas de Bomba de ariete al 95% de confianza, el cual nos indica que los grupos son diferentes.

***Cuadro N° 12**: Prueba de muestras independientes del Caudal de descarga (q)*

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		**Prueba T para la igualdad de medias**				
		F	**Sig.**	**t**	**gl**	**Sig. (bilateral)**	**Diferencia de medias**	**Error típ. de la diferencia**
Caudal de Descarga **q (L/s)**	Se han asumido varianzas iguales	0,600	0,468	-4,525	6	0,004	-0,08000	0,01768
	No se han asumido varianzas iguales			-4,525	5,739	0,004	-0,08000	0,01768

***Fuente:** Elaboración propia*

Interpretación:

El análisis estadístico para el Caudal de descarga (q) mediante la prueba T de Student para muestras independientes se realizó con un nivel de significancia del 5% (0.05), obteniéndose un valor T Student de -4.525, con un nivel de significancia del 0.004 menor a 0.05, verificándose que el Caudal de descarga (Qd) con el Sistema de ariete de 1" (BA 1) es diferente al Caudal de descarga (Qd) con el Sistema de ariete de 2" (BA 2), observándose en el Cuadro N° 06, que el Sistema de Bomba de ariete 2" (BA 2) es el mejor.

4.1.4. LONGITUD DE TUBERÍA DE IMPULSIÓN (m)

La longitud de tubería de impulsión fue medida al inicio de cada prueba experimental, debido a que en cada una se incrementaba la altura del tanque de alimentación como se observa en el cuadro, la mediada se realizó desde la salida de la válvula del tanque de alimentación hasta la entrada a la bomba de ariete.

Cuadro N° 13: *Longitud de tubería de Impulsión (m)*

Altura de tanque de alimentación	Longitud de Tubería de impulsión Li (m)	
Ha (m)	**Bomba de ariete 1"**	**Bomba de ariete 2"**
0.5	0.7	0.8
1	1.35	1.5
1.5	1.9	2
2	2.5	2.65

Fuente: *Elaboración propia*

4.2. PARÁMETROS DE DISEÑO PARA UNA BOMBA DE ARIETE

4.2.1. GOLPES POR MINUTO EN LA BOMBA DE ARIETE (Gpm)

Los golpes producidos por la bomba de ariete, fue medido mediante un cronómetro de mano durante un minuto, cuando el sistema estuvo en funcionamiento, se puede observar que a medida se incrementa la altura del tanque de alimentación los golpes son más rápidos.

Cuadro N° 14: *Golpes por minuto producidos por la Bomba de ariete*

Altura de tanque de alimentación	Golpes por minuto (Gpm)	
Ha (m)	**Bomba de Ariete 1"**	**Bomba de Ariete 2"**
0.5	56	110
1	102	120
1.5	110	120
2	116	63

Fuente: *Elaboración propia*

- **Relación entre golpes por minuto y caudal de descarga en los sistemas**

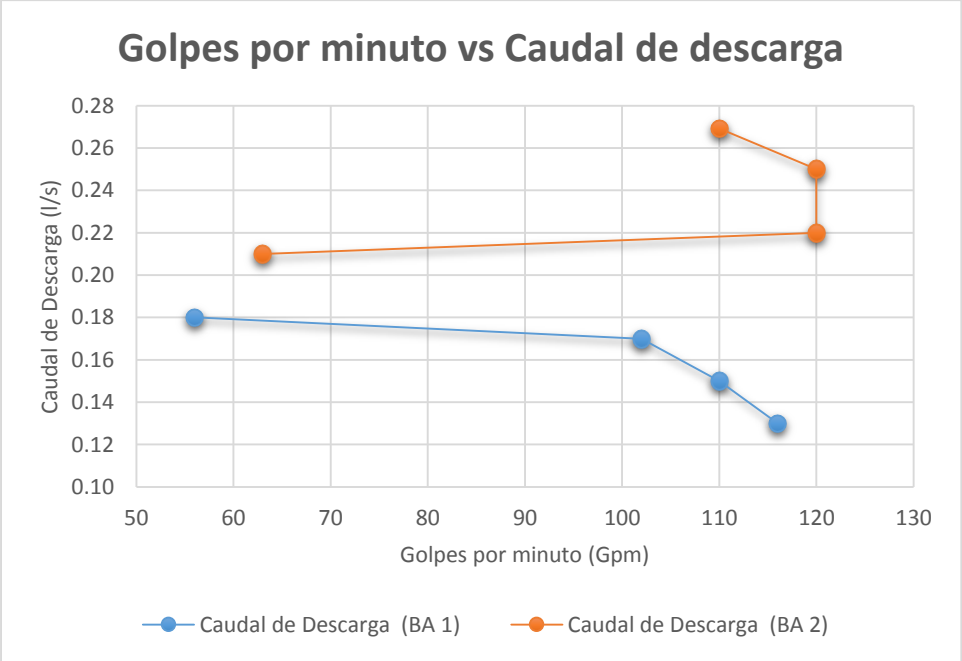
Cuadro N° 15: *Golpes por minuto y Caudal de descarga*

Altura de tanque de alimentación Ha (m)	BA 1 (1")		BA 2 (2")	
	Golpes por minuto (Gpm)	Caudal de Descarga (l/s)	Golpes por minuto (Gpm)	Caudal de Descarga (l/s)
0.5	56	0.18	110	0.27
1	102	0.17	120	0.25
1.5	110	0.15	120	0.22
2	116	0.13	63	0.21

Fuente: *Elaboración propia*

Como observamos en el Cuadro N° 23, para e sistema con BA 1, a medida aumenta la altura del tanque de alimentación, aumentan los golpes por minuto generados por el ariete, mientras que en el sistema compuesto por la BA 2, los golpes por minuto disminuyen considerablemente cuando el tanque de alimentación esta 2 metros de altura, sin embargo este sistema logró una altura de descarga adecuada para el abastecimiento de agua de la zona en estudio.

Gráfico N°04. *Golpes por minuto y Caudal de descarga*



Fuente: *Elaboración propia*

Como se muestra en el Gráfico N° 06, la relación existente entre el caudal de descarga y los golpes por minuto generados por los sistemas es inversamente proporcional, debido a que al disminuir el caudal de descarga, los golpes son más acelerados, a excepción del último punto del sistema con BA 2, ya que este disminuye.

A pesar de las investigaciones experimentales, no se llega a un acuerdo racional acerca de este factor, sin embargo para nuestra bomba de ariete, debido a la válvula de impulso utilizada está especificado de 60 a 80 golpes por minuto, garantizando el paso continuo de agua hacia la tubería de descarga. Así mismo si se tiene en el sistema un mayor número de golpes por minuto se produce un mayor caudal de bombeo y por lo tanto es más eficiente

4.3. ESPECIFICACIONES HIDRÁULICAS QUE RIGEN EL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA DE ARIETE

4.3.1. COEFICIENTE DE ROZAMIENTO EN LA TUBERÍA DE ENTRADA (Pérdida de carga)

La pérdida de carga producida por la tubería de impulsión para los sistemas son como se muestran en el Cuadro N° 14, donde se observa que a medida se incrementa la altura del tanque de alimentación aumenta también la pérdida de carga, esto debido a la tubería de impulsión la cual va a incrementar su longitud.

Así mismo se observa que en la tubería de impulsión de 1” la pérdida de carga es mayor que en la tubería de 2”, esto debido a que el factor de pérdida por fricción es mayor en la tubería de 1”.

Cuadro N° 16: *Perdida de carga producida por la tubería de impulsión (m)*

Altura de tanque de alimentación Ha (m)	Perdidas de Carga (m)	
	BA 1 (1")	BA 2 (2")
0.5	0.08	0.009
1	0.13	0.012
1.5	0.16	0.014
2	0.19	0.017

Fuente: *Elaboración propia*

4.3.2. POTENCIA HIDRÁULICA (PH)

La potencia fue calculada mediante la **Ecuación N°08**, obteniendo los resultados que muestra el Cuadro N° 12, donde se observa que la potencia de la bomba de ariete de 2" (BA 2) es mayor a la generada por la bomba de ariete de 1" (BA 1), esto es debido al diámetro, así mismo la potencia de las Bombas de ariete (BA 1 y BA 2) se incrementan a medida que la altura de tanque de alimentación aumenta.

Cuadro N° 17: *Potencia generada en los sistemas.*

Altura de tanque de alimentación Ha (m)	Potencia (Hp)	
	BA 1 (1")	BA 2 (2")
0.5	1.34	3.84
1	2.40	4.55
1.5	2.64	6.69
2	4.42	9.95

Fuente: *Elaboración propia*

4.3.3. EFICIENCIA (n):

La Eficiencia o rendimiento volumétrico, está dado por la Ecuación N° 11, realizando el cálculo con los datos obtenidos en el proceso experimental, se pudo observar que al incrementar la altura del tanque de alimentación, la eficiencia volumétrica disminuye, esto debido a que el caudal de descarga disminuye a medida que la altura de elevación es mayor. Sin embargo, la eficiencia es mayor cuanto mayor sea la altura de descarga, siempre y cuando este en los rangos de operación normal del ariete.

Cuadro N° 18: *Eficiencia generada en los sistemas.*

Altura de tanque de alimentación Ha (m)	Eficiencia (n)	
	BA 1 (1")	BA 2 (2")
0.5	26.85	26.67
1	25.54	25.25
1.5	22.76	22.35
2	19.99	21.53

Fuente: *Elaboración propia*

- **Relación entre eficiencia y altura de descarga en los sistemas**

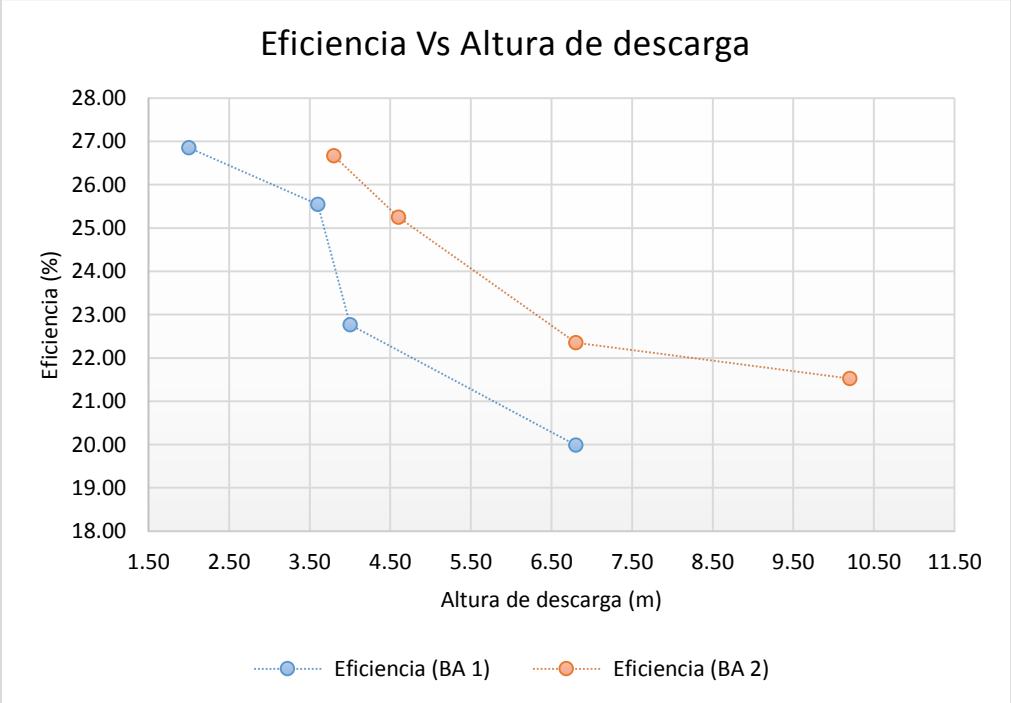
Cuadro N° 19: *Eficiencia y Altura de descarga*

Altura de tanque de alimentación Ha (m)	BA 1 (1")		BA 2 (2")	
	Altura de Descarga (m)	Eficiencia (%)	Altura de Descarga (m)	Eficiencia (%)
0.5	2.00	26.85	3.80	26.67
1	3.60	25.54	4.60	25.25
1.5	4.00	22.76	6.80	22.35
2	6.80	19.99	10.20	21.53

Fuente: *Elaboración propia*

Como se observa en el Cuadro N° 21, existe una relación inversamente proporcional entre la eficiencia y la altura de descarga, ya que al conseguir mayor elevación del fluido, la eficiencia disminuye debido a que 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.

Gráfico N°05. *Caudal de descarga y Altura de descarga*



Fuente: *Elaboración propia*

En el Gráfico N°04, se observa que el sistema con la Bomba de ariete de 2” (BA 2), con una altura de tanque de alimentación de 2 metros, generó la altura de descarga mayor, logrando la altura adecuada para el abastecimiento de agua potable en la zona de estudio, sin embargo la eficiencia es menor debido a que el caudal de descarga es menor.

- **Relación entre eficiencia y caudal de descarga en los sistemas**

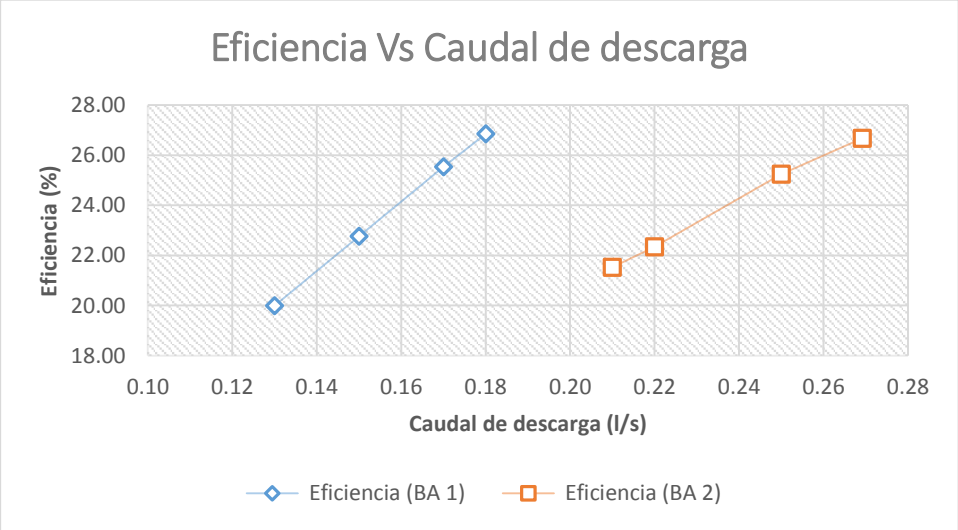
Cuadro N° 20: *Eficiencia y Caudal de descarga*

Altura de tanque de alimentación Ha (m)	BA 1 (1")		BA 2 (2")	
	Caudal de Descarga (l/s)	Eficiencia (%)	Caudal de Descarga (l/s)	Eficiencia (%)
0.5	0.18	26.85	0.27	26.67
1	0.17	25.54	0.25	25.25
1.5	0.15	22.76	0.22	22.35
2	0.13	19.99	0.21	21.53

Fuente: *Elaboración propia*

Como se puede observar en el Cuadro N° 22, a medida que la altura del tanque de alimentación se incrementa, el caudal de descarga disminuye, generando una eficiencia cada vez menor respecto al caudal que descarga el sistema.

Gráfico N°06. *Eficiencia y Caudal de descarga*



Fuente: *Elaboración propia*

Con los resultados mostrados en los Cuadros N° 22, verificamos que a medida que variamos la altura del tanque de almacenamiento, la eficiencia empieza a cambiar, como se observa en el Gráfico N° 05, cuando la altura del tanque de almacenamiento empieza a aumentar, el tiempo del ciclo disminuye, debido a que el fluido se acelera mucho más rápido al haber más presión de alimentación, alcanzando más rápidamente la velocidad necesaria para cerrar la válvula de impulsión y comenzar un nuevo ciclo, debido a este proceso generado por el funcionamiento del sistema, el caudal de descarga tiende a disminuir.

- **elación entre eficiencia y altura del tanque de alimentación**

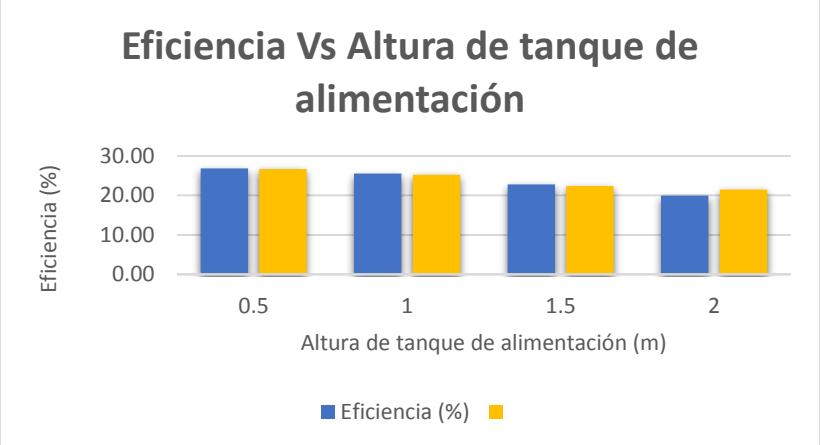
Cuadro N° 21: *Eficiencia y altura del tanque de alimentación*

Altura de tanque de alimentación Ha (m)	Eficiencia (%)	
	BA 1 (1")	BA 2 (2")
0.5	26.85	26.67
1	25.54	25.25
1.5	22.76	22.35
2	19.99	21.53

Fuente: *Elaboración propia*

Como podemos observar en el Cuadro N° 24, la eficiencia disminuye en ambos sistemas debido a la elevación del tanque de alimentación, esto debido a que la eficiencia está en función al caudal de descarga, como ya hemos visto; cuanto más alto sea la elevación del fluido, menor es el caudal de impulsión.

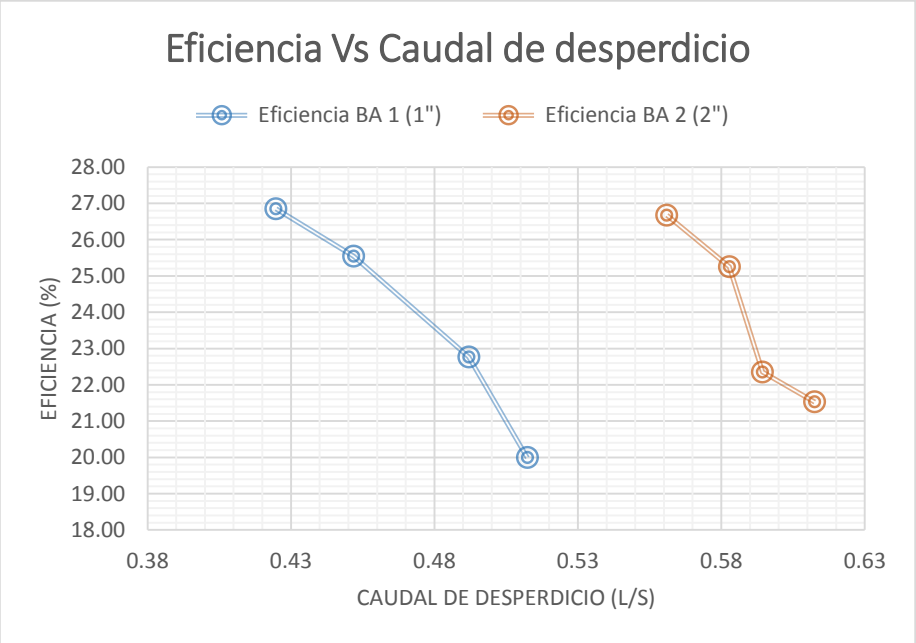
Gráfico N°07. *Eficiencia y Altura de Tanque de alimentación*



En el Gráfico N° 07, se observa la relación inversamente proporcional que existe entre la eficiencia y la altura del tanque de alimentación, es decir, si se aumenta la altura del tanque de alimentación, de la misma manera se aumentará la longitud de la tubería de impulsión; por lo tanto, las pérdidas por fricción aumentan en la tubería disminuyendo la capacidad de bombeo y reduciendo la eficiencia del sistema. De la misma forma, si se selecciona una tubería de impulsión demasiado larga se dañaría los elementos de la bomba de ariete, de ahí que nace la imperiosa necesidad de dimensionar correctamente la tubería para no afectar el rango de operación normal del ariete.

- **Relación entre eficiencia y caudal de desperdicio**

Gráfico N°08. *Eficiencia y Caudal de desperdicio*



Fuente: *Elaboración propia*

Como se observa en el Gráfico N°08, la relación que existe entre la eficiencia y el caudal desperdiciado; es inversamente proporcional, es decir, cuando aumenta el caudal desperdiciado la eficiencia es menor. De ahí que es importante la selección y diseño correcto de la válvula de impulsión, para así tratar de aprovechar de la mejor manera el caudal de alimentación.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

La discusión de los resultados se desarrolla teniendo en cuenta los objetivos planteados en la investigación.

- ✓ **Requisitos hidráulicos para la instalación y el funcionamiento de una bomba de ariete.**

Dentro de los requisitos hidráulicos para la instalación y funcionamiento de la bomba de ariete tenemos al caudal de impulsión, dimensionamiento del tanque de alimentación, altura de descarga, longitud de la tubería de impulsión, diámetro de la tubería de impulsión.

Con respecto al caudal de impulsión requerido para el sistema en estudio, debe de ser continuo, para evitar el ingreso de aire a la tubería de impulsión, para ello se mantuvo el nivel del agua en el tanque de alimentación 40 centímetros por encima del ducto de salida, esto se consiguió con facilidad ya que la captación tiene un caudal de 1.75 l/s, para el tanque de alimentación se instaló una tubería de 2” para mantener el nivel de agua constante.

La dimensión del tanque de impulsión para los sistemas en estudio, fue de 200 litros, se instaló una tubería de la captación al tanque de 2”, para conseguir un caudal de

ingreso constante, la tubería de impulsión se colocó 10 cm. Sobre la base del tanque para evitar el ingreso de algún sedimento.

Las alturas de descarga obtenidas en la primera unidad experimental que estuvo compuesta por el tanque de alimentación de 200 litros de capacidad, tubería de impulsión de 1", bomba de ariete de 1" (BA 1") y tubería de descarga de ¾", fueron de 2, 3.6, 4 y 6.8 metros para una altura de tanque de alimentación de 0.5, 1, 1.5 y 2 metros de altura de tanque de alimentación respectivamente. Estas alturas se midieron desde el nivel de la bomba de ariete hasta el nivel que llega el agua.

Para la segunda unidad experimental que estuvo compuesta por el tanque de alimentación de 200 litros de capacidad, tubería de impulsión de 2", bomba de ariete de 2" (BA 2) y tubería de descarga de 1", este sistema al igual que el primero fue sometido a cambios de altura de tanque de alimentación de 0.5, 1, 1.5 y 2 metros, al variar este factor, aumenta la altura de descarga, así obteniendo para el sistema con BA 2 una elevación de 3.8, 4.6, 6.8 y 10.2 metros respectivamente. Como se pudo observar en los resultados, con el segundo sistema se obtiene la altura adecuada para el abastecimiento de agua en el área de estudio.

Como el sistema está sometido a cambios de altura de tanque de alimentación de 0.5, 1, 1.5 y 2 metros, al variar este factor, también varía la longitud de tubería de impulsión, las cuales fueron: 0.7, 1.35, 1.9 y 2.5 metros respectivamente para el sistema con BA 1. La longitud de la tubería de impulsión es uno de los factores que influye de gran manera en la eficiencia de funcionamiento de la bomba de ariete. En general la longitud no debe ser muy corta ya que esto provoca un cierre temprano de la válvula de impulsión lo cual no permite un aumento de presión adecuado; según los cálculos, la longitud de la tubería de impulsión depende de la altura del tanque de alimentación: L=5H, lo cual obtenemos 2.5, 5, 7.5 y 10 metros para alturas de 0.5, 1, 1.5 y 2 metros del tanque de alimentación, lo cual no se cumplió debido a que el ángulo de salida del tanque de alimentación y entrada a la bomba de ariete fue de 45°.

Así mismo para el sistema BA 2, también varía la longitud de tubería de impulsión, las cuales fueron: 0.8, 1.5, 2 y 2.65 metros respectivamente. Teniendo en cuenta los cálculos, para el sistema se requiere una longitud de tubería de impulsión de 2.5, 5,

7.5 y 10 metros para las alturas de 0.5, 1, 1.5 y 2 metros del tanque de alimentación, lo cual no se cumple debido a la condición anteriormente señalada.

El diámetro de la tubería de impulsión se seleccionó de acuerdo al caudal de impulsión, mediante la **Cuadro N°03** se determinó que para la tubería de impulsión de 1" que conforma el sistema con BA 1, el caudal de impulsión requerido varía de 8 l/min a 38 l/min, mientras que para la tubería de impulsión de 2" que conforma el sistema con BA 2, el caudal de impulsión requerido varía de 57 l/min a 95 l/min; esta condición se cumple para ambos sistemas ya que la captación, como se mencionó anteriormente, tiene un caudal de 1.75 l/s lo cual permite obtener el caudal de impulsión adecuado para el funcionamiento correcto de los sistemas.

- ✓ **Parámetros de diseño para una bomba de ariete.**

Los parámetros de diseño para la bomba de ariete hidráulico son: Golpes por minuto generados por la bomba de ariete, dimensión de la cámara de aire, diámetro de la válvula de impulsión, material de la tubería de impulsión y material de la tubería de descarga.

Los golpes por minuto generados por la primera unidad experimental (BA 1), fueron de 56, 102, 110 y 116 golpes y en la segunda unidad experimental (BA 2), se obtuvo 110, 120, 120 y 63 golpes, cada una correspondiente a las alturas de 0.5, 1, 1.5 y 2 metros de altura del tanque de alimentación. Según el **Cuadro N°04**, la válvula utilizada en el sistema debe darnos de 60 a 80 golpes por minuto, sin embargo el sistema tiene mayor número de golpes, esto produce un mayor caudal de bombeo y por lo tanto es más eficiente.

Con respecto a la dimensión de la cámara de aire, según el **Cuadro N°05** el diámetro de la cámara de aire para a primera unidad experimental (BA 1) debe ser 3 veces el diámetro de la tubería de impulsión (1"), siendo 7.62 cm y la altura de la cámara de aire 10 veces el diámetro de la tubería de impulsión (1"), siendo 25.4 cm, esta condición se cumple para el sistema BA 1 ya que se utilizó una botella de 3 litros, la cual tuvo un diámetro de 9 cm y una altura de 27 cm. Para la segunda unidad

experimental (BA 2) el diámetro de la cámara de aire debe de ser 3 veces el diámetro de la tubería de impulsión (2”), siendo 15.24 cm y la altura de la cámara de aire 10 veces el diámetro de la tubería de impulsión (2”), siendo 50.8 cm, esta condición no se cumple para el sistema BA 2 ya que se utilizó una botella de 3 litros, la cual tuvo un diámetro de 9 cm y una altura de 27 cm.

La primera unidad experimental está compuesta por la bomba de ariete de 1” (BA 1), así mismo la segunda unidad experimental está compuesta por la bomba de ariete de 2” (BA 2), se escogió estos diámetros para el presente trabajo debido a la facilidad de armado y al bajo costo, el dimensionamiento del diámetro de la válvula debe estar orientado a disminuir al máximo la pérdidas volumétricas, y la selección del material del asiento de la válvula encaminado a disminuir el ruido metálico del golpe de ariete.

En cuanto al material de la tubería de impulsión, se utilizó para los dos sistemas tubería de PVC, hay que tener en cuenta que existe un peligro de rotura debido a la vibración, sin embargo en el transcurso de la investigación no se presentó roturas.

La tubería de descarga utilizada en el proceso experimental para los dos sistemas fue manguera transparente, a diferencia de la tubería impulsión, la de descarga o entrega puede ser de cualquier material; que sea capaz de soportar una pequeña presión de agua ascendiendo al tanque de descarga.

- ✓ **Especificaciones hidráulicas que rigen el funcionamiento de una bomba de ariete.**

Dentro de las especificaciones hidráulicas para la bomba de ariete, tenemos a: Coeficientes de rozamiento en la tubería de entrada, altura de alimentación, Potencia.

Con respecto al coeficiente de rozamiento o las pérdidas generadas, las paredes interiores del tubo debe ser lo más liso posible para evitar pérdidas por fricción, que

afecta la eficiencia del ariete. Como se observó en los resultados, a medida que se incrementa la altura del tanque de alimentación, también aumenta la longitud de la tubería de impulsión, dando lugar a un aumento de la pérdida de carga. En general la longitud no debe ser muy corta ya que esto provoca un cierre temprano de la válvula de impulsión lo cual no permite un aumento de presión adecuado; si la dimensión es muy larga las pérdidas por fricción dominan reduciendo la capacidad de la bomba.

La altura de alimentación, como se ha ido mencionando para el estudio se utilizó 0.5, 1, 1.5 y 2 metros para las dos unidades experimentales, con cada altura se obtuvo resultados diferentes, el rango de las alturas debe variar entre 1 a 30 metros, esta condición no se cumple con la altura de 0.5 metros de tanque de alimentación, sin embargo se pudo obtener una altura de descarga aceptable para el estudio.

Potencia de la bomba de ariete que conforma cada sistema, tiende a aumentar a medida que se incrementa la altura del tanque de alimentación, obteniendo una potencia de 4.42 Hp en el sistema conformado por la BA 1 con una altura de 2 metros del tanque de alimentación, y en el sistema con la BA 2, a la misma altura de tanque de alimentación se obtuvo una potencia de 9.95 Hp.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Con el estudio de los requisitos hidráulicos para la instalación y el funcionamiento de una bomba de ariete, se determinó que el más importante es el caudal de ingreso al tanque de alimentación de la bomba de ariete, esto dará un caudal de impulsión adecuado al sistema, este factor debe ser continuo ya que mantendrá el funcionamiento adecuado del sistema, para lograr esto debemos de tener como mínimo 0.3 m de agua sobre la tubería de impulsión, de ser menor el sistema se vuelve lento bajando la eficiencia.

- Proporcionando el diámetro y longitud adecuada de la tubería de impulsión al sistema se puede elevar agua a alturas mayores desde el nivel de captación.

- La Dimensión de la cámara de aire es uno de los parámetros de diseño para una bomba de ariete igual de importantes que el resto de los factores, ya que ayuda a proporcionar una continua entrega de agua a una tasa relativamente uniforme. Es

decir cambia el funcionamiento intermitente de la bomba a un comportamiento continuo.

- La bomba de ariete puede elevar el fluido a alturas mayores gracias a la energía que produce la caída de agua, por consiguiente la altura del tanque de alimentación del sistema en estudio, fue uno de los factores más influyentes en la eficiencia del sistema, dado que al aumentar la altura, la elevación del fluido se incrementaba considerablemente, así obteniendo una altura máxima de 10.2 metros con la bomba de ariete de 2", con una altura de tanque de alimentación de 2 metros, lo cual es la altura óptima para abastecer a la zona rural en estudio.

- El mantenimiento del sistema empleado es mínimo, ya que solo se tiene que tener cuidado con los sedimentos que deja el agua.

- Las bombas de ariete empleadas para las pruebas experimentales, son una alternativa amigable con el medio ambiente ya que utiliza ninguna fuente de energía no renovable, por ende no produce contaminación alguna.

- Evaluando los diferentes factores hidráulicos de la bomba de ariete se obtiene valores de eficiencia distintos, calificando de esta manera la hipótesis como positiva, dado que la correcta evaluación de los factores hidráulicos en la bomba de ariete nos permitió conseguir la altura adecuada y así poder llevar el agua hacia la zona en estudio.

6.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de este sistema para comunidades que cuentan con fuentes de agua que se encuentran a un desnivel desfavorable.

- Mantener el caudal de alimentación de manera constante para el normal funcionamiento del sistema hidráulico.

- Minimizar el uso de accesorios y reducciones que provoquen pérdidas de carga por rozamiento o fricción.

- La tubería de impulsión y la bomba de ariete sean lo más rígido posible y capaz de garantizar una buena expansión de la onda de sobrepresión para aprovechar de una manera más eficiente el golpe de ariete.

- Se debe fijar correctamente la bomba de ariete en una posición horizontal, bien anclada para evitar deslizamiento por vibración cuando el sistema entre en funcionamiento.

- Se recomienda realizar las pruebas experimentales con alturas mayores del tanque de alimentación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Libros:

Arancibia, G.; Navarro, C. (2006). *"Bombeo de agua sin costos" Energía mini-hidráulica, Agua y Procesos: Generación de Energías Alternativas (GEA).* Recuperado el 28 de abril de 2010.

Gonzales, K.; Llanos, J. (2007). *"Bomba de ariete y su construcción"*. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional de Ancash - Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú.

PUCP-Grupo de Apoyo al Sector Rural (2002*). "Como calcular el caudal del agua"* Serie casa ecológica, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú 2002.

PUCP-Grupo de Apoyo al Sector Rural (2007*). "Construcción de una Bomba de Ariete de PVC de una pulgada"* Tema 5, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú 2007.

PUCP-Grupo de Apoyo al Sector Rural (2007). *"Criterios para la selección de una Bomba de Ariete y Costos Comparativos"* Tema 3, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú 2007.

Espinosa, M., Villota, D. (2011). *"Planificación y diseño de un sistema hidráulico para el bastecimiento de agua en el barrio San Miguel de Paquiestancia del cantón Cayambe ubicado a 3200 m.s.n.m.".* Proyecto, Escuela Politécnica Nacional – Quito.

Campaña, C.; Guaman, D. (2011). *"Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico".* Obtenido de

Rojas, D. (2013) *"Utilización de una bomba de ariete para la alimentación de agua a predios rurales, a partir de cauces naturales de agua, Iquitos-Perú"* Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Iquitos.

Paredes, M.; Tuquinga, R. (2012) *"Diseño e instalación de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en la comunidad de Airón Cebadas"*. Riobamba - Ecuador.

Acitorez, F. (2012) *"Estudio teórico y experimental de la bomba de ariete".* Universidad Carlos II – Madrid.

Galarza, R. (2013) *"Estudio hidráulico de una bomba de ariete y el efecto multimpulsor para su instalación".* Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.

Fernández Muñoz, N. (2013) *"Soluciones Hídricas Sustentables".*

Federico, Coz. (1995) "*Manual de mini y microcentrales hidraúlicas*".

Ortega Nebra. J. (2013) *"Construcción, caracterización hidráulica y estudio de aplicación de una bomba de ariete para el riego agrícola"*.

Cavero La Roa, P. (2013) *"Modelamiento matemático de bomba de ariete"*.

Ruiz Fujarte, E. (2016) *"Abastecimiento de agua potable"*.

Centro Internacional de Agua y Saneamiento (1988) *"Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable para Pequenas Comunidades"*.

Lampoglia, T.; Agüero, R.; Barrios, C. (2008*). "Orientaciones sobre Agua y Saneamiento para zonas rurales"*.

Torres, R. CEPIS (2006) *"Opciones tecnológicas y niveles de servicio para el abastecimiento y distribución de agua"*.

Revistas:

CUBASOLAR, (2010) *"Los secretos del ariete hidráulico"*.

MINSA, (1997) *"Manual de procedimientos técnicos en saneamiento"*.

Páginas web:

https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2010/1/EI2001/5/material_docente/

http:// bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2759

http:// bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4020

http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1908/T-621.252

http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/2403/1/15T00519.pdf

http://orff.uc3m.es/bitstream/10016/14685/1/PFC_Fco.Javier_Acitores_Martinez.pdf

http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3714/1/Tesis%20I.%20M.%20157%20%20Galarza%20Chac%C3%B3n%20Ra%C3%BAl%20Fernando.pdf

http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia25/HTML/articulo05.htm

https://es.slideshare.net/nelsonFernandez4/arietes-hidrulicos-chiloe

http://www.cnr.gob.cl/Home/Documentacin%20Complementaria/Manual%20de%20Mni%20y%20Microcentrales%20Hidr%C3%A1ulicas.pdf

https://zaguan.unizar.es/record/10487?ln=es

https://es.slideshare.net/pablocavero/modelamiento-matematico-bomba-de-ariete

https://prezi.com/ie_c4vmfrinh/abastecimiento-de-agua-potable/

http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/agua_potable/agua_potable4

http://www.minsa.gob.pe/publicaciones/aprisabac/44.pdf

http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d21/019_SER_OrientacionesA&Szonasrurales/Orientaciones%20sobre%20A&S%20para%20zonas%20rurales.pdf

http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-1sas.htm

ANEXO

ANEXO N° 01: MODELOS MATEMÁTICOS DE LA BOMBA DE ARIETE

En esta parte se realiza una descripción de los estudios más destacados, realizados en torno a los modelos matemáticos del ariete. Aparte del modelo de Krol, que es el modelo más completo se presenta cuatro modelos sobresalientes de los cuales se aprovecha las características más relevantes.

Hipótesis generales para todos los modelos

1. Tipo de flujo: Flujo unidimensional a lo largo del tubo de impulsión.
2. Pérdidas de carga: Los factores de pérdida de carga en los diferentes elementos del ariete, se determinan experimentalmente en condiciones de flujo estacionario y se los utiliza en el modelo durante el flujo.
3. Elementos considerados: Ningún modelo considera cuantitativamente la presencia de la cámara como de la válvula de aire.
4. El cierre de las válvulas se consideran instantáneos: Es decir no poseen inercia. Esta restricción es necesaria por la escasez de conocimiento sobre el comportamiento dinámico de la válvula.
5. Sólo la velocidad de flujo y variaciones de diferencia de presión promedio son considerados en el sistema.

Modelos de Iversen

Considera la válvula de impulso; pero únicamente en dos aspectos: como elemento que provoca pérdidas de carga y como causante de división del ciclo en dos etapas:

- Cuando está abierta: Aceleración o impulso, y
- Cuando está cerrada: Desaceleración o bombeo.

Se considera la presencia de la válvula de servicio, como componente que contribuye en la pérdida de carga durante el bombeo.

Modelo de Schiller

Utiliza las ecuaciones del modelo anterior con consideraciones que mejoran la precisión en la obtención de datos.
Se considera que la pérdida de carga "hr", durante el período de bombeo (período en el que ocurre la desaceleración de la columna de agua en el tubo de impulso), se puede expresar por la ecuación:

$$Hr = cr\ (1 - h/hmax)$$

Donde:

cr: es un coeficiente experimental de pérdida de carga en el período de bombeo.

hmax: es la carga de servicio máxima que el ariete puede desarrollar en exceso, sobre la carga de alimentación.(m)

Modelo de Lansford y Dugan

En éste modelo se propone obtener una relación entre la velocidad de la columna de agua en el tubo de impulso con el tiempo, para cada uno de los seis períodos en los cuales Lansford y Dugan, dividen al ciclo hidráulico del ariete. A partir de éstas relaciones se pueden encontrar la cantidad de agua bombeada y desperdiciada además del tiempo consumido en un ciclo.

Modelo matemático de Krol

Dado al gran análisis al cual ha sido objeto el ariete posee un sin número de modelos matemáticos, como se presentó anteriormente. Pese a ello el modelo que se encuentra más desarrollado, es el de Krol, que presenta una correlación satisfactoria de lo teórico con lo experimental. Dada su gran exactitud para tareas de ingeniería se usa éste modelo para obtener las principales variables del hydram.

Teoría de Krol

Krol utiliza las ecuaciones del modelo de Schiller, y utiliza un modelo teórico experimental, además para un estudio aceptable divide al ciclo hidráulico del ariete en siete periodos, a los cuales aplica las leyes generales físicas. Su teoría está sustentada con el estudio experimental de un ariete especialmente diseñado para este fin.

Está teoría presenta una desviación máxima del 15% entre lo teórico y lo experimental. Las variables que se pueden regular son:

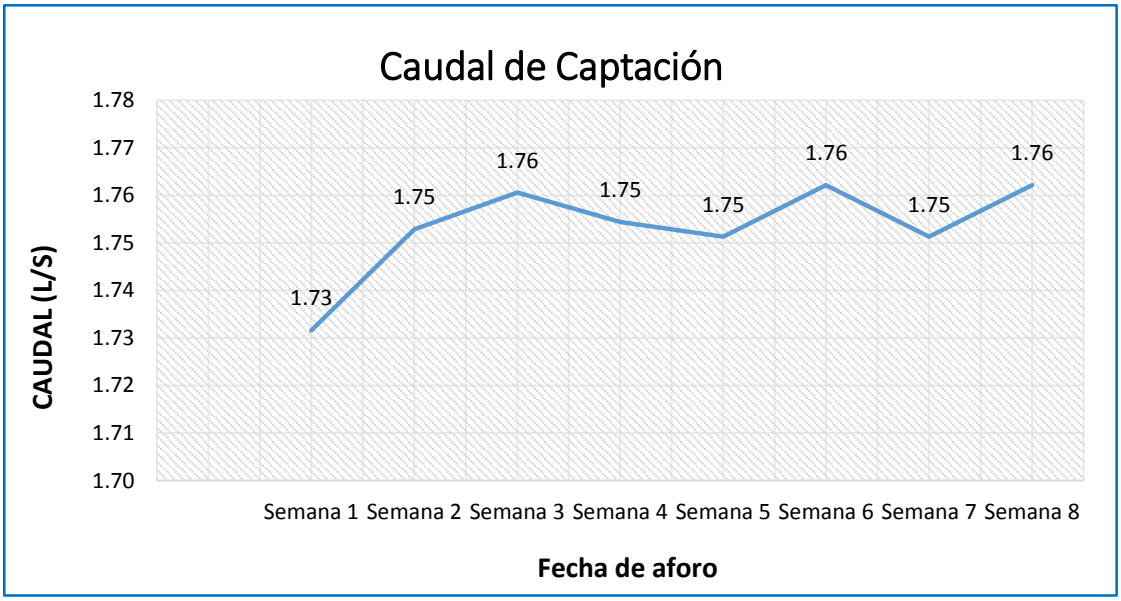
a. La cabeza de entrega.
b. La longitud de la carrera de la válvula de impulso.
c. El peso de la válvula de impulso.
d. Tipo de válvula de servicio.
e. Volumen de la cámara de aire.

ANEXO N° 02: DATOS OBTENIDOS EN CAMPO

DATOS DEL AFORO

CAPTACIÓN

Fecha	Volumen (l)	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
		1	2	3	4	5		
09/01/2017	4	2.32	2.31	2.32	2.29	2.31	2.31	1.73
16/01/2017	4	2.26	2.3	2.26	2.29	2.3	2.28	1.75
23/01/2017	4	2.27	2.26	2.27	2.3	2.26	2.27	1.76
30/01/2017	4	2.29	2.26	2.29	2.3	2.26	2.28	1.75
06/02/2017	4	2.31	2.26	2.31	2.28	2.26	2.28	1.75
13/02/2017	4	2.28	2.25	2.28	2.29	2.25	2.27	1.76
20/02/2017	4	2.3	2.27	2.3	2.28	2.27	2.28	1.75
27/02/2017	4	2.25	2.28	2.25	2.29	2.28	2.27	1.76
Fuente: *Elaboración propia*								**1.75**



Fuente: *Elaboración propia*

CAUDAL DE IMPULSIÓN 1"

Altura: 0.5
Diámetro: 1"

Fecha	Volumen (l)	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
		1	2	3	4	5		
09/01/2017	4	5.95	5.98	5.95	5.98	5.97	5.97	0.67
								0.67

Altura: 1
Diámetro: 1"

Fecha	Volumen (l)	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
		1	2	3	4	5		
16/01/2017	4	6.02	6	6.02	6.01	6	6.01	0.67
								0.67

Altura: 1.5
Diámetro: 1"

Fecha	Volumen (l)	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
		1	2	3	4	5		
23/01/2017	4	6.08	6.06	6.07	6.06	6.07	6.07	0.66
								0.66

Altura: 2
Diámetro: 1"

Fecha	Volumen (l)	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
		1	2	3	4	5		
30/01/2017	4	6.18	6.16	6.18	6.16	6.11	6.16	0.65
								0.65

Fuente: *Elaboración propia*

CAUDAL DE IMPULSIÓN 2"

Altura: 0.5
Diámetro: 2"

Fecha		Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
	Volumen (l)	1	2	3	4	5		
06/02/2017	4	3.98	3.95	3.98	3.95	3.96	3.96	1.01
								1.01

Altura: 1
Diámetro: 2"

Fecha		Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
	Volumen (l)	1	2	3	4	5		
13/02/2017	4	4.01	4.05	4.06	4.05	4.06	4.05	0.99
								0.99

Altura: 1.5
Diámetro: 2"

Fecha		Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
	Volumen (l)	1	2	3	4	5		
20/02/2017	4	4.05	4.06	4.08	4.06	4.08	4.07	0.98
								0.98

Altura: 2
Diámetro: 2"

Fecha		Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
	Volumen (l)	1	2	3	4	5		
27/02/2017	4	4.11	4.09	4.1	4.09	4.1	4.10	0.98
								0.98

Fuente: *Elaboración propia*

CAUDAL DE DESPERDICIO 1"

Altura: 0.5
Diámetro: 0.75

Fecha		Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
	Volumen (l)	1	2	3	4	5		
09/01/2017	4	9.42	9.41	9.41	9.41	9.42	9.41	0.42
								0.42

Altura: 1
Diámetro: 0.75

Fecha		Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
	Volumen (l)	1	2	3	4	5		
16/01/2017	4	8.87	8.85	8.84	8.85	8.84	8.85	0.45
								0.45

Altura: 1.5
Diámetro: 0.75

Fecha		Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
	Volumen (l)	1	2	3	4	5		
23/01/2017	4	8.15	8.13	8.15	8.13	8.11	8.13	0.49
								0.49

Altura: 2
Diámetro: 0.75

Fecha		Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
	Volumen (l)	1	2	3	4	5		
30/01/2017	4	7.82	7.82	7.81	7.81	7.79	7.81	0.51
								0.51

CAUDAL DE DESPERDICIO 2"

Altura: 0.5
Diámetro: 1

Fecha		Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
	Volumen (l)	1	2	3	4	5		
06/02/2017	4	7.14	7.12	7.13	7.12	7.13	7.13	0.56
								0.56

Fuente: *Elaboración propia*

Altura: 1
Diámetro: 1

Fecha	Volumen (l)	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
		1	2	3	4	5		
13/02/2017	4	6.86	6.87	6.86	6.87	6.86	6.86	0.58
								0.58

Altura: 1.5
Diámetro: 1

Fecha	Volumen (l)	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
		1	2	3	4	5		
20/02/2017	4	6.74	6.73	6.74	6.73	6.72	6.73	0.59
								0.59

Altura: 1.5
Diámetro: 1

Fecha	Volumen (l)	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
		1	2	3	4	5		
27/02/2017	4	6.54	6.53	6.52	6.53	6.52	6.53	0.61
Fuente: *Elaboración propia*								**0.61**

CAUDAL DE DESCARGA 1"

Altura: 0.5
Diámetro: 1"

Fecha	Volumen (l)	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
		1	2	3	4	5		
09/01/2017	4	35.85	35.87	35.85	35.87	35.86	35.86	0.11
								0.18

Altura: 1
Diámetro: 1"

Fecha	Volumen (l)	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
		1	2	3	4	5		
16/01/2017	4	33.76	33.78	33.77	33.78	33.77	33.77	0.12
								0.17

Altura: 1.5
Diámetro: 1"

Fecha	Volumen (l)	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
		1	2	3	4	5		
23/01/2017	4	24.56	24.53	24.56	24.53	24.55	24.55	0.16
								0.15

Altura: 2
Diámetro: 1"

Fecha	Volumen (l)	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
		1	2	3	4	5		
30/01/2017	4	18.74	18.72	18.73	18.72	18.73	18.73	0.21
Fuente: *Elaboración propia*								**0.13**

CAUDAL DE DESCARGA 2"

Altura: 0.5
Diámetro: 2"

Fecha	Volumen (l)	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
		1	2	3	4	5		
06/02/2017	4	14.87	14.85	14.87	14.85	14.86	14.86	0.27
								0.27

Altura: 1
Diámetro: 2"

Fecha	Volumen (l)	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
		1	2	3	4	5		
13/02/2017	4	15.97	15.98	15.98	15.98	15.98	15.98	0.25
								0.25

Altura: 1.5
Diámetro: 2"

Fecha	Volumen (l)	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
		1	2	3	4	5		
20/02/2017	4	16	16	17.86	16	17.86	16.74	0.24
Fuente: *Elaboración propia*								**0.22**

Altura: 2
Diámetro: 2"

Fecha	Volumen (l)	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
		1	2	3	4	5		
27/02/2017	4	16.82	16.8	16.82	16.8	16.77	16.80	0.24
								0.21

Fuente: *Elaboración propia*

DATOS DEL SISTEMA

Bomba de ariete 1" (BA 1)

Nivel de agua	0.4	m
Diámetro de Salida	0.75	plg
Diámetro Impulsión	1	plg

Datos obtenidos en el Proceso Experimental

Altura de tanque de alimentación Ha (m)	Longitud de Tubería de impulsión Li (m)	Caudal de impulsión Q (L/s)	Golpes por minuto (Gpm)	Caudal de Desperdicio Qd (L/s)	Altura de descarga Hd (m)	Caudal de Descarga q (L/s)
0.5	0.7	0.67	56	0.42	2	0.18
1	1.35	0.67	102	0.45	3.6	0.17
1.5	1.9	0.66	110	0.49	4	0.15
2	2.5	0.65	116	0.51	6.2	0.13

Fuente: *Elaboración propia*

En el cuadro de muestran los datos obtenidos en el proceso experimental de campo, son datos medidos netamente en el lugar donde se desarrolló las pruebas hidráulicas, se utilizó wincha, para el aforo de utilizó un cronómetro y un balde pequeño.

Cálculos Realizados posterior al trabajo de campo

Velocidad de entrada a la Bomba de ariete Ve (m/s)	Perdidas de Carga en la tubería de impulsión (m)	Presión de entrada a la bomba de ariete	Velocidad de Salida de la Bomba de ariete Vs (m/s)	Perdidas de Carga en la Bomba de ariete (m)	Presión de salida de la bomba de ariete	Eficiencia (%)	Potencia (HP)
1.32	0.08	0.73	1.49	0.08	0.62	26.85	1.341
1.31	0.13	1.19	1.59	0.10	1.05	25.54	2.396
1.30	0.16	1.65	1.73	0.12	1.47	22.76	2.637
1.28	0.19	2.12	1.80	0.13	1.91	20.01	4.027

Fuente: *Elaboración propia*

Los datos que se muestran en el cuadro, son obtenidos después de aplicar la fórmulas anteriormente mencionadas en la presente investigación, estas fórmulas se utilizaron para el cálculo hidráulico, calculando la velocidad de entrada y salida en cada bomba de ariete, así como también se calculó las pérdidas de carga en la tubería de impulsión, las presiones en la entrada y salida de cada una de las bombas de ariete, y por último se calculó la eficiencia del sistema y la potencia.

Bomba de ariete 2" (BA 2)

Nivel de agua	0.4	m
Diámetro Salida	1	plg
Diámetro Impulsión	2	plg

Datos obtenidos en el Proceso Experimental

Altura de tanque de alimentación	Longitud de Tubería de impulsión Li (m)	Caudal de impulsión Q (L/s)	Golpes por minuto (Gpm)	Caudal de Desperdicio Qd (L/s)	Altura de descarga Hd (m)	Caudal de Descarga q (L/s)
0.5	0.8	1.01	110	0.56	3.8	0.27
1	1.5	0.99	120	0.58	4.6	0.25
1.5	2	0.98	120	0.59	6.8	0.22
2	2.65	0.98	63	0.61	10.2	0.21

Fuente: *Elaboración propia*

Cálculos Realizados posterior al trabajo de campo

Velocidad de entrada a la Bomba de ariete Ve (m/s)	Perdidas de Carga en la tubería de impulsión (m)	Presión de entrada a la bomba de ariete	Velocidad de Salida de la Bomba de ariete Vs (m/s)	Perdidas de Carga en la Bomba de ariete (m)	Presión de salida de la bomba de ariete	Eficiencia (%)	Potencia (HP)
0.50	0.009	0.88	1.11	0.039	0.79	26.68	3.83
0.49	0.012	1.38	1.15	0.043	1.28	25.29	4.55
0.49	0.014	1.87	1.17	0.045	1.77	22.36	6.69
0.48	0.017	2.37	1.21	0.048	2.26	21.51	9.96

Fuente: *Elaboración propia*

Los datos que se muestran en el cuadro, son obtenidos después de aplicar la fórmulas anteriormente mencionadas en la presente investigación, estas fórmulas se utilizaron para el cálculo hidráulico, calculando la velocidad de entrada y salida en cada bomba de ariete, así como también se calculó las pérdidas de carga en la tubería de impulsión, las presiones en la entrada y salida de cada una de las bombas de ariete, y por último se calculó la eficiencia del sistema y la potencia.

ANEXO N°03: ANÁLISIS ESTADÍSTICO PRUEBA T DE STUDENT

Con la finalidad de comparar el Caudal de descarga (q) en los dos Sistemas de ariete aplicados en esta investigación, se verificó la normalidad y homogeneidad de varianzas en ambas muestras, obteniéndose los siguientes resultados:

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para la muestra del Caudal de descarga (q)			
Bomba de ariete			**Caudal de Descarga Qd (L/s)**
Bomba de ariete 1" (BA 1)	N		4
	Parámetros normales[a,b]	Media	,1575
		Desviación típica	,02217
	Diferencias más extremas	Absoluta	,214
		Positiva	,155
		Negativa	-,214
	Z de Kolmogorov-Smirnov		,427
	Sig. asintót. (bilateral)		,993
Bomba de ariete 2" (BA 2)	N		4
	Parámetros normales[a,b]	Media	,2375
		Desviación típica	,02754
	Diferencias más extremas	Absoluta	,237
		Positiva	,237
		Negativa	-,175
	Z de Kolmogorov-Smirnov		,475
	Sig. asintót. (bilateral)		,978
a. La distribución de contraste es la Normal.			
b. Se han calculado a partir de los datos.			

Fuente: *Elaboración propia*

Como se puede apreciar el nivel de significancia para la prueba de normalidad para cada muestra es superior al 5% (0.05) (0.993 y 0.978 respectivamente), con lo cual se verifica las dos muestras provienen de una distribución normal. Así mismo, en el

Cuadro N° 00, La prueba de Leven muestra un nivel de significancia superior al (0.05), es decir que existe una probabilidad de error del 46.8% (0.468) que la variabilidad aleatoria es diferente en cada grupo, por lo que se verifica la homogeneidad de varianzas.

Hipótesis Estadística

Ho: El Caudal de descarga (q) con el Sistema de ariete de 1" (BA 1) no es diferente al Caudal de descarga (q) con el Sistema de ariete de 2" (BA 2)

H1: El Caudal de descarga (q) con el Sistema de ariete de 1" (BA 1) es diferente al Caudal de descarga (q) con el Sistema de ariete de 2" (BA 2)

Intervalos de confianza para la media del Caudal de descarga (q) según Sistema de Bomba de ariete

El Caudal de descarga (q)	**Bomba de ariete 1" (BA 1)**	**Bomba de ariete 2" (BA 2)**
Media	0.1575	0.2375
Error típ. de la media	0.01109	0.01377
IC 95% Límite inferior	0.1357636	0.2105108
IC 95% Límite superior	0.1792364	0.2644892

Fuente: *Elaboración propia*

Calculo de los intervalos de confianza (IC) para la media del Caudal de descarga (q) en ambos Sistemas de Bomba de ariete al 95% de confianza, el cual nos indica que los grupos son diferentes.

Así mismo, con la finalidad de comparar la Altura de descarga Hd (m) en los dos Sistemas de ariete aplicados en esta investigación, se verificó la normalidad y homogeneidad de varianzas en ambas muestras, obteniéndose los siguientes resultados:

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para la muestra Altura de descarga Hd (m)			
Bomba de ariete			**Altura de descarga Hd (m)**
Bomba de ariete 1" (BA 1)	N		4
	Parámetros normales[a,b]	Media	3,950
		Desviación típica	1,7311
	Diferencias más extremas	Absoluta	,238
		Positiva	,238
		Negativa	-,170
	Z de Kolmogorov-Smirnov		,477
	Sig. asintót. (bilateral)		,977
Bomba de ariete 2" (BA 2)	N		4
	Parámetros normales[a,b]	Media	6,350
		Desviación típica	2,8630
	Diferencias más extremas	Absoluta	,229
		Positiva	,229
		Negativa	-,187
	Z de Kolmogorov-Smirnov		,459
	Sig. asintót. (bilateral)		,984
a. La distribución de contraste es la Normal.			
b. Se han calculado a partir de los datos.			

Fuente: *Elaboración propia*

Como se puede apreciar el nivel de significancia para la prueba de normalidad para cada muestra es superior al 5% (0.05) (0.977 y 0.984 respectivamente), con lo cual se verifica las dos muestras provienen de una distribución normal. Así mismo, en el Cuadro N° 00, La prueba de Leven muestra un nivel de significancia superior al (0.05), es decir que existe una probabilidad de error del 46.8% (0.468) que la variabilidad aleatoria es diferente en cada grupo, por lo que se verifica la homogeneidad de varianzas.

Hipótesis Estadística

Ho: La Altura de descarga Hd (m) con el Sistema de ariete de 1” (BA 1) no es diferente a la Altura de descarga Hd (m) con el Sistema de ariete de 2” (BA 2)

H1: La Altura de descarga Hd (m) con el Sistema de ariete de 1” (BA 1) es diferente a la Altura de descarga Hd (m) con el Sistema de ariete de 2” (BA 2)

Intervalos de confianza para la media de la Altura de descarga Hd (m) según Sistema de Bomba de ariete

Altura de descarga Hd (m)	**Bomba de ariete 1" (BA 1)**	**Bomba de ariete 2" (BA 2)**
Media	3950	6350
Error típ. de la media	0.8655	1.4315
IC 95% Límite inferior	3948.30362	6347.19426
IC 95% Límite superior	3951.69638	6352.80574

Fuente: *Elaboración propia*

Calculo de los intervalos de confianza (IC) para la media de la Altura de descarga Hd (m) en ambos Sistemas de Bomba de ariete al 95% de confianza, el cual nos indica que los grupos son diferentes.

ANEXO N° 04: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL ARIETE HIDRÁULICO

Este manual va dirigido a cualquier persona que vaya a utilizar y manipular los parámetros de instalación de una bomba ariete, ya que es una máquina sencilla, tanto para su operación como en su reducido mantenimiento.

1. **Operación:**

Una vez instalada la bomba de ariete se procede a hacerla operar, teniendo en cuenta de tomar las mediciones directamente para lo cual se sigue los siguientes pasos:

1. Verificar que el tanque de alimentación este lleno. Se puede instalar un sistema de recirculación del agua.
2. Establecer la configuración del ensayo a realizar, es decir, peso, carrera y válvulas de impulsión.
3. Configurar la carrera de válvula de impulsión para el ensayo establecido.
4. Colocar el peso en la válvula de impulsión de acuerdo a la configuración que está establecida.
5. Abrir la llave del caudal de alimentación.
6. Abrir y cerrar la válvula de impulsión manualmente para inducir el golpe de ariete en caso que no se produzca.
7. Tomar los datos de los manómetros y rotámetros a partir de la máxima presión que produce el sistema.
8. Por último, modificar la apertura de la válvula para obtener diferentes valores de altura y caudal de descarga.

2. **Mantenimiento:**

Si el ariete está bien diseñado, construido e instalado el mantenimiento necesario será mínimo, dentro del cual se deben considerar algunos puntos como son:

- ✓ La limpieza de la rejilla del tanque de abastecimiento. Entrada del agua.
- ✓ Limpieza del tanque de alimentación.

- ✓ Revisión de válvulas.
- ✓ Desmontaje del ariete (válvula de impulsión) para remover suciedades.
- ✓ Regulación pernos de anclaje.
- ✓ Revisión de la cantidad de aire en la cámara de aire. Vaciado de la misma para llenar el volumen de la cámara de aire.
- ✓ Pintura del ariete hidráulico.

Fases de revisión:

El ariete hidráulico es una bomba que no necesita mayor lubricación de sus partes ya que las válvulas siempre están inundadas; sin embargo, se recomienda lubricar sus partes móviles en caso de que no esté funcionando para disminuir el efecto de la oxidación.

Actividad	**Periodo de mantenimiento**
Revisión de válvulas	Semanalmente
Desmontaje del ariete	Semestralmente
Regulación pernos de anclaje	Mensualmente
Vaciado cámara de aire	Quincenalmente
Pintar ariete	Semestralmente
Limpieza de rejilla	Mensualmente
Limpieza tanque de abastecimiento	

Fuente: *Elaboración propia*

ANEXO N°05: AVERÍAS MÁS FRECUENTES Y SOLUCIONES EN LA BOMBA DE ARIETE

Problemas	Causa	Razón	Solución
La válvula de impulsión se detiene en la posición abierta	No hay suficiente velocidad cerca de la válvula de impulsión	Falta de agua en el tubo de impulsión	Averigüe si hay fugas u obstáculos en el sistema de abastecimiento; si toda el agua disponible va al ariete, reajuste la válvula de impulsión para esta velocidad de flujo.
		Demasiado peso o golpe en la válvula de impulsión	Disminuya el peso o el golpe.
Reducción de agua bombeada y burbujas de aire en tubo de descarga	Demasiado aire en la cámara de aire	La válvula de aire está demasiado abierta	Cierre la válvula de aire un poco
		Fuga en el cuerpo del ariete entre las válvulas de impulsión y check.	Arregle la fuga
Sonidos altos y metálicos, mucha vibración en el tubo de impulsión	La cámara de aire está llena con agua	Válvula de aire obstruida.	Limpie la válvula de aire
			Remueva la cámara de aire y vacié el agua

Fuente: *Elaboración propia*

Problemas	Causa	Razón	Solución
El ariete funciona, pero la cantidad de agua bombeada es menor que la deseada.	Fuga en el tubo de descarga	Ensamblaje flojo o hueco en el tubo	Ajuste la parte floja y/o arregle los huecos
	Baja eficiencia del ariete	Válvula de impulsión gastada, rota, sucia, o mal alineada	Limpie, arregle o reemplace la válvula de impulsión
		Válvula check gastada, rota, sucia o mal alineada	Limpie, arregle o reemplace la válvula check
		Obstáculo en el tubo de impulsión	Limpie el tubo de impulsión
		Golpe excesivo de la válvula check	Ajuste o remplace el límite de apertura de la válvula check
	Ariete mal instalado	Mala relación entre el largo y el diámetro del tubo	Cambie el diámetro o la longitud del tubo de impulsión
		Mala relación entre el largo y la altura de impulsión del tubo	Cambie la longitud del tubo de impulsión o la altura de caída
Frecuencia muy irregular o se bombea poco tiempo y luego se detiene.	Aire dentro del tubo de impulsión.	Hueco en el cuerpo del ariete, o conexión floja entre el tubo de impulsión y el ariete	Arregle todos los huecos y/o ajuste las conexiones flojas.

Fuente: *Elaboración propia*

Problemas	Causa	Razón	Solución
El ariete no empieza a funcionar	No hay suficiente presión	Válvula check no tiene buen asiento	Limpie, arregle o remplace la válvula check
		Válvula de aire demasiado abierta	Cierre la válvula de aire hasta que empiece a funcionar el ariete
		No hay suficiente agua en el tubo de descarga	Continué el ciclo de ariete manualmente hasta que haya suficiente altura de descarga
	Falta de agua en el tubo de impulsión	No existe suficiente abastecimiento para el ariete	Re-evalué la instalación, posiblemente instale otro ariete más pequeño y/o tubo de impulsión
	Mal asiento de la válvula de impulsión.	Válvula gastada, rota, sucia, o mal alineada No está bien ajustada.	Limpie, arregle, remplace o alinee la válvula de impulsión
	Peso o ajuste de golpe en la válvula de impulsión no es correcto	No está bien ajustada.	Cambie el peso o el ajuste

Fuente: *Elaboración propia*

Problemas	Causa	Razón	Solución
La válvula de impulsión se para en posición cerrada	El rebote no es suficiente	La válvula check está gastada, rota o sucia	Arregle, limpie o remplace la válvula check
		La válvula de impulsión no tiene suficiente peso o golpe	Aumente el peso o golpe de la válvula de impulsión
		No hay suficiente flujo de agua en el tubo de impulsión	Averigüe si hay fugas u obstáculos en el sistema de abastecimiento. Si toda el agua disponible va al ariete, hay que reajustar el ariete para este flujo
La válvula de impulsión está golpeando, pero el ariete no bombea	Obstáculo en el tubo de descarga	Válvula check cerrada	Abra la válvula
		Obstáculo en el tubo de descarga	Limpie el tubo
	La presión del martillo de agua esta absorbida antes de la válvula check	Acumulación de aire debajo de la válvula check por la válvula de aire	Deje el agua alcanzar su velocidad máxima antes de que se cierre la válvula de impulsión
Flujo pulsante en el tubo de descarga	Falta de aire en la cámara de aire	Fuga en la cámara de aire	Arregle la fuga
		Válvula de aire no está abierta lo suficiente	Abra más la válvula de aire

Fuente: *Elaboración propia*

ANEXO N°06: PRESUPUESTO DEL SISTEMA

A continuación se detallan los materiales y el costo para la construcción del sistema de abastecimiento de agua potable mediante bomba de ariete.

Materiales y Costo:

MATERIALES	CANTIDAD (PIEZA)	COSTO UNITARIO (S/.)	COSTO PARCIAL (S/.)
Soporte de madera para tanque de alimentación	4	50	200
Tanque de alimentación 200 Lt	1	250	250
Válvula de bola PVC (2")	1	25	25
Niple PVC (2")	2	4	8
Codo de 45° PVC (2")	2	6	12
Tubería de Impulsion PVC (2")	3	12	36
Bomba de Ariete (2")			
Unión PVC (2")	1	8	8
Válvula de bola PVC (2")	2	25	50
Tee de acero galvanizado (2")	2	15.5	31
Niple de fierro galvanizado (2")	6	3	18
Válvula check swing (2")	1	100	100
Reducción de acero galvanizado 2"x1"	2	8	16
Niple PVC (2")	1	4	4
Válvula de bola PVC (1")	1	10	10
Niple PVC (1")	1	2	2
Codo de 90° de acero galvanizado (2")	1	12	12
Válvula check Canastilla (2")	1	150	150
Botella descartable 3 lt	1	1	1
Manguera transparente 1"	20	17	340
		TOTAL	**1273**

Fuente: *Elaboración propia*

ANEXO N°07: CÁLCULO HIDRÁULICO

A continuación se detallan los cálculos hidráulicos realizados:

CÁLCULO HIDRÁULICO

1. REQUISITOS HIDRÁULICOS DE INSTALACIÓN PARA UN ARIETE HIDRÁULICO

a) Caudal de Impulsión (l/s)

Para Bomba de Ariete de 1"

Altura: 0.5
Diámetro: 1"

	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
Volumen (l)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**		
4	5.95	5.98	5.95	5.98	5.97	5.97	0.67
							0.67

Altura: 1
Diámetro: 1"

	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
Volumen (l)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**		
4	6.02	6	6.02	6.01	6	6.01	0.67
							0.67

Altura: 1.5
Diámetro: 1"

	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
Volumen (l)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**		
4	6.08	6.06	6.07	6.06	6.07	6.07	0.66
							0.66

Altura: 2
Diámetro: 1"

	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
Volumen (l)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**		
4	6.18	6.16	6.18	6.16	6.11	6.16	0.65
							0.65

Fuente: *Elaboración propia*

Para Bomba de Ariete de 2"

Altura: 0.5
Diámetro: 2"

	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
Volumen (l)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**		
4	3.98	3.95	3.98	3.95	3.96	3.96	1.01
							1.01

Altura: 1
Diámetro: 2"

	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
Volumen (l)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**		
4	4.01	4.05	4.06	4.05	4.06	4.05	0.99
							0.99

Altura: 1.5
Diámetro: 2"

	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
Volumen (l)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**		
4	4.05	4.06	4.08	4.06	4.08	4.07	0.98
							0.98

Altura: 2
Diámetro: 2"

	Tiempo (s)					Promedio	Caudal (l/s)
Volumen (l)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**		
4	4.11	4.09	4.1	4.09	4.1	4.10	0.98
							0.98

Fuente: *Elaboración propia*

b) Altura vertical de la bomba al sitio de entrega

Pérdida de carga o energía (m):

Ecuación N°04: Darcy Weisbach

$$\boldsymbol{hl = f + \frac{L}{D} + \frac{V^2}{2g}}$$

Donde:

hl= Pérdida de carga o energía (m)
L= Longitud de la tubería de descarga (m)

Para BA 1":

Altura del tanque de alimentación (m)	L (m)	hl
0.5	2	0.2
1	3.6	0.36
1.5	4	0.4
2	6.2	0.62

Para BA 2":

Altura del tanque de alimentación (m)	L (m)	hl
0.5	3.8	0.38
1	4.6	0.46
1.5	6.8	0.68
2	10.2	1.02

Fuente: *Elaboración propia*

Por lo tanto la altura de bombeo:

$$h = hn + hl$$

Donde:

h= Altura real de bombeo (m)
hn= Altura neta de bombeo (m)
hl= Pérdida de carga (m)

Para BA 1":

Altura del tanque de alimentación (m)	hn (m)	h (m)
0.5	2	2.2
1	3.6	3.96
1.5	4	4.4
2	6.2	6.82

Para BA 2":

Altura del tanque de alimentación (m)	hn (m)	h (m)
0.5	3.8	4.18
1	4.6	5.06
1.5	6.8	7.48
2	10.2	11.22

Fuente: *Elaboración propia*

c) Longitud de la tubería de impulsión (m)

Longitud de tubería de impulsión en función del diámetro.

Longitud Mínima	L = 150D
Longitud Óptima	L = 500 D
Longitud Máxima	L = 1000 D

Fuente: *Estudio hidráulico de una bomba de ariete y el efecto multimpulsor para su instalación, Galarza, R.*

Ecuación N° 01: Relación longitud diámetro de la tubería de impulsión.

$$150 \leq \frac{L}{D} \leq 1000$$

Longitud de tubería de impulsión en función a la altura de impulsión.

H	L
H ≤ 4.5 m	L = 5H
4.5 < H ≤ 8 m	L = 4H
4.5 < H≤ 16 m	L = 3H
H ≥ 16 m	L = 2H

Fuente: *Estudio hidráulico de una bomba de ariete y el efecto multimpulsor para su instalación, Galarza, R.*

Para obtener la longitud de la tubería de impulsión se utilizó la tabla anterior, debido a que se ajustó a la realidad y al sistema instalado, así mismo se adaptaba a la altura del tanque de alimentación. Sin embargo, se obtuvo también medidas en la cual no se ajustan a esta relación debido a la estructura del sistema, como ya se explicó anteriormente en los resultados de la investigación.

d) Diámetro de la tubería de impulsión

Rango de longitud de tubería para diversos diámetros

Diámetros del tubo de impulsión (“)	Caudal de Impulsión (l/min)	
	Mínimo	Máximo
0.75	3	8
1	8	38
1.5	38	57
2	57	95
2.5	95	170
3	170	265
4	265	473

l/s	l/min	
0.67	37	Caudal de aforo en captación BA 1”
1.01	61	Caudal de aforo en captación BA 2”

Fuente: *Modelamiento matemático de bomba de ariete, Pablo Cavero La Roa.*

Como se observa en la tabla, debido a que el caudal de captación se encuentra en el rango, se escoge el diámetro de impulsión.

2. REQUISITOS HIDRÁULICOS DE INSTALACIÓN PARA UN ARIETE HIDRÁULICO

a) Golpes por minuto de la válvula de impulsión

Ecuación N°02: Número de golpes por minuto de las válvulas de impulsión.

$$N = \sqrt{\frac{900H}{DL}}$$

Para BA 1":

Altura del tanque de alimentación (m)	L (m)	N
0.5	0.7	159
1	1.35	162
1.5	1.9	167
2	2.5	168

Para BA 2":

Altura del tanque de alimentación (m)	L (m)	N
0.5	0.8	105
1	1.5	109
1.5	2	115
2	2.65	116

Fuente: *Elaboración propia*

Número de golpes por minuto según el tipo de válvula de impulsión

Tipo de Válvula	Número de golpes por minuto
Blake	60 – 80
Movimiento Axial	40 – 50
Muelle Restitutor	55 - 65

Los datos se encuentran en el rango

Fuente: *Modelamiento matemático de bomba de ariete, Pablo Cavero La Roa.*

b) Cámara de aire

Parámetros de la cámara de aire

PARÁMETRO	VALOR
Diámetro de cámara de aire	3 Diámetro de la tubería de impulsión
Altura de cámara de aire	10 Diámetro de la tubería de impulsión

Fuente: *Modelamiento matemático de bomba de ariete, Pablo Cavero La Roa.*

Se recomienda que el volumen de la cámara de aire, sea 100 veces el volumen de agua bombeada por ciclo.

3. ESPECIFICACIONES HIDRÁULICAS PARA UN ARIETE HIDRÁULICO

a) Coeficientes de rozamiento en la tubería de impulsión (pérdidas)

Ecuación N°03: Bernoulli

$$\frac{P1}{\gamma} + Z1 + \frac{V1^2}{2g} - hl = \frac{P2}{\gamma} + Z2 + \frac{V2^2}{2g}$$

Donde:

$\frac{P1}{\gamma}; \frac{P2}{\gamma}$ Presión de entrada y salida

Z1; Z2 = Elevación

$\frac{V1^2}{2g}; \frac{V2^2}{2g}$ Velocidad de entrada y salida

hl = Pérdida de carga

Ecuación N°04: Darcy Weisbach

$$hl = f + \frac{L}{D} + \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

hl = pérdida de energía debido a la fricción. (m)
L = longitud de la corriente de flujo (m)
D = diámetro del conducto (m)
V= velocidad de flujo promedio (m/s)
f= factor de fricción (adimensional)

Para BA 1":

Velocidad de entrada a la Bomba de ariete Ve (m/s)	Perdidas de Carga en la tubería de impulsión (m)	Presión de entrada a la bomba de ariete	Velocidad de Salida de la Bomba de ariete Vs (m/s)	Perdidas de Carga en la Bomba de ariete (m)	Presión de salida de la bomba de ariete
1.32	0.08	0.73	1.49	0.08	0.62
1.31	0.13	1.19	1.59	0.10	1.05
1.30	0.16	1.65	1.73	0.12	1.47
1.28	0.19	2.12	1.80	0.13	1.91

Fuente: *Elaboración propia*

Para BA 2":

Velocidad de entrada a la Bomba de ariete Ve (m/s)	Perdidas de Carga en la tubería de impulsión (m)	Presión de entrada a la bomba de ariete	Velocidad de Salida de la Bomba de ariete Vs (m/s)	Perdidas de Carga en la Bomba de ariete (m)	Presión de salida de la bomba de ariete
0.50	0.009	0.88	1.11	0.039	0.79
0.49	0.012	1.38	1.15	0.043	1.28
0.49	0.014	1.87	1.17	0.045	1.77
0.48	0.017	2.37	1.21	0.048	2.26

Fuente: *Elaboración propia*

b) Altura del tanque de alimentación (Ha)

Ecuación N°05: Altura del tanque de alimentación.

$$\mathbf{1m \leq H \leq 30\ m}$$

Mínimo	Altura del tanque de alimentación (m)	Máximo	
1m	0.5	30m	No cumple
1m	1	30m	
1m	1.5	30m	
1m	2	30m	

Fuente: *Elaboración propia*

c) Longitud de la tubería de descarga L(m):

Ecuación N°07: Longitud de la Tubería de impulsión.

$$\mathbf{L = 5Ha}$$

Donde:

L = Longitud de tubería (m)
Ha = Altura de alimentación (m)

Para BA 1":

Altura del tanque de alimentación (m)	L (m)	Medición de campo
0.5	2.5	2
1	5	3.6
1.5	7.5	4
2	10	6.2

Para BA 2":

Altura del tanque de alimentación (m)	L (m)	Medición de campo	
0.5	2.5	3.8	
1	5	4.6	
1.5	7.5	6.8	
2	10	10.2	OPTIMO

Fuente: *Elaboración propia*

d) Potencia P(w)

Ecuación N°08: Potencia hidráulica

$$PH = \gamma\, Q\, H$$

Donde:

PH = Potencia hidráulica(W)
γ = Peso específico del fluido (N/m3)
Q = Caudal suministrado al fluido (m3 /s)
H = Energía de elevación o presión suministrada al fluido (m)

Para BA 1":

Altura del tanque de alimentación (m)	Potencia (w)
0.5	1.34
1	2.41
1.5	2.68
2	4.16

Para BA 2":

Altura del tanque de alimentación (m)	Potencia (w)
0.5	3.84
1	4.65
1.5	6.87
2	10.30

Fuente: *Elaboración propia*

e) EFICIENCIA

Ecuación N°11: Eficiencia de Rankine

$$nR = \frac{qbx(Hi-Ha)}{QxHa}$$

Donde: qb = Caudal de bombeo en m^3/s
Hi = Altura desarrollada por el ariete en m.
Ha = Altura de alimentación (m)
Q = Caudal de descarga en m3/s

Para BA 1":

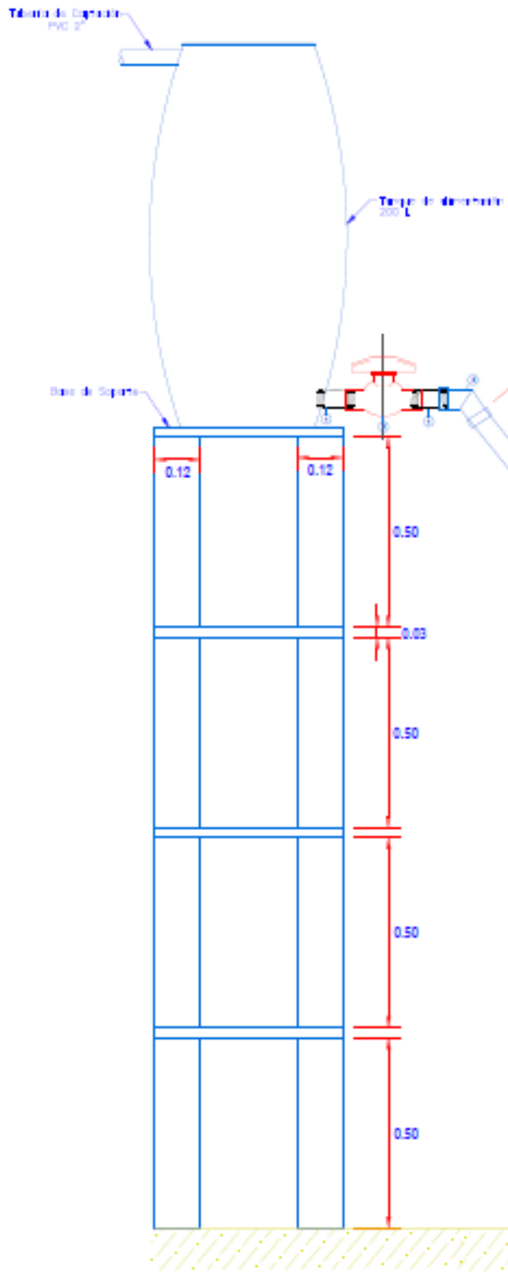
Altura del tanque de alimentación (m)	**Eficiencia (%)**
0.5	26.85
1	25.54
1.5	22.76
2	20.01

Fuente: *Elaboración propia*

Para BA 2":

Altura del tanque de alimentación (m)	**Eficiencia (%)**
0.5	26.68
1	25.29
1.5	22.36
2	21.51

SISTEMA CON BOMBA DE ARIETE DE 2"



CORTE A - A
ES: 1/7.5

PLANO EN PLANTA
ES: 1/7.5

ACCESORIOS DEL SISTEMA	
DESCRIPCION	ACCESORIO
Nº-1	Niple PVC 2"
Nº-2	Válvula bola PVC 2"
Nº-3	Codo 45° PVC 2"
Nº-4	Tee PVC 2"
Nº-5	Codo 90° PVC 2"
Nº-6	Válvula Check Canastilla 2"
Nº-7	Valvula Check Horizontal 2"
Nº-8	Reducción tipo campana 2" x 1"
Nº-9	Cámara de Aire - Botella de 3L
Nº-10	Reducción 2" x 1"
Nº-11	Válvula Bola PVC 1"
Nº-12	Niple PVC 1"
Nº-13	Codo 90° PVC 1"

UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO"
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA

TESIS:
"EVALUACIÓN DE FACTORES HIDRÁULICOS EN UNA BOMBA DE ARIETE QUE PERMITAN EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL ÁREA RURAL DEL DISTRITO DE INDEPENDENCIA - HUARAZ - 2016"

PLANO: SISTEMA DE AGUA CON BOMBA DE ARIETE DE 2"

LAMINA: 01

DIBUJO: BACHILLER BLANCA SHIRLEY ENRIQUEZ ALVA

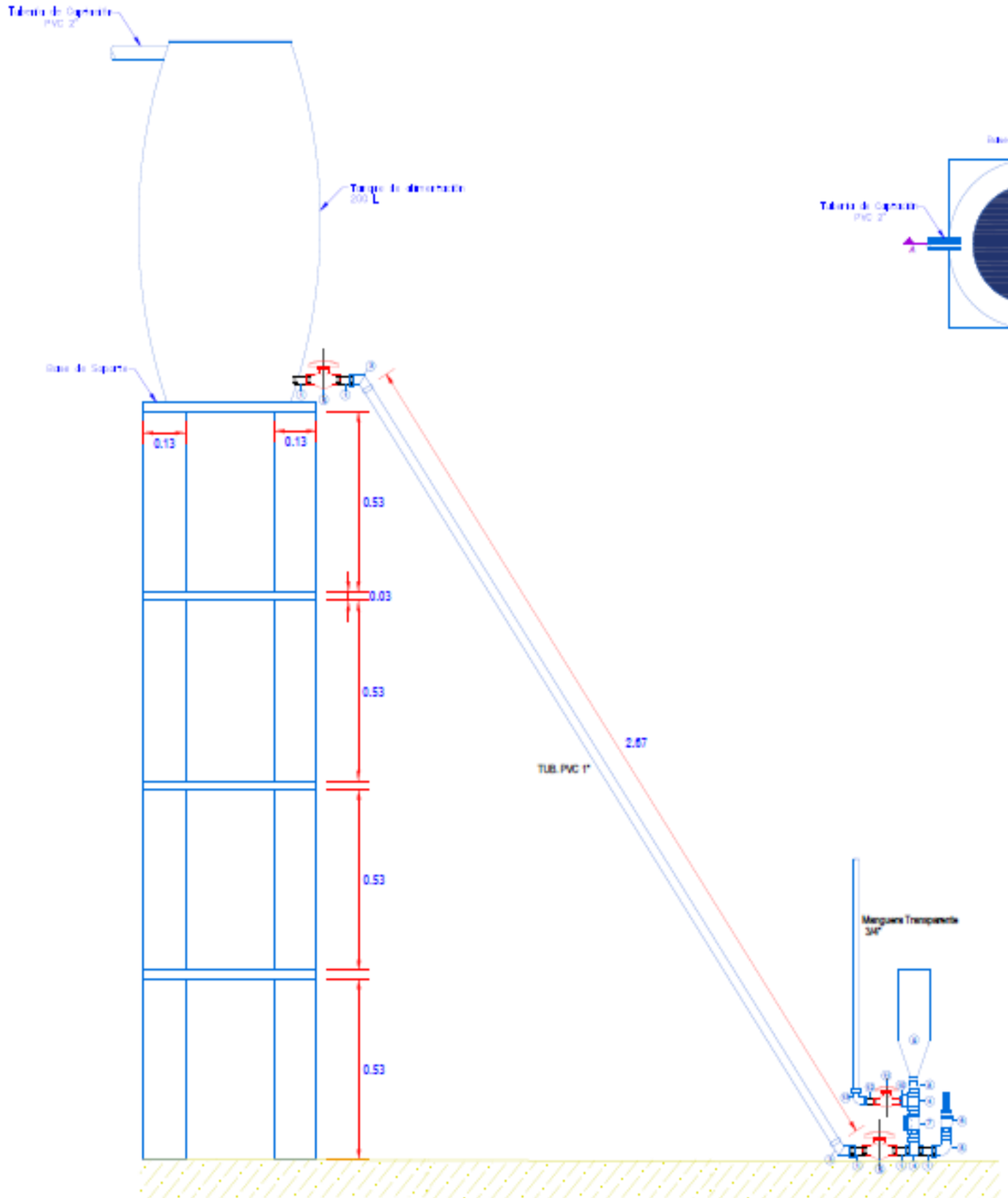
ESCALA: INDICADA

DISTRITO: INDEPENDENCIA

PROVINCIA: HUARAZ

SISTEMA CON BOMBA DE ARIETE DE 1"

PLANO EN PLANTA
ES: 1/7.5



CORTE A - A
ES: 1/7.5

ACCESORIOS DEL SISTEMA	
DESCRIPCION	ACCESORIO
Nº-1	Niple PVC 1"
Nº-2	Válvula bola PVC 1"
Nº-3	Codo 45° PVC 1"
Nº-4	Tee PVC 1"
Nº-5	Codo 90° PVC 1"
Nº-6	Válvula Check Canastilla 1"
Nº-7	Valvula Check Horizontal 1"
Nº-8	Reducción tipo campana 1" x 3/4"
Nº-9	Cámara de Aire - Botella de 3L
Nº-10	Reducción 1" x 3/4"
Nº-11	Válvula Bola PVC 3/4"
Nº-12	Niple PVC 3/4"
Nº-13	Codo 90° PVC 3/4"

UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO"
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA

TESIS:
"EVALUACIÓN DE FACTORES HIDRÁULICOS EN UNA BOMBA DE ARIETE QUE PERMITAN EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL ÁREA RURAL DEL DISTRITO DE INDEPENDENCIA - HUARAZ - 2016"

PLANO: SISTEMA DE AGUA CON BOMBA DE ARIETE DE 1"		LAMINA: 02
DIBUJO: BACHILLER BLANCA SHIRLEY ENRIQUEZ ALVA		
ESCALA: INDICADA	DISTRITO: INDEPENDENCIA	PROVINCIA: HUARAZ