



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

Evaluación de los principales parámetros de la bomba de ariete para mejorar su funcionamiento

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
Ingeniero Agrónomo

Autores:

David Adrián Arévalo Cabrera

CI: 0104490347

Correo electrónico: davidarevalocabrera@gmail.com

Carlos Alfredo Merchán Quituzaca

CI: 0705556454

Correo electrónico: cmerchan613@gmail.com

Tutor:

Ing. Agr. Iván Robalino Belesaca Morocho MSc.

CI: 0102835865

Cuenca, Ecuador

03-febrero-2022



RESUMEN

En esta investigación se evaluó los principales parámetros de la bomba de ariete universal para mejorar su funcionamiento; se determinó que su eficiencia está directamente influenciada por los parámetros como: la pendiente de la tubería de alimentación, altura de la tubería de alimentación, fuerza de la válvula de impulso, longitud y altura de la tubería de descarga, volumen de la cámara de aire, diámetros de la bomba en relación a las tuberías de alimentación y descarga, diámetro de la válvula de impulso y longitud de la carrera de la válvula de impulso. Por este hecho, el presente trabajo se enfocó en evaluar estos parámetros para definir su máxima eficiencia. El estudio se realizó en la facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca. Se diseñó una bomba de ariete de una pulgada la cual está construida en su totalidad con material de hierro la cual presentaba mejores resultados en cuanto a durabilidad y viabilidad de construcción e implementación, además se encontraron los parámetros calculados que brindaron la mayor eficiencia. Los valores medios de estos parámetros fueron comparados mediante una prueba t de student, además de comparaciones a través de gráficos de barras y dispersión de puntos. Los resultados se determinaron como óptimos con una masa en la válvula de impulso de 110 g, con una apertura de 22 mm, el volumen óptimo de la cámara de aire fue de 3 L y la inclinación de la tubería de alimentación fue de 26°.

Palabras clave: Ariete hidráulico. Golpe de martillo. Sistema de bombeo. Diseño y construcción. Rendimiento.



ABSTRACT

In this research, the main parameters of the universal ram pump were evaluated to improve its performance. It was determined that its efficiency is directly influenced by parameters such as: Slope of the feed pipe, height of the feed pipe, force of the impulse valve, length and height of the discharge pipe, volume of the air chamber, diameters of the pump in relation to the supply and discharge pipes, diameter of the impulse valve and stroke length of the impulse valve. For this reason, the present work was carried out with the objective of evaluating these parameters in order to find their maximum efficiency. The study was carried out at the Faculty of Agricultural Sciences of the University of Cuenca, a one-inch ram pump was designed and built entirely of iron material, which presented better results in terms of durability and viability. Besides we calculated the parameters that provided the highest efficiency, the mean of those, were compared through the t student test, and also analyzed with the use of bar graphs and scatter plots. Our results show that the optimum force or weight in the impulse valve is 110 g, with an opening of 22 mm, while the optimal volume of the air chamber was 3 L and the slope of the feed pipe was 26°.

Key words: Hydraulic ram. Hammer blow. Pumping system. Design and construction. Performance.



TABLA DE CONTENIDOS:

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
LISTA DE TABLAS.....	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE ANEXOS	9
AGRADECIMIENTOS.....	15
DEDICATORIA	16
.....	16
CAPITULO I	17
1.1 INTRODUCCION	17
1.2 OBJETIVOS	20
Objetivo general:.....	20
Objetivos específicos:.....	20
1.3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	20
CAPITULO II	21
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA BOMBA DE ARIETE	21
2.2 ORIGEN	21
2.3 FUNCIONAMIENTO.....	22
2.4 CONFIGURACIÓN DEL ARIETE HIDRÁULICO	23
Tanque de alimentación.....	23
Tubería de alimentación.	23
Tubería de descarga.	24
Cámara de aire.	24
Válvula check golpeador.	24
2.5 PARÁMETROS DETERMINANTES EN EL FUNCIONAMIENTO DEL ARIETE HIDRÁULICO.....	24
2.6 PARÁMETROS HIDRÁULICOS.....	27
Carrera de la válvula de impulsión.-.....	27
Determinación del flujo:.....	27
Número de Reynolds.....	27
Carga de aspiración o succión:	28
Carga de impulsión:.....	28
Carga total:	28
Caudal:.....	28



Cálculo de la celeridad:	28
Cierre de la válvula de impulso:	28
CAPITULO III:	30
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
3.1 Área de estudio	30
3.2 Materiales	31
3.3 Metodología	32
3.3.1 Metodología para el primer objetivo:.....	32
Armar una bomba de ariete de 1" con los parámetros hidráulicos teóricos establecidos.	32
3.3.1.1 Establecimiento de la altura de alimentación o carga (h).....	32
3.3.1.2 Establecimiento de la tubería de alimentación.....	32
3.3.1.3 Determinación de la tubería de descarga.	32
3.3.1.4 Selección y modificación de accesorios comunes de fontanería para la creación de la bomba de ariete.	33
3.3.2 Metodología para el segundo objetivo:	33
Evaluar el diámetro de la válvula de impulso tipo canastilla modificada y su influencia en la eficiencia.	33
3.3.3 Metodología para el tercer objetivo:	34
Evaluación del volumen en la cámara de aire y su influencia en la eficiencia.....	34
3.3.4 Metodología para el cuarto objetivo:	34
Evaluación del tamaño de la carrera de la válvula de impulso en función a la altura de la tubería de alimentación.	34
3.3.5 Metodología para el quinto objetivo:	35
Evaluación de la fuerza necesaria de válvula de impulso tipo canastilla modificada (V_i), para la operación óptima del ariete hidráulico universal.	35
4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	35
CAPITULO IV	36
5. Resultados	36
5.1 Resultados del primero objetivo específico:	36
Desarrollo de una bomba de ariete de 1" con los parámetros hidráulicos teóricos establecidos.....	36
5.1.2 Diagramas de la bomba de ariete desarrollada:	37
Sistema de bombeo del ariete hidráulico:	37
Bomba de ariete:.....	38
Válvula de paso de media vuelta tipo bola	38
Tee de hierro:	39
Cámara de aire:	39



Válvula check:.....	40
Check o válvula de impulsión:	40
5.2 Resultados del segundo objetivo específico:	41
Evaluación del diámetro de la válvula de impulso tipo canastilla modificada y su influencia en la eficiencia.....	41
5.3 Resultados para el tercer objetivo.	43
5.4 Resultados para el cuarto objetivo.	47
5.5 Resultados para el quinto objetivo.	50
CAPITULO V	56
DISCUSIÓN.....	56
CAPITULO VI	60
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXOS	69
MEMORIA FOTOGRÁFICA.....	69



LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Rentabilidad del ariete hidráulico frente a otras bombas.	23
Tabla 2: Lista de materiales usados en el estudio	31
Tabla 3: Prueba t de student para el porcentaje de eficiencia volumétrica según el diámetro de la válvula de check o impulsión	42
Tabla 4: Prueba de T para el porcentaje de eficiencia volumétrica con dos volúmenes diferentes en la cámara de aire de 3 y 6 L a 9 m de altura de descarga y altura de alimentación de 3 m. ...	43
Tabla 5: Prueba de T para el porcentaje de eficiencia volumétrica con dos volúmenes diferentes en la cámara de aire de 3 y 6 L a 12 m de altura de descarga y altura de carga de 4 m.	45
Tabla 6: Prueba t de student para el porcentaje de eficiencia volumétrica con dos volúmenes diferentes en la cámara de aire de 3 y 6 L con altura de alimentación de 2 m.	47
Tabla 7: Datos obtenidos para una bomba con 3 L de volumen en la cámara de aire, 26 mm de carrera en la válvula check de impulsión y 27 m de altura de descarga.	50
Tabla 8: Datos obtenidos para una bomba con 3 litros de volumen en la cámara de aire, 26mm de carrera en la válvula check de impulsión y 20 metros de altura de descarga.	51
Tabla 9: Datos obtenidos para una bomba con 3 litros de volumen en la cámara de aire, 26mm de carrera en la válvula check de impulsión y 14 metros de altura de descarga.	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación de la zona de estudio.	30
Figura 2: Sistema de bombeo del ariete hidráulico de 1" con su ciclo completo partiendo desde h o altura de carga hasta el bombeo del fluido por la bomba hasta H o altura de descarga.	37
Figura 3: Diagrama de una bomba de ariete con sus partes modificadas con un diámetro de cuerpo de una pulgada, con accesorios y adecuaciones de hierro fundido.....	38
Figura 4: Diagrama de la válvula de paso de media vuelta roscable hembra de tipo bola convencional compatible a tuberías y accesorios de una pulgada, de acero inoxidable.	38
Figura 5: Diagrama de Te de hierro hembra roscable para dispersión de flujo, compatible con accesorios de 1 pulgada roscables macho.	39
Figura 6: Diagrama de la cámara de aire modificada, compatible con accesorios y tubería de una pulgada y con tubería y accesorios de media pulgada en su descarga.....	39
Figura 7: Válvula check de hierro que indica un solo sentido hacia arriba, compatible con accesorios de una pulgada roscables,	40
Figura 8: Válvula check de hierro modificada en su diámetro de alivio con tornillo para adición y sustracción de masa o fuerza y modificación de carrera para pruebas de alcance y eficiencia.40	
Figura 9: Diseño válvula check.....	41
Figura 10: Representación gráfica de la eficiencia volumétrica en función a la apertura de la válvula check o alivio.....	43
Figura 11: Evaluación para la variable eficiencia volumétrica expresada en porcentajes, a 9 metros de altura desde la bomba y carga igual a 3 metros.	44
Figura 12: Evaluación para la variable eficiencia volumétrica expresada en porcentajes, a 12 metros de altura desde la bomba y carga igual a 4 metros.	45
Figura 13: Evaluación para la variable alcance altimétrico expresada en metros con carga igual a 2 m.....	46
Figura 14: Eficiencia volumétrica alcanzada para un ariete hidráulico modificado con carga de 3 y 4 m, carrera igual a 26 mm.....	48
Figura 15: Eficiencia volumétrica en función a la altura de descarga, con carrera de válvula igual a 20 mm con una carga de 3 y 4 m.....	49
Figura 16: Eficiencia volumétrica en función a la altura de descarga con altura de carga de 3 y 4 m y carrera de válvula igual a 32 mm.	49
Figura 17: Caudal alcanzado para 80 g de masa, con cámara de aire de 3 L y 3 m de altura de carga.	52
Figura 18: Caudal alcanzado para 110 g de masa, con cámara de aire de 3 L y 3 m de altura de carga.	52
Figura 19: Caudal alcanzado para 140 g de masa, con cámara de aire de 3 L y 3 m de carga. .	53
Figura 20: Caudal alcanzado para 27 m de descarga en función a la masa de la check.	54
Figura 21: Caudal alcanzado con 14 m de descarga en función a la masa de la check.	55
Figura 22: Diagrama de la bomba de ariete y sus presiones máximas alcanzadas en su funcionamiento óptimo.	55



LISTA DE ANEXOS

Anexo: 1 Cámara de aire.....	67
Anexo 2: Selección del ángulo de inclinación en la tubería de descarga.....	69
Anexo 3: Instalación de la tubería de descarga.....	70
Anexo 4: Instalación de la tubería de descarga.....	70
Anexo 5: Elevación de la tubería de descarga.....	71
Anexo 6: Ariete hidráulico en funcionamiento.....	71
Anexo 7: Prueba a una altura de 3 y 4 metros.....	72
Anexo 8: Prueba a una altura de 2 metros.....	72
Anexo 9: Altura máxima alcanzada.....	73
Anexo 10: Caudal máximo.....	73



ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

g: Unidad de medida de masa gramo.

s: Unidad de medida de tiempo segundos.

m²: Unidad de medida de área metros cuadrados.

mm²: Unidad de medida de área milímetros cuadrados.

cm²: Unidad de medida de área centímetros cuadrados.

L: Unidad de medida de volumen litros.

°: Ángulo en grados sexagesimales o porción de espacio limitado por dos semirrectas.

”: Medida de longitud Pulgadas.

Tc: Tiempo crítico: cuando la acción de cierre es menor que el tiempo que tarda la onda en su viaje de ida y vuelta hasta la válvula que corta el paso al fluido.

Re: Número de Reynolds.

D: Diámetro de la tubería.

v: Velocidad del líquido.

ρ : Densidad del líquido.

μ : Viscosidad del líquido.

H: Altura máxima alcanzada o altura de descarga.

h: Altura de alimentación o espejo de agua.

ms.n.m: Metros sobre el nivel del mar.

N: Newtons, unidad de fuerza.

Kg: Unidad de medida de masa kilogramos.



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

David Adrián Arévalo Cabrera, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **“Evaluación de los principales parámetros de la bomba de ariete para mejorar su funcionamiento.”** de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Así mismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 03 de febrero del 2022

David Adrián Arévalo Cabrera

C.I: 0104490347



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Carlos Alfredo Merchán Quituizaca, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **“Evaluación de los principales parámetros de la bomba de ariete para mejorar su funcionamiento.”** de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 03 de febrero del 2022

Carlos Alfredo Merchán Quituizaca

C.I: 0705556454



Cláusula de Propiedad Intelectual

David Adrián Arévalo Cabrera, autor del trabajo de titulación **“Evaluación de los principales parámetros de la bomba de ariete para mejorar su funcionamiento.”** certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 03 de febrero del 2022

David Adrián Arévalo Cabrera

C.I: 0104490347



Cláusula de Propiedad Intelectual

Carlos Alfredo Merchán Quitizaca, autor del trabajo de titulación **“Evaluación de los principales parámetros de la bomba de ariete para mejorar su funcionamiento.”** certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 03 de febrero del 2022

Carlos Alfredo Merchán Quitizaca

C.I: 0705556454



AGRADECIMIENTOS

A Dios por formar parte de nuestras vidas, por brindarnos la sabiduría y fortaleza necesaria para vencer todos los obstáculos presentados en nuestras vidas diarias, y de esta manera alcanzar las metas planteadas.

Infinitas gracias a nuestros padres ya que nos han apoyado en las decisiones que hemos tomado en nuestras vidas con amor, cariño y comprensión.

Agradecemos a nuestro director de tesis Ing. Iván Belesaca, por los conocimientos brindados, orientación, apoyo oportuno y la confianza entregada como docente y amigo durante todo el desarrollo de esta investigación.

Finalmente mencionar a nuestra querida Facultad de Ciencias Agropecuarias, por hacer realidad nuestros sueños y metas en tan prestigiosa Universidad como es la Universidad de Cuenca.

David Arévalo, Carlos Merchán



DEDICATORIA

A Dios quien ha sido siempre mi guía y mi fortaleza en cada paso que doy.

A mis padres Luis y Narciza quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy una meta más en mi vida, les agradezco por siempre haber sido indispensables para mí y por estar siempre en cada momento de mi vida gracias por su educación y su guía.

A mis hermanos Luis, Paúl y mi hermana Nathaly los cuales me han brindado siempre su apoyo y fuerzas en esta y cada etapa de mi vida.

A toda mi familia por haberme inculcado todos los valores y educación, por siempre preocuparse por mí y en que nunca me faltara nada y que bajo su cariño y su tutela me han convertido en la persona que soy ahora.

David

A Dios quien ha mantenido mi espíritu con voluntad, perseverancia, valentía y amor que me acompañan hasta el día de hoy.

A mi padre Manuel que hoy comparte logros conmigo, a mi madre y ángel de la guarda María que desde el cielo sonríe al ver una meta de mi propósito de vida alcanzado.

A mi esposa Cecilia, mi hijo Thomas, quienes han sido mi motivación para culminar mi carrera y quienes me han brindado amor.

A mis hermanas Johanna y Patricia, quienes han sido un apoyo incondicional durante toda mi vida.

A mi familia y familia de mi esposa quienes de todas las formas posibles me han ayudado a culminar mis metas.

Carlos

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCION

El ariete hidráulico es un equipo de bombeo que permite elevar fluidos mediante la energía potencial gravitatoria, este dispositivo fue diseñado por primera vez por el ingeniero inglés John Whitehust en 1772 (Fatahi, Lashkar, & Keramat, 2019).

El sistema hidráulico de bombeo de agua de ariete funciona automáticamente, el dispositivo se llama bomba de ariete hidráulica ya que tiene la capacidad de bombear el agua a una cierta altura sin energía externa (Hussin et al., 2017).

En 1776 el francés Joseph Montgolfier de acuerdo al modelo de Whitehust en 1772 logró automatizar el dispositivo, al agregar una válvula llamándolo “belier hydraulique” (Rubiano & Cuervo, 2017).

Durante la última década, la mayoría de las investigaciones en el ariete hidráulico se han enfatizado en el diseño, optimización y válvulas autoconstruidas para un alto suministro de agua (Harith, Bakar, Ramasamy, & Quanjin, 2017).

En un análisis de experimentación y análisis involucrado en la mejora del rendimiento de una bomba de ariete, Prasanna et al. (2015), citado por Harith et al. (2017), encontraron que hay múltiples parámetros que afectan el rendimiento de la bomba en función a la válvula de impulso, como la forma de la válvula, el tamaño de la válvula, la longitud de la carrera y masa de la válvula, ya sea operada por resorte o ponderada.

La válvula de impulsión es considerada como un parámetro de vital importancia en cuanto al funcionamiento de la bomba de ariete, puesto que esta es la que permite que el fluido genere repetidos efectos de martillo (Rivadeneira & Silva, 2013).

George, Nambiar, Taskar, Wadkar, & Zaveri (2013) diseñaron un ariete hidráulico mediante una válvula de carrera variable, donde esta podía ser ajustada según las necesidades y, de esta manera, obtener que las válvulas de carrera ajustable mejoran el

rendimiento frente a las válvulas fijas, por lo que la cantidad de agua entregada aumentó, así como la eficiencia del sistema.

Rubiano & Cuervo (2017) en su estudio evidenciaron que la constante en el resorte de la válvula de impulso es uno de los principales factores que influyen directamente en la eficiencia del equipo, ya que esta dependerá principalmente del tiempo necesario para producir el cierre y apertura de la válvula, lo que generará el fenómeno conocido como golpe de ariete. Una mala elección de la misma originaría un funcionamiento deficiente del ariete hidráulico. Esta válvula permite regular la cantidad de agua que penetra en la cámara de aire, por lo cual varía el número de golpes por minuto (Peralta, 2015).

Según Suarda, Sucipta, & Dwijana (2019), el diámetro del orificio y el disco de la válvula de desechos han influido significativamente en el patrón de flujo en el cuerpo de la bomba hidráulica y su tiempo de movimiento en cada etapa del ciclo. Cuanto mayor es el diámetro el orificio y el disco de la válvula de impulsión, la velocidad del agua disminuye, por lo que la velocidad del flujo de agua en el cuerpo de la bomba también disminuye. Además, cuanto mayor es el diámetro del disco de la válvula de impulsión, es más corto el intervalo de los movimientos de la válvula de la bomba hidráulica.

Normalmente, en la mayoría de los arietes que se pueden observar y de los trabajos que se pueden estudiar, se usa como cámara de aire una tubería de un diámetro y longitud mayor que el cuerpo del ariete (Rivadeneira & Silva, 2013).

Otro factor a considerar es la tubería de alimentación la cual debe estar ubicada lo más recta posible, y evitar dobleces o rugosidades que provoquen pérdida por fricción. El ángulo de inclinación de la tubería de suministro debe estar comprendido entre los 10° y 45° con respecto a la horizontal (Romero & Gutiérrez, 2014).



En los últimos dos siglos se han visto diversos modelos del ariete hidráulico, pero siempre se debe mantener el principio de su funcionamiento. Diversas formas o estructuras de la cámara de aireación como ubicaciones diversas de las válvulas que han sido instaladas de pie o colgantes y su depósito de aire ha tenido las formas más curiosas (Gálvez & Mosquera, 2009).

Este es un equipo que, al no estar específicamente definido, sus parámetros presentan dificultades al momento de su adquisición ya que muchas de las veces obligan el diseño y construcción personal para las diferentes situaciones a presentarse con este sistema, lo que por ende genera una alta variabilidad tanto en formas, estructuras y costos de implementación, lo que dificulta su comercialización y estandarización (Rubiano & Cuervo, 2017).

Mediante esta investigación, al considerar los prototipos con mayor eficiencia obtenida previamente a este estudio se analizará y desarrollará un ariete hidráulico con la correcta calibración de cada uno de sus parámetros hidráulicos que permitirán un desempeño óptimo en construcción y eficiencia.



1.2 OBJETIVOS

Objetivo general:

Evaluar los parámetros hidráulicos teóricos y experimentales de la bomba de ariete que limitan su eficiencia.

Objetivos específicos:

- Armar una bomba de ariete de 1" con los parámetros hidráulicos teóricos establecidos.
- Evaluar el diámetro de la válvula de impulso tipo canastilla modificada y su influencia en la eficiencia.
- Evaluar el volumen de la cámara de aire y su influencia en la eficiencia.
- Evaluar el tamaño la carrera de la válvula de impulso en función a la altura de la tubería de alimentación.
- Evaluar la fuerza necesaria de la válvula de impulso de tipo canastilla modificada, para la operación óptima del ariete hidráulico universal.

1.3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Se puede mejorar el rendimiento del ariete hidráulico mediante el análisis y determinación de parámetros óptimos de la bomba?

CAPITULO II

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA BOMBA DE ARIETE

A nivel mundial el uso del agua y su gestión es un factor indispensable para mejorar la productividad agrícola y aprovechar el potencial de la tierra, que permita incrementar su rendimiento (FAO, 2002).

Para el transporte de agua a los cultivos se usan bombas las cuales, según Rivadeneira & Silva (2013), es un accesorio hidráulico que permite llevar un líquido gracias a la impulsión y la aspiración para aumentar la presión de un líquido, al añadir energía al sistema hidráulico, con el objetivo de desplazar un fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud (Campaña & Guamán, 2011).

El ariete hidráulico funciona, al aprovechar la energía potencial gravitatoria sin requerir de energía adicional externa, mediante únicamente la energía hidráulica para elevar parte del agua de un arroyo o acequia a una altura superior (Campaña & Guamán, 2011).

2.2 ORIGEN

La primera bomba de ariete como se conoce hoy fue inventada en 1796 por el francés Joseph Michel Montgolfier para elevar el agua en su fábrica de papel en Voiron. Fue precedida por investigaciones de Pierre Francois Montgolfier, su hijo, quien diseñó una válvula que permitía introducir aire en la cámara para aumentar la presión y mejorar el rendimiento de esta por el golpe de ariete (De La Cruz & Ramirez, 2016).

2.3 FUNCIONAMIENTO

La bomba de ariete utiliza únicamente la energía resultante de un salto de agua para elevar parte de su caudal a mayor altura, en este mecanismo el sistema pierde agua para lograr la elevación del fluido (Jara, Campoverde, & Pizarro, 2011).

El golpe de ariete fue reconocido como un proceso físico resultado de la variación repentina de la presión de un líquido en una tubería, mediante el cierre y apertura de una válvula. Durante esta fluctuación repentina de presión el fluido recorre la tubería a una velocidad definida por la respuesta de la onda de choque (Romero & Gutiérrez, 2014).

Es importante tener presente al ariete hidráulico como una alternativa de bombeo, pero no suponer que esta bomba mejorará o igualará eficiencias de las bombas que funcionan con energía externa.

Comparación del ariete hidráulico frente a otras bombas

Tabla 1: Rentabilidad del ariete hidráulico frente a otras bombas.

Descripción	Bomba -	Bomba -	Ariete
	Gasolina	Eléctrica	hidráulico
Energía externa	Sí	Sí	No
Lubricantes	Sí	Sí	No
Inversión	Alto	Bajo	Media
Mantenimiento	Sí	Sí	No
Confiabilidad	Alta	Media	Alta
Ruido	Alto	Medio	Medio –
Eficiencia	Alto	Alto	Alto Bajo

Fuente: Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico (Campaña Calero & Guamán Alarcón, 2011)

2.4 CONFIGURACIÓN DEL ARIETE HIDRÁULICO

Tanque de alimentación. - El tanque de alimentación es abierto y está ubicado a una altura sobre el eje de la bomba de ariete hidráulico con el objetivo de crear una columna de agua que fluya por gravedad hacia la bomba (Camacho & Meza, 2017).

Tubería de alimentación. - Conducto rígido que puede cubrir totalmente el salto hidráulico, al llevar el agua del reservorio de alimentación hacia la válvula de impulso



(Arapa, 2016). Según Romero & Gutiérrez (2014), citado por Otí (2017), el ángulo de inclinación del tubo debe estar comprendido entre los 10° y los 45° con respecto a la horizontal.

Tubería de descarga. - Tubería por la cual se eleva el fluido desde el ariete hidráulico hasta el depósito de descarga (Otí, 2017).

Cámara de aire. - Una cámara de aire permite comprimir y amortiguar el pulso de presión del ciclo del ariete, al permitir un flujo más constante más allá de la tubería de entrega con menos pérdida de fricción. Algunos sugieren que el tamaño de la cámara de aire sea igual al volumen de la tubería de entrega (Sarip et al., 2019).

La cámara de presión llena de aire crea un amortiguador que absorbe el golpe de ariete y convierte el bombeo intermitente en un flujo constante (Sarip et al., 2019).

Válvula check golpeador. - Es una pieza indispensable en el funcionamiento de la bomba ya que produce el golpe de ariete por medio de un sistema sencillo conformado por resortes y arandelas, lo que permite impulsar el agua a grandes altitudes (Zuñiga, n.d.).

La fuerza del agua cierra la válvula antirretorno (check), mientras que la fuerza de los resortes la abre y nuevamente genera un aumento en la presión del fluido, de forma que una parte del agua se desperdicia y otra regresa en dirección de la tubería de alimentación (Zuñiga, n.d.).

2.5 PARÁMETROS DETERMINANTES EN EL FUNCIONAMIENTO DEL ARIETE HIDRÁULICO

La carrera del resorte es uno de los principales factores que podrían afectar de manera considerable el funcionamiento del ariete, por lo que se debe tener en cuenta

dentro de la fabricación de las válvulas de impulsión y descarga (Rubiano & Cuervo, 2017).

Estudios realizados por Asvapoositkul, Juruta, Tabtimhin, & Limpongsa (2019), demostraron que cada uno de los siguientes factores podía variar independientemente: cabezal de suministro, presión en la cámara de aire y numero de golpes por minuto en la válvula check (Asvapoositkul et al., 2019).

Los criterios de selección para el diseño de la válvula de impulso serán: sensibilidad para tener una correcta operación del ariete, su fiabilidad para operar en un periodo conveniente, su fácil regulación con el fin de aumentar el caudal elevado o la eficiencia del equipo, su precio de forma que este pueda ser accesible y su fácil montaje además que sus procesos de construcción no sean tan complejos (Peralta, 2015).

Chero (2018) Postula los siguientes criterios para la selección y diseño de la válvula de impulso:

- El sellado de la válvula de impulso debe ser lo más hermético posible para un mejor funcionamiento de la válvula.
- El sistema de la válvula debe permitir la libre apertura y cierre de la misma rápidamente.
- La válvula debe tener la capacidad de regularse para garantizar el máximo rendimiento de la bomba.
- La válvula debe resistir las fatigas a la que va a estar expuesta.

Según Asvapoositkul et al., (2019), un aumento en los pulsos o ‘latidos’ de la válvula check por minuto, tiende a disminuir el caudal de suministro, pero tiende a aumentar la relación de carga, caudal de descarga y la eficiencia general de la bomba.

Cuando el ángulo de inclinación de la tubería de alimentación no es el adecuado, la aceleración de la columna de agua será tan alta o tan baja que las válvulas, no podrán mantener su número de golpes normal debido a su inercia de masa. Empezarán a oscilar sin control y se alterará el funcionamiento del ariete (Gálvez & Mosquera, 2009).

Esta válvula es considerada como uno de los accesorios más sensibles del ariete hidráulico por lo que una buena selección de esta responderá de una forma eficiente (Peralta, 2015).

Presiones máximas y mínimas, las cuales serán reguladas mediante las válvulas tanto en la teoría como en la práctica, manifiestan que las presiones más altas alcanzadas son el resultado de un cierre de la válvula menor al tiempo crítico (T_c), por lo que la cámara de aire y el cuerpo deben ser elaboradas de forma que estas estructuras sean capaces de soportar las presiones internas que se produzcan (Rivadeneira & Silva, 2013).

La presión en la cámara de aire será igual a la presión de entrega debido a la baja compresibilidad del agua, si hay poco o nada de aire en la cámara, la energía se transfiere inmediatamente a todo el sistema de tubería ascendente y la cámara de aire puede averiarse. Por lo tanto, en la práctica, es necesario ajustar la presión de aire en la cámara para que el pulso en la tubería sea mínimo (Made Suarda, Ghurri, Sucipta, & Kusuma, 2018).

Los materiales plásticos en las tuberías, como el polietileno de alta o baja densidad poseen un potencial de amortiguación de ondas de sobretensión elevadas, frente a las tuberías metálicas, por su comportamiento mecánico de visco elástica (Trabelsi & Triki, 2019).

2.6 PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Carrera de la válvula de impulsión.- La carrera de la válvula de impulsión es una de las especificaciones hidráulicas que se puede manipular una vez instalada la bomba de ariete, la correcta sintonización de la carrera nos permite obtener mayores caudales de descarga y por lo tanto mayor eficiencia (Galarza, 2009).

El ariete hidráulico permite elevar agua a distintos niveles de alturas de acuerdo a la sintonización de la carrera-masa de la válvula de impulso (Galarza, 2009).

Determinación del flujo:

Número de Reynolds. - Cuando un líquido fluye en un tubo y su velocidad es baja, fluye en líneas paralelas a lo largo del eje del tubo; a este régimen se le conoce como “flujo laminar”. Conforme aumenta la velocidad y se alcanza la llamada “velocidad crítica”, el flujo se dispersa hasta que adquiere un movimiento de torbellino en el que se forman corrientes cruzadas y remolinos; a este régimen se le conoce como “flujo turbulento” (Jaramillo & Cardenas, 2013). El número de Reynolds se describe a través de la Ecuación 1.

$$Re = \frac{D * v * \rho}{\mu}$$

Dónde:

Re = Número de Reynolds (adimensional)

D = Diámetro de la tubería (metros)

v = Velocidad del líquido (m/s)

ρ = Densidad del líquido (kg/m³)



μ = Viscosidad dinámica del líquido (Pa * s)

En el caso de la bomba de ariete el flujo siempre será turbulento debido a la acción del fenómeno golpe de martillo que alterará la dirección y flujo de partículas en cada golpe.

Carga de aspiración o succión: Es el valor de la energía que posee el fluido al llegar a la boca de succión de la bomba hidráulica, expresada en metros de líquido. Se define como la suma de la carga de presión, la carga cinética y la altura geográfica o cota en la boca de succión de la bomba (Martín, Salcedo, & Font, 2011).

Carga de impulsión: Es el valor de la energía que posee el fluido justo en el punto de salida de la bomba hidráulica, expresada en metros de líquido. Se define como la suma de la carga de presión, la carga cinética y la altura geométrica en la boca de impulsión de la bomba (Martín et al., 2011).

Carga total: Es la diferencia algebraica entre la carga de impulsión y la de aspiración.

Caudal: El caudal es una proporción de un fluido que recorre un canal o tubería en un tiempo específico, es decir corresponde a un volumen de agua (litros, metros cúbicos, etc.) por unidad de tiempo (segundos, minutos, horas, etc.) (Bello & Pino, 2000).

Cálculo de la celeridad: La onda de presión, originada por el cierre de la válvula de impulso, se propaga a lo largo del cuerpo del ariete y recorre la tubería de alimentación (Otí, 2017).

Cierre de la válvula de impulso: Una vez determinada la celeridad se calcula el tiempo de propagación para ver si se trata de un cierre rápido o lento (Otí, 2017).



Las más altas presiones se consiguen cuando la acción de cierre es menor que el tiempo que tarda la onda en su viaje de ida y vuelta hasta la válvula que corta el paso al fluido. Este tiempo lo denominaremos tiempo crítico T_c (Romero & Gutiérrez, 2014).

El ariete hidráulico convencional tiene sus limitaciones su potencia y rendimiento depende, entre otros factores, del caudal de alimentación, de la relación H/h y de los elementos constructivos (Romero & Gutiérrez, 2014).

Donde:

H : Altura de carga

h : Altura de descarga

CAPITULO III:

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

El presente estudio se desarrolló en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca provincia del Azuay, a su vez cabecera de la región centro-sur del Ecuador, a una altura de 2560 msnm (Figura 1).

La bomba de ariete fue ubicada a una altura exacta de 2567 msnm la cual será considerada como una altura de referencia 0.

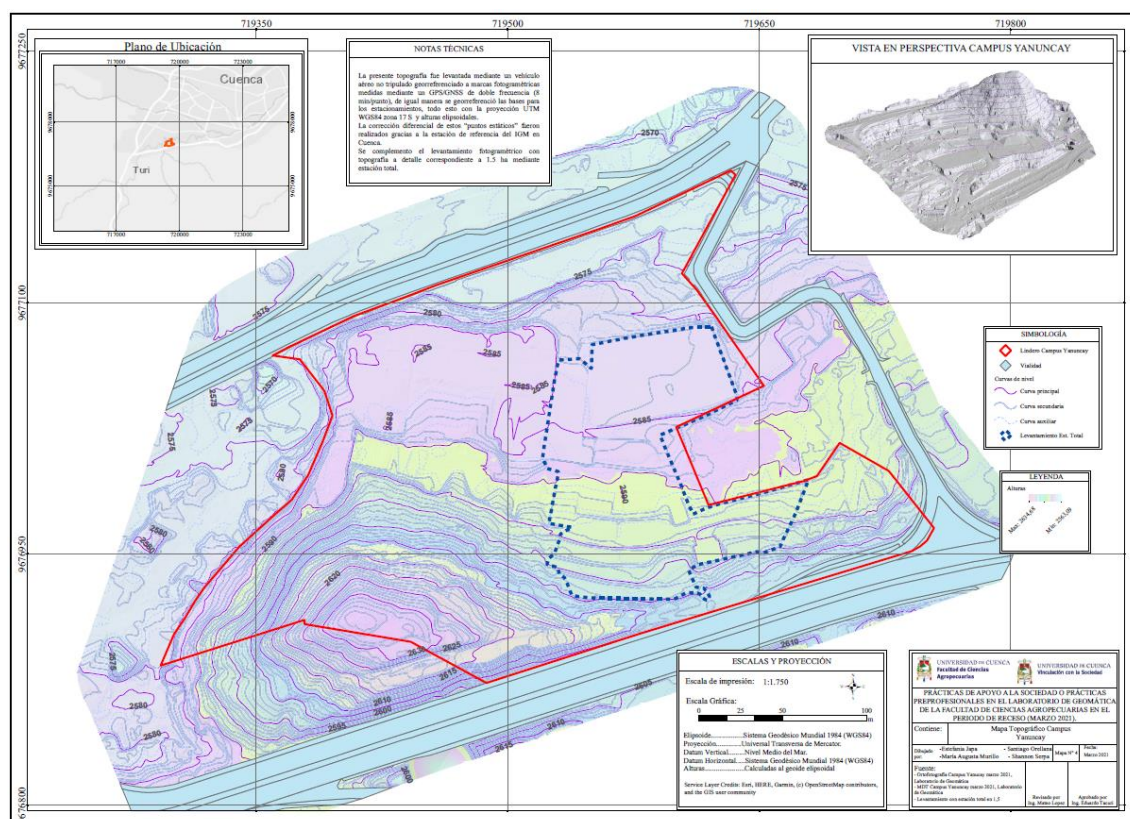


Figura 1: Mapa de ubicación de la zona de estudio.



3.2 Materiales

Tabla 2: Lista de materiales usados en el estudio.

Material	Equipos	Herramientas
- Codos Flex.	- Bomba de ariete monopulsor.	- Llave inglesa.
- Codos PVC.	- Manómetro.	- Llave de cadena.
- Adaptadores Flex	- GPS.	- Llave Stillson.
- Adaptadores PVC	- Estación total.	- Destornilladores.
- Neplos.	- Nivel.	- Playos.
- Universal.	- Cámara digital.	- Cierra.
- Uniones.	- Cronómetro.	- Estilete
- Tubería Flex.		- Flexómetro.
- Tubería PVC.		- Terraaja.
- Tanque reservorio.		- Probeta.
- Adaptador de tanque.		
- Teflón.		
- Pega tubo.		
Programas	Biológico	
- InfoStat.	- Agua.	
- Micro Soft Excel.		
- Micro Soft Word.		
- AutoCAD.		
- MicroSoft Power Point.		

3.3 Metodología

3.3.1 Metodología para el primer objetivo:

Armar una bomba de ariete de 1" con los parámetros hidráulicos teóricos establecidos.

3.3.1.1 Establecimiento de la altura de alimentación o carga (h).

La altura se estableció de acuerdo a lo recomendado por Camacho Ramírez & Meza – Reina (2017), con valores de 4 m y 3 m de altura de carga, y una pendiente de inclinación igual a 26° , dentro del rango 10° - 45° , adicionalmente se instaló a 2 m de altura para verificar el alcance altimétrico para la variable volumen de la cámara de aire.

3.3.1.2 Establecimiento de la tubería de alimentación.

Según S.B. Watt, citado por Rengifo & Gallego (2016), indica que la bomba de ariete tiene un rendimiento óptimo si la longitud de la tubería es por lo menos 100 veces mayor al diámetro. Por lo tanto, para 32 mm de diámetro, la longitud mínima es igual a 3 m. Así, la longitud utilizada fue de 9 m cuando se colocó a 4 m de altura y 6.8 m cuando se colocó a 3 m de altura.

3.3.1.3 Determinación de la tubería de descarga.

Se utilizó el diámetro recomendado por Rengifo & Gallego (2016), que indican que la tubería de descarga debe tener la mitad del diámetro de la tubería de alimentación,



así, para una tubería de alimentación igual a 1", se utilizó manguera de polietileno de ½ pulgada de diámetro para la descarga del ariete.

3.3.1.4 Selección y modificación de accesorios comunes de fontanería para la creación de la bomba de ariete.

Se eligió accesorios de 1 pulgada para la creación de la bomba las cuales fueron acopladas y modificadas según lo requirió el diseño, para la creación de la válvula check se siguió lo planteado por Otí (2017), que consiste en modificar el funcionamiento de una válvula check o anti retorno de manera que esta cambie su funcionamiento a una válvula de impulso.

Puesto que no existe una cantidad de datos suficientes para realizar pruebas estadísticas, el objetivo número 1 se centró únicamente en el armado de la bomba con los parámetros teóricos establecidos.

3.3.2 Metodología para el segundo objetivo:

Evaluar el diámetro de la válvula de impulso tipo canastilla modificada y su influencia en la eficiencia.

Se partió por el diámetro recomendado por Made Suarda et al. (2018), quienes recomiendan que el diámetro de la válvula de impulso debe ser 0.68 veces el diámetro del cuerpo de la bomba, de esta manera se utilizó un diámetro igual a 22 mm de apertura, adicional de 15 mm y 30 mm.

En cuanto a su influencia en la eficiencia, según Arapa (2016) está directamente relacionada al número de golpes que realiza la válvula por minuto mediante la

manipulación de la carrera de la misma, además de la longitud de la tubería de descarga, la cual derivará en un mayor caudal bombeado y una mayor altura de descarga alcanzada (eficiencia).

El número de ciclos o golpes óptimos para las válvulas de impulso es de 60 – 75 golpes/min (Galarza, 2009).

3.3.3 Metodología para el tercer objetivo:

Evaluación del volumen en la cámara de aire y su influencia en la eficiencia.

Se utilizó lo recomendado por Arapa Quispe (2016), que dicen que el volumen debe ser 100 veces el volumen de agua bombeada por ciclo, se determinó 2 volúmenes, de 3 y 6 L, en función a rendimiento de 0.05-0.2 L/s de caudal típico del ariete.

Para la evaluación del volumen de la cámara de aire y su influencia en la eficiencia, se utilizaron los 2 volúmenes mencionados, estas cámaras fueron evaluadas así mismo, con una pendiente de inclinación en la tubería de alimentación igual a 26°, alturas de 3 y 4 m de carga, una masa en la válvula de impulsión igual a 110 g y un diámetro de la válvula check igual a 30 mm.

3.3.4 Metodología para el cuarto objetivo:

Evaluación del tamaño de la carrera de la válvula de impulso en función a la altura de la tubería de alimentación.

Se tomó como referencia lo concluido por Januddi et al. (2018), quienes mencionan que el tamaño de la carrera debe ser 0.0065 veces la altura de alimentación o carga, a partir de este dato se ajustará el tamaño que mejor funcionamiento presente mediante gráficos de eficiencias en función al tamaño de la carrera influenciada por la carga, y se utilizó carreras de: 26 mm, 20 mm y 32 mm para la bomba colocada a 3 m y 4 m de altura

3.3.5 Metodología para el quinto objetivo:

Evaluación de la fuerza necesaria de válvula de impulso tipo canastilla modificada (Vi), para la operación óptima del ariete hidráulico universal.

Se partió por la referencia de Made Suarda et al., (2018), quienes recomiendan 225 g de masa para una bomba de 2 pulgadas, por lo tanto, se inició con un masa de 140 gr, además de 80 y 110 g los cuales actuarán como la fuerza de cierre en la válvula de impulso, representados en gráficos de eficiencias en función al masa de la válvula de impulso.

4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para tener conocimiento de las variables se hizo una verificación del principal supuesto estadístico como normalidad de datos, con el entendimiento de estas variables.

Se utilizó una prueba inferencial de t de Student para las siguientes variables:

- Eficiencia volumétrica (variable dependiente) en función al diámetro de la check (variable independiente).
- Eficiencia volumétrica (variable dependiente) en función al volumen de la cámara de aire (variable independiente).
- Alcance altimétrico (variable dependiente en función al volumen de la cámara de aire (variable independiente).
- Para el ordenamiento de los datos se utilizó el programa Microsoft Excel, mientras que para el análisis de los datos se utilizó el software InfoStat E20.

CAPITULO IV

5. Resultados

A continuación, los resultados se muestran en agrupación de variables analizadas en función a cada objetivo específico.

5.1 Resultados del primero objetivo específico:

Desarrollo de una bomba de ariete de 1" con los parámetros hidráulicos teóricos establecidos.

Se desarrolló un prototipo de ariete de 1" el cual fue diseñado y construido en su totalidad por los autores, basándose en los parámetros hidráulicos teóricos establecidos.

Para la variable altura de carga se evaluaron las alturas a 2, 3 y 4 m, donde solo se obtuvieron resultados favorables a partir de los 3 m, siendo la altura de carga más óptima a los 4 m.

Para la tubería de descarga se utilizó una tubería de 32 mm por lo que basándonos en la teoría se estableció una tubería de 9 m de largo para los 4 m de altura de carga y una tubería de 6,8 m de largo para los 3 m de carga.

La tubería de descarga óptima es igual a la mitad del diámetro de la tubería de alimentación, por lo que para una bomba de 1" se utilizó manguera de polietileno de ½ pulgada de diámetro para la descarga del ariete.

El equipo se construyó de material de hierro en su totalidad (Figura 2), con accesorios de 1" de diámetro como: Válvulas de paso (Figura 3), Tee de hierro (Figura 4), Cámara de aire (Figura 5), Válvula check (Figura 6) y válvula check de tipo canastilla (Figura 7), mismos que fueron adaptados para la creación de la bomba y modificados en el caso de la válvula check para alterar su funcionamiento.

Por otra parte, la válvula check de impulso diseñada tiene 22 mm de apertura y una carrera de 5 cm regulable, para realizar las pruebas de eficiencia, además de un tornillo que le permite adicionar o quitar masa el cual actuara como la fuerza aplicada sobre la válvula check.

5.1.2 Diagramas de la bomba de ariete desarrollada:

Sistema de bombeo del ariete hidráulico:

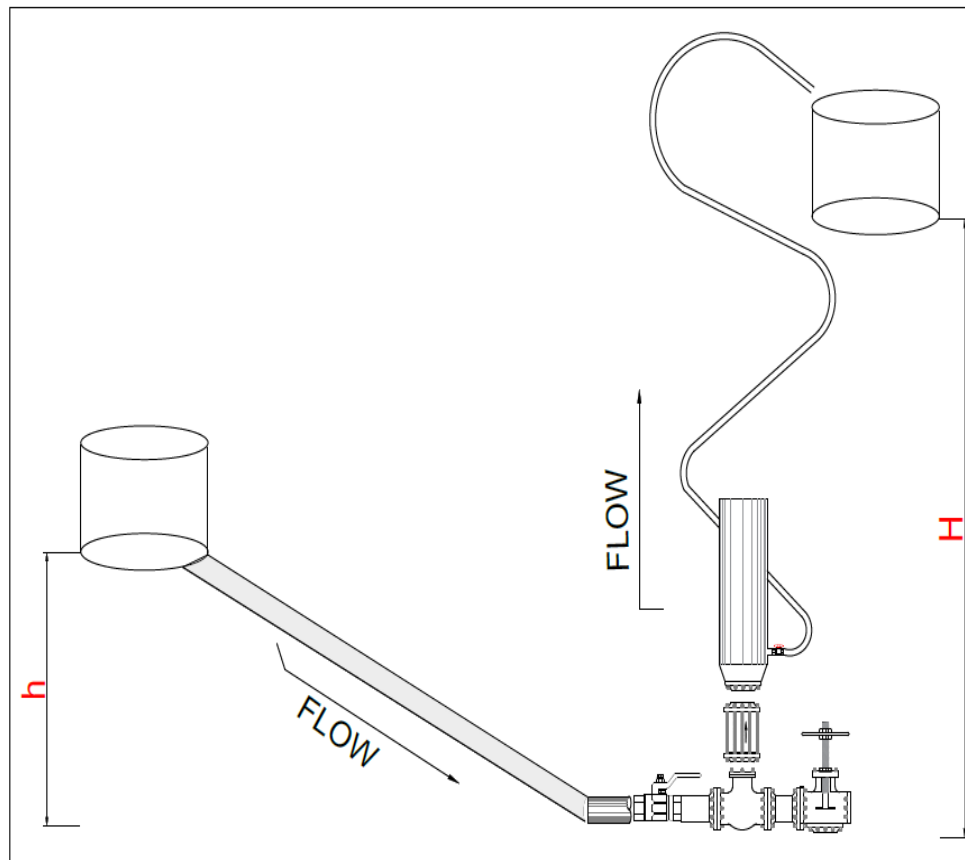


Figura 2: Sistema de bombeo del ariete hidráulico de 1" con su ciclo completo partiendo desde h o altura de carga hasta el bombeo del fluido por la bomba hasta H o altura de descarga.

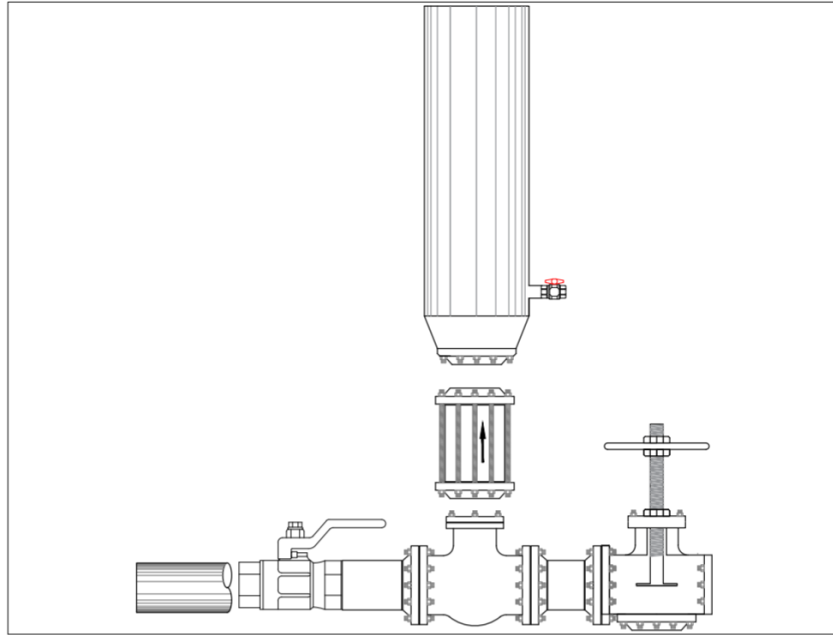
Bomba de ariete:

Figura 3: Diagrama de una bomba de ariete con sus partes modificadas con un diámetro de cuerpo de una pulgada, con accesorios y adecuaciones de hierro fundido.

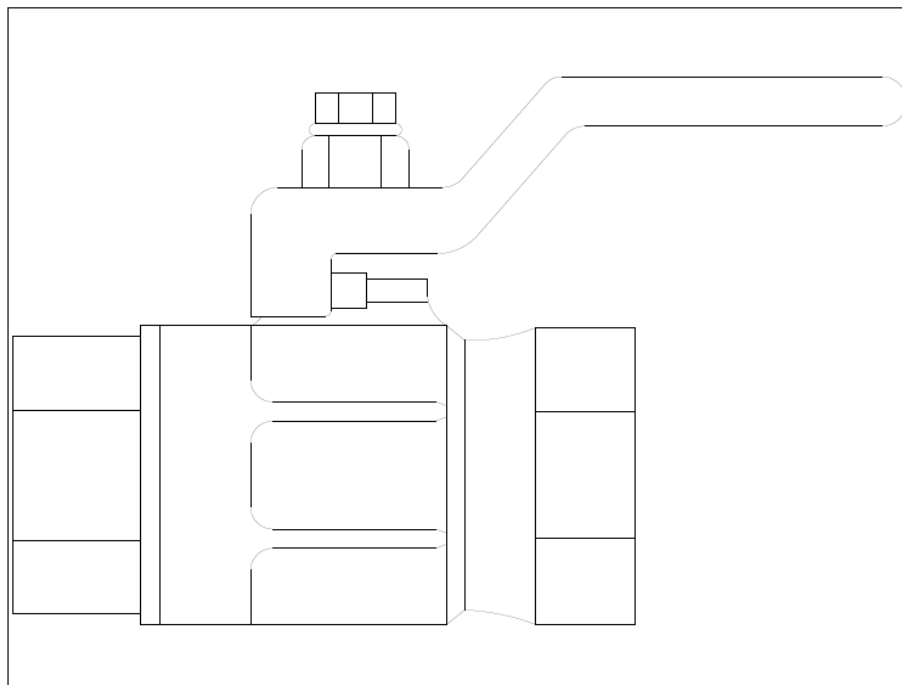
Válvula de paso de media vuelta tipo bola:

Figura 4: Diagrama de la válvula de paso de media vuelta roscable hembra de tipo bola convencional compatible a tuberías y accesorios de una pulgada, de acero inoxidable la cual permite el ingreso del fluido desde el reservorio al ariete.

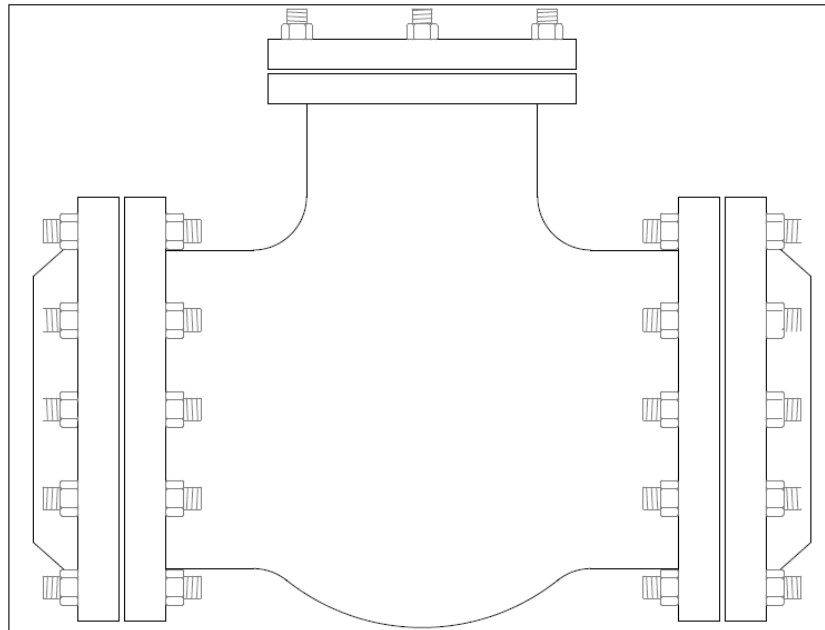
Tee de hierro:

Figura 5: Diagrama de Tee de hierro hembra roscable para dispersión de flujo, compatible con accesorios de 1 pulgada roscables macho.

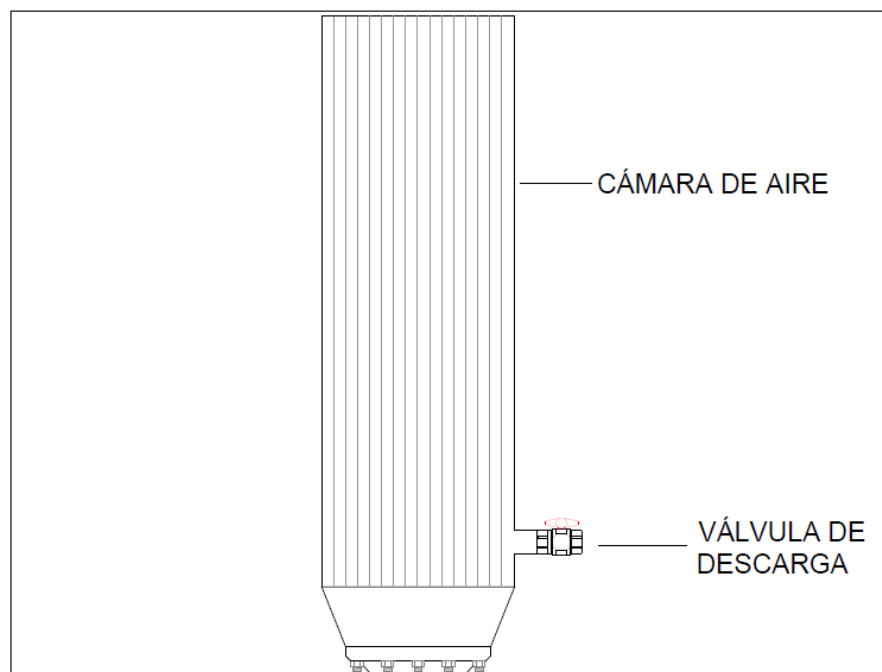
Cámara de aire:

Figura 6: Diagrama de la cámara de aire modificada, compatible con accesorios y tubería de una pulgada y con tubería y accesorios de media pulgada en su descarga.

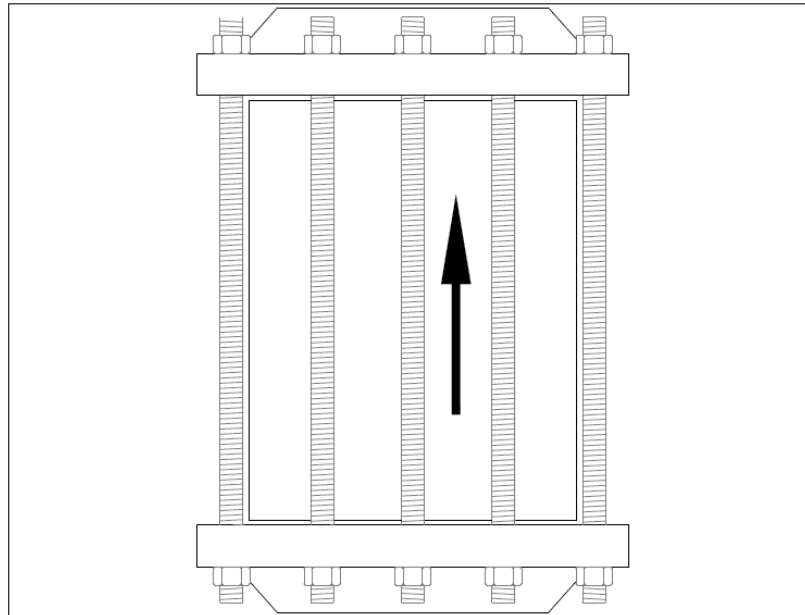
Válvula check:

Figura 7: Válvula check de hierro que indica un solo sentido hacia arriba, compatible con accesorios de una pulgada roscables,

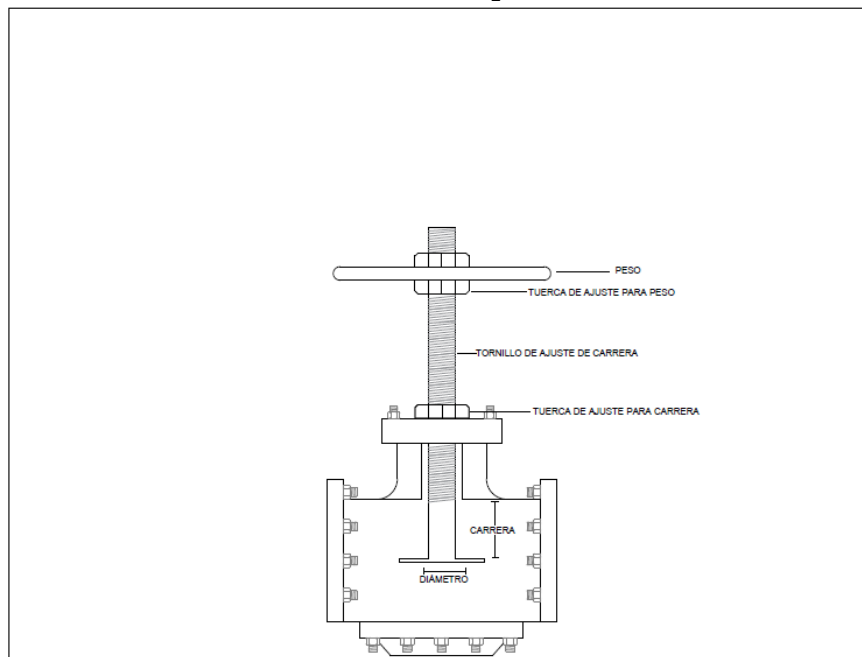
Check o válvula de impulsión:

Figura 8: Válvula check de hierro modificada en su diámetro de alivio con tornillo para adición y sustracción de masa y modificación de carrera para pruebas de alcance y eficiencia.

5.2 Resultados del segundo objetivo específico:

Evaluación del diámetro de la válvula de impulso tipo canastilla modificada y su influencia en la eficiencia.

Para la evaluación del diámetro de la válvula de impulso o check modificada, se utilizó tres valores distintos de apertura del diámetro: 15 mm, 22 mm y 30 mm (Figura 9).

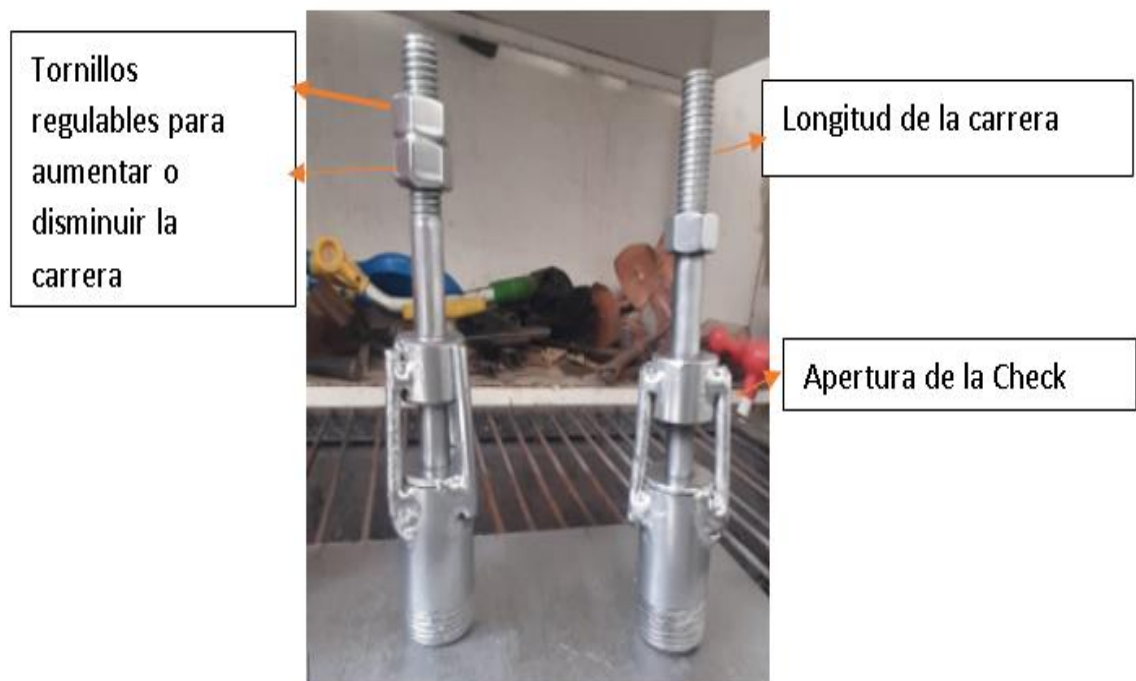


Figura 9: Diseño válvula check y especificaciones.

El tornillo utilizado fue de 8mm de diámetro para las 3 válvulas, se utilizó un volumen de la cámara de aire igual a 3 litros, una altura de alimentación de 3 m, un ángulo de inclinación igual a 26°, a una altura de descarga igual a 9 m y una masa de 110 g para la válvula check con sus 3 aperturas o diámetros.

Para la variable eficiencia volumétrica, sí existieron diferencias significativas (p -valor $< 0,05$) entre los porcentajes de eficiencia de las válvulas check entre los diámetros de 22 mm y 30 mm (Tabla 3). La apertura con 22 mm es la que mayor eficiencia presentó en comparación con 15 mm y 30 mm (Figura 10), esto se vio reflejado en la práctica, puesto que con 15 mm de apertura, no había el espacio para liberar la presión del equipo, y por lo tanto no se podía efectuar el fenómeno del golpe de ariete, por otra parte, con la apertura de 30 mm, el equipo no cerraba la válvula en el tiempo adecuado, es decir la válvula check quedaba abierta por tiempo prolongado por lo que el número de golpes por minuto era inferior a los 60 golpes/min lo cual generaba desperdicio de agua, con una consecuentemente reducción de la eficiencia.

Tabla 3: Prueba t de student para el porcentaje de **eficiencia volumétrica** según el diámetro de la válvula de check o impulsión.

Clasificación	Variable	Diámetro 1	Diámetro 2	Media diámetro 1	Media diámetro 2	p valor
Diámetro de la válvula check	Eficiencia %	22	30	33	10	$< 0,0001$

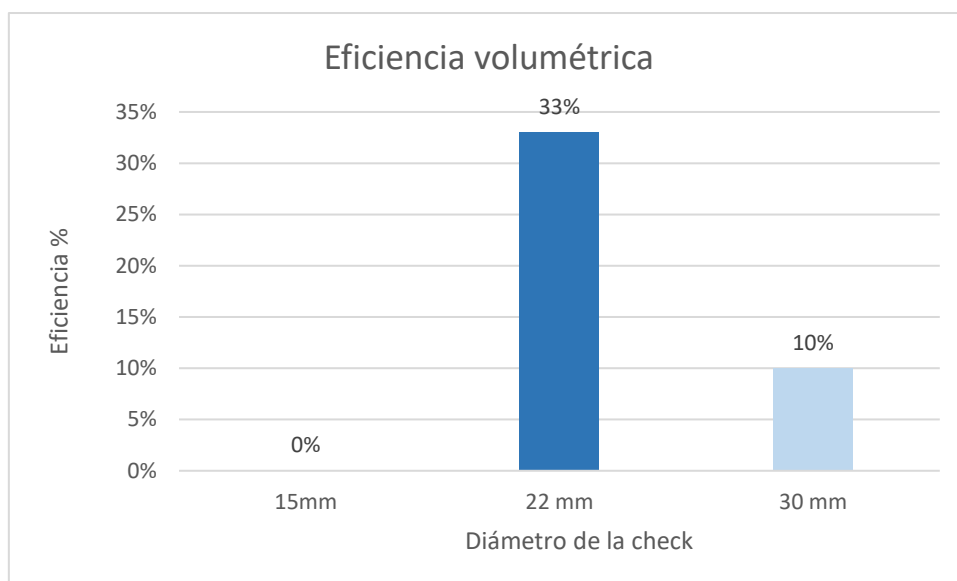


Figura 10: Representación gráfica de la eficiencia volumétrica en función a la apertura de la válvula check o alivio.

5.3 Resultados para el tercer objetivo.

La Tabla 4 refleja los resultados de la prueba t de student, en la que existen diferencias estadísticas ($p\text{-valor} < 0,05$) entre las medias de los dos volúmenes de cámara de aire evaluados (3 y 6 L) para una carga igual a 3 m.

Tabla 4: Prueba de T para el porcentaje de eficiencia volumétrica con dos volúmenes diferentes en la cámara de aire de 3 y 6 L a **9 m de altura** de descarga y altura de alimentación de 3 m.

Clasificación	Variable	Volumen 1	Volumen 2	Media Vol. 1	Media Vol. 2	p valor
Volumen (L)	Eficiencia %	3l	6l	33	25	< 0,0001

En la Figura 11 se podrá apreciar la mayor eficiencia volumétrica, la misma está reflejada en un volumen de la cámara de aire igual a 3 L con 33%, mientras que con 6 L una eficiencia igual a 25%, este resultado para una altura de carga de 3 m y una altura de descarga de 9 m.

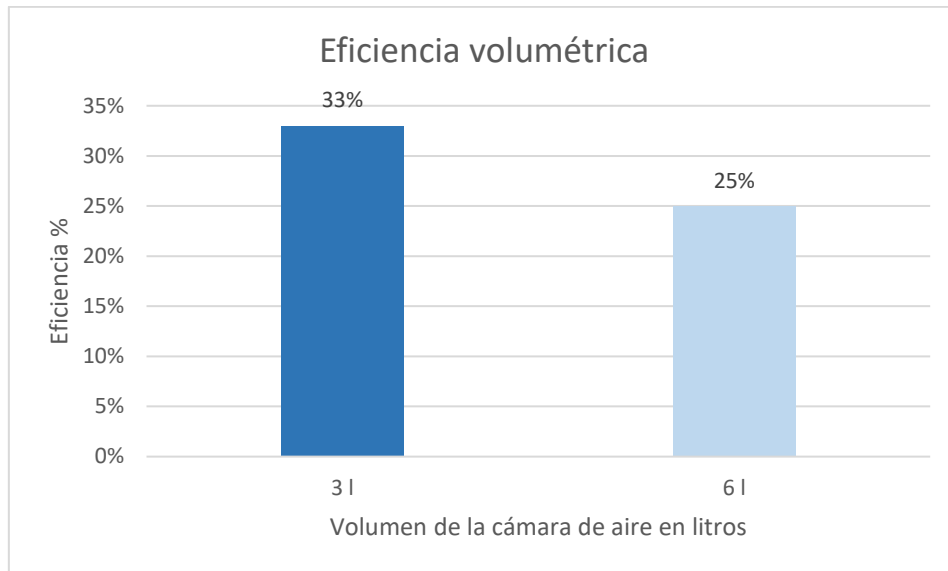


Figura 11: Evaluación para la variable eficiencia volumétrica expresada en porcentajes, a 9 metros de altura desde la bomba y carga igual a 3 metros.

Para verificar si el comportamiento es el mismo cuando incrementa la altura de carga y la altura de descarga, se realizó a 4 m de altura de carga y a 12 m de altura de descarga, al reflejar resultados similares y al afirmar que el comportamiento es el mismo y directamente proporcional, cuando aumenta la carga, aumenta la altura de descarga, sin embargo, el comportamiento es el mismo, no varía por modificación del volumen de la cámara de aire, comprobando que el volumen óptimo para esta bomba de ariete es de 3 L como se puede evidenciar en la siguiente figura (Figura 12).

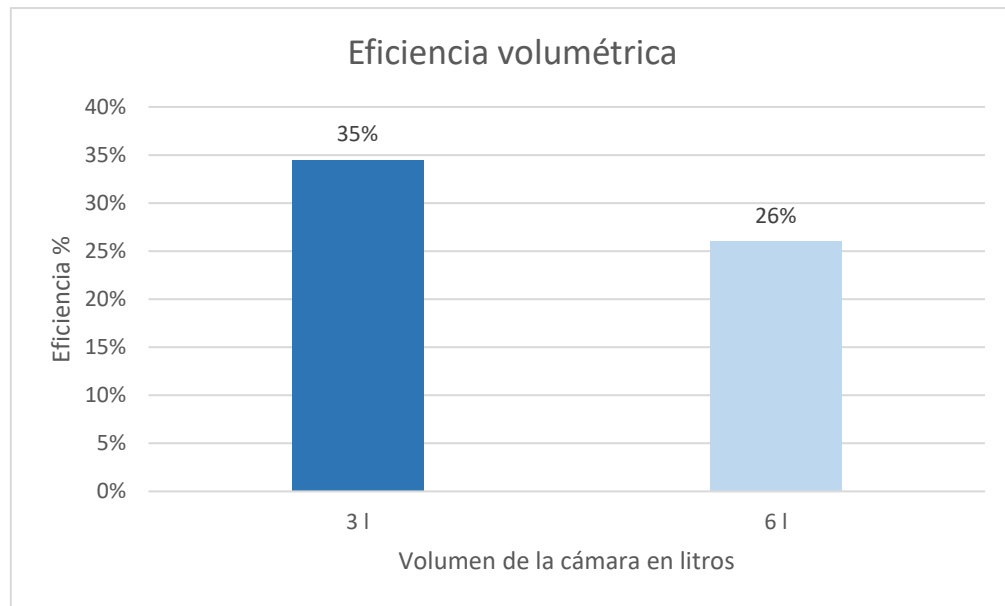


Figura 12: Evaluación para la variable eficiencia volumétrica expresada en porcentajes, a 12 metros de altura desde la bomba y carga igual a 4 metros.

Se evidenció que, entre la eficiencia de volúmenes de cámara para una carga de 4 m y 12 m de descarga, existe diferencias significativas (p -valor $< 0,05$) (Tabla 5), además, en esta, la media mayor fue para el volumen 1, la cual es 9% mayor.

Tabla 5: Prueba de T para el porcentaje de eficiencia volumétrica con dos volúmenes diferentes en la cámara de aire de 3 y 6 L a **12 m de altura** de descarga y altura de carga de 4 m.

Clasificación	Variable	Volumen 1	Volumen 2	Media Vol. 1	Media Vol. 2	p valor
Volumen (L)	Eficiencia %	3l	6l	35%	26%	$< 0,0001$

Para evaluar el alcance altimétrico se instaló la bomba con una carga igual a 2 m de altura, esta para comprobar si con mayor o menor volumen modifica su alcance para la variable altura de descarga.

Para alcanzar un caudal igual a 0,28 L/s, la bomba con cámara de aire de 3 L, adquiere el caudal a los 12 m de descarga, mientras que la bomba con volumen de cámara igual a 6 L, lo adquiere a los 7 m, de esta forma verificamos un mayor alcance para la cámara con volumen igual a 3 L, para bombas de diámetro igual a una pulgada con los parámetros anteriores establecidos (Figura 13).

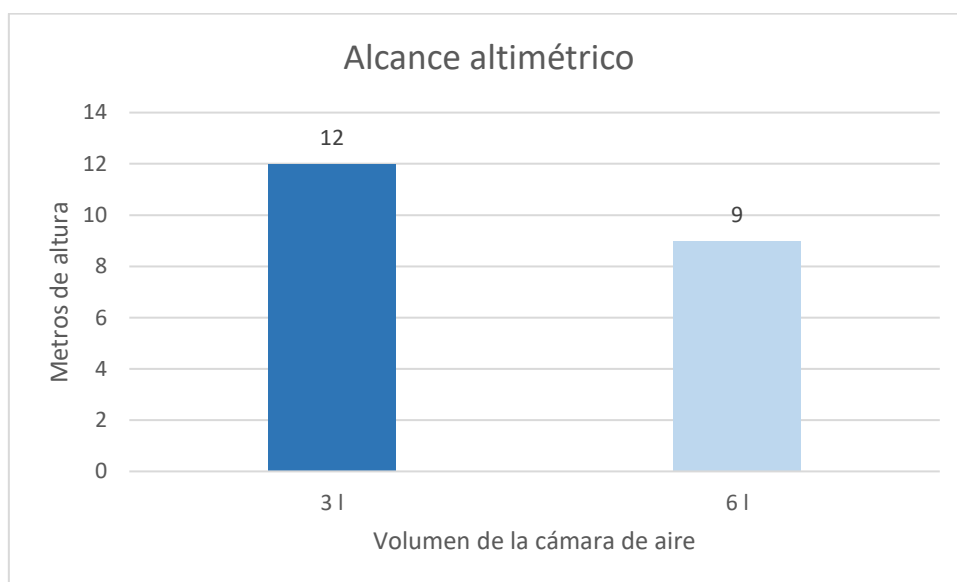


Figura 13: Evaluación para la variable alcance altimétrico expresada en metros con carga igual a 2 m.

La tabla a continuación, es el resultado de la prueba t de student, en esta se muestra que, entre los volúmenes de la cámara de aire evaluados a 2 m de altura, existen

diferencias significativas entre sus medias (p -valor $< 0,05$), pues la tendencia es la misma que en el resto de las variables evaluadas, la de 3 L obtiene una media mayor (Tabla 6).

Tabla 6: Prueba t de student para el porcentaje de eficiencia volumétrica con dos volúmenes diferentes en la cámara de aire de 3 y 6 L con altura de alimentación de 2 m.

Clasificación	Variable	Volumen 1	Volumen 2	Media Vol. 1	Media Vol. 2	p valor
Volumen (L)	Eficiencia %	3l	6l	12	9	$< 0,0001$

5.4 Resultados para el cuarto objetivo.

Para evaluar el tamaño de la carrera de la válvula check que determina el alcance y eficiencia volumétrica, se ejecutó a 3 y 4 m de altura de alimentación.

En la Figura 14 se apreció el comportamiento del caudal en función a cada altura, con una carrera igual a 26 mm al abrir esta longitud, además se efectuó 63 golpes por minuto promedio para las 3 alturas de descarga con una carga de 3 m desde el tanque hacia la bomba, sin embargo, para 4 m de carga, se efectuaron 67 golpes por minuto promedio (Ver Figura 14).

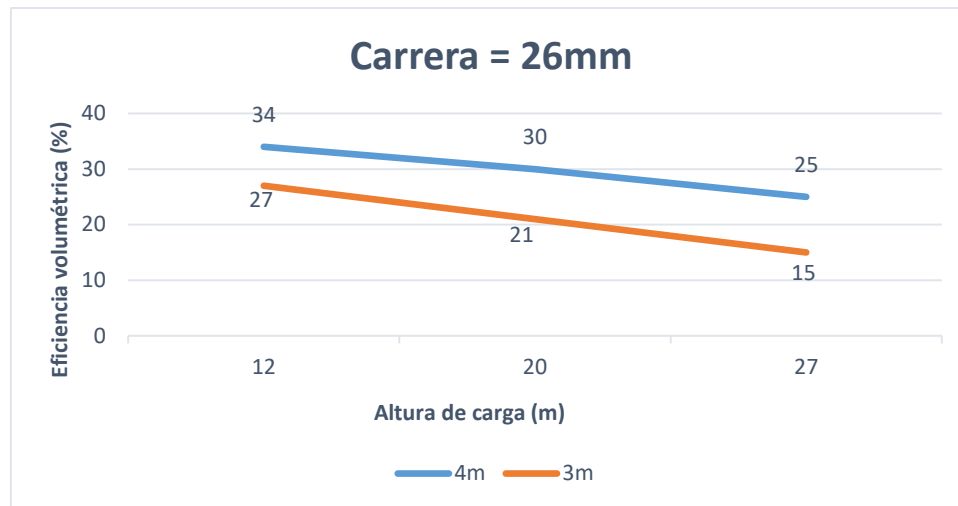


Figura 14: Eficiencia volumétrica alcanzada para un ariete hidráulico modificado con carga de 3 y 4 m, carrera igual a 26 mm.

En la Figura 15 se observa un comportamiento similar al de la carrera de 26 mm, sin embargo, su eficiencia es más baja, para una altura de carga de 3 m se obtuvo un promedio de 45 golpes por minuto y para 4 m de carga se obtuvo un promedio de 51 golpes por minuto.

De esta forma podemos observar que el comportamiento de los golpes al igual que el tamaño de la carrera influye y determinan el desempeño del ariete hidráulico.

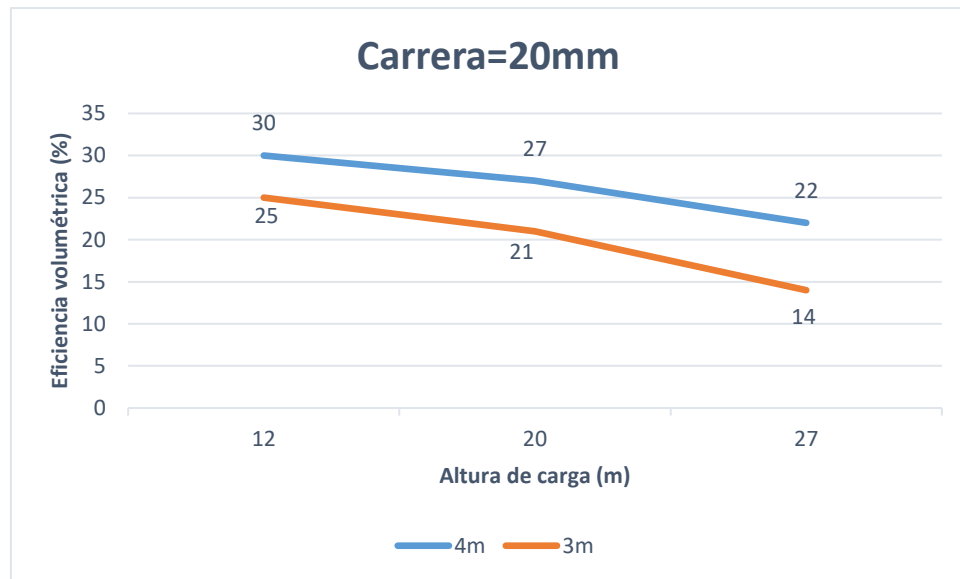


Figura 15: Eficiencia volumétrica en función a la altura de descarga, con carrera de válvula igual a 20 mm con una carga de 3 y 4 m.

En la Figura 16, se observa como la eficiencia baja nuevamente al modificar la carrera de la check de impulsión, al ser esta más baja que la eficiencia obtenida cuando la carrera es igual a 26mm. El comportamiento con esta carrera es similar a los resultados de la carrera igual a 20mm.

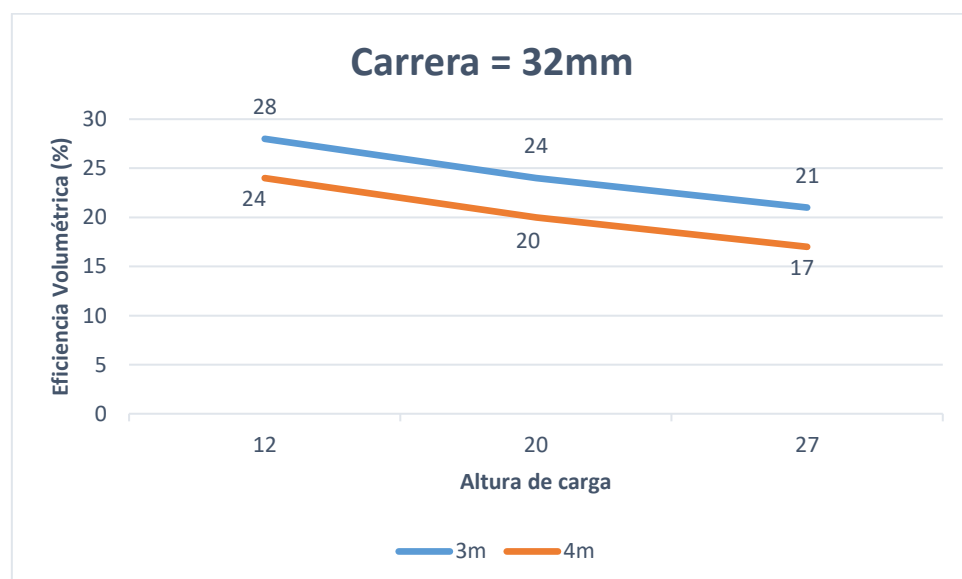


Figura 16: Eficiencia volumétrica en función a la altura de descarga con altura de carga de 3 y 4 m y carrera de válvula igual a 32 mm.

5.5 Resultados para el quinto objetivo.

Para evaluar la fuerza o masa necesarios para el óptimo funcionamiento del ariete hidráulico se ejecutaron varias masas para validar su mejor funcionamiento condicionado por esta variable en estudio.

El comportamiento nos indica que mientras aumentamos la masa de la pesa que acciona la válvula check de impulso, el caudal disminuye, además se evidenció que el número de golpes es mayor cuando la masa es mínima y viceversa, esto se debe a que cuando hay mayor masa, la válvula permanece el mayor tiempo abierta, por lo que desperdicia una mayor cantidad de agua lo cual reduce de manera considerable su eficiencia volumétrica.

Tabla 7: Datos obtenidos para una bomba con 3 L de volumen en la cámara de aire, 26 mm de carrera en la válvula check de impulsión y 27 m de altura de descarga.

Masa (g)	Caudal (L/h)	Altura de descarga (m)	Altura de carga (m)
80	22	27	3
110	43	27	3
140	27	27	3

Tabla 8: Datos obtenidos para una bomba con 3 litros de volumen en la cámara de aire, 26mm de carrera en la válvula check de impulsión y 20 metros de altura de descarga.

Masa (g)	Caudal (L/h)	Altura de descarga (m)	Altura de carga (m)
80	90	20	3
110	76	20	3
140	65	20	3

Tabla 9: Datos obtenidos para una bomba con 3 litros de volumen en la cámara de aire, 26mm de carrera en la válvula check de impulsión y 14 metros de altura de descarga.

Masa (g)	Caudal (L/h)	Altura de descarga (m)	Altura de carga (m)
80	225	14	3
110	178	14	3
140	165	14	3

En las figuras 17y 18, con masas de 80 y 110 g respectivamente, se observa un comportamiento similar, al seguir la tendencia misma de relación a mayor masa, menor caudal y viceversa.

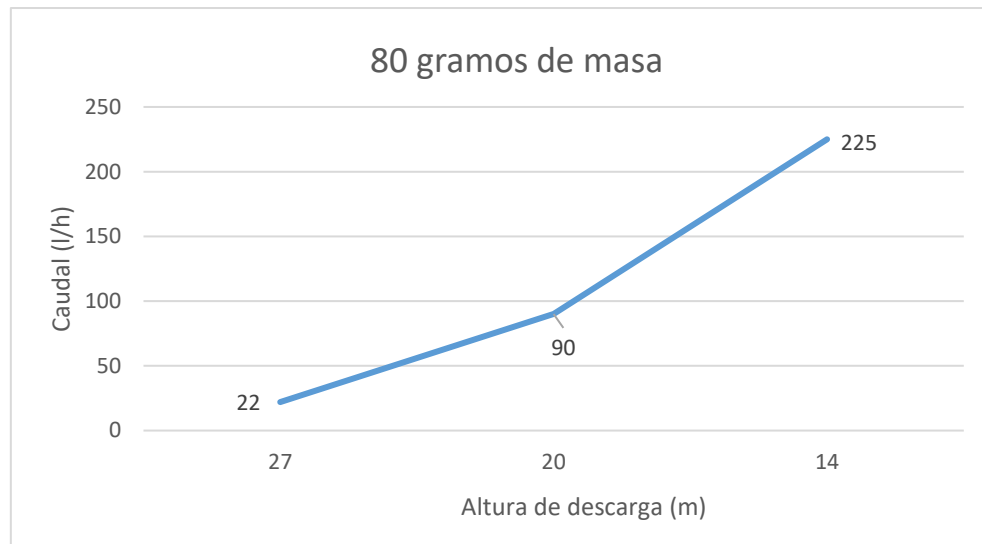


Figura 17: Caudal alcanzado para 80 g de masa, con cámara de aire de 3 L y 3 m de altura de carga.



Figura 18: Caudal alcanzado para 110 g de masa, con cámara de aire de 3 L y 3 m de altura de carga.

En la figura 19, se refleja el comportamiento óptimo cuando la masa de la check es igual a 140 g, mientras que si se disminuye o aumenta la masa de la misma, la eficiencia baja considerablemente.



Figura 19: Caudal alcanzado para 140 g de masa, con cámara de aire de 3 L y 3 m de carga.

La eficiencia volumétrica a los 27 m de descarga, llega a un punto máximo de caudal, el cual es de 43 L/h a los 110 g de masa y nuevamente empieza a reducir su caudal hasta llegar a 28 L/h a 140 g de masa (Figura 20).

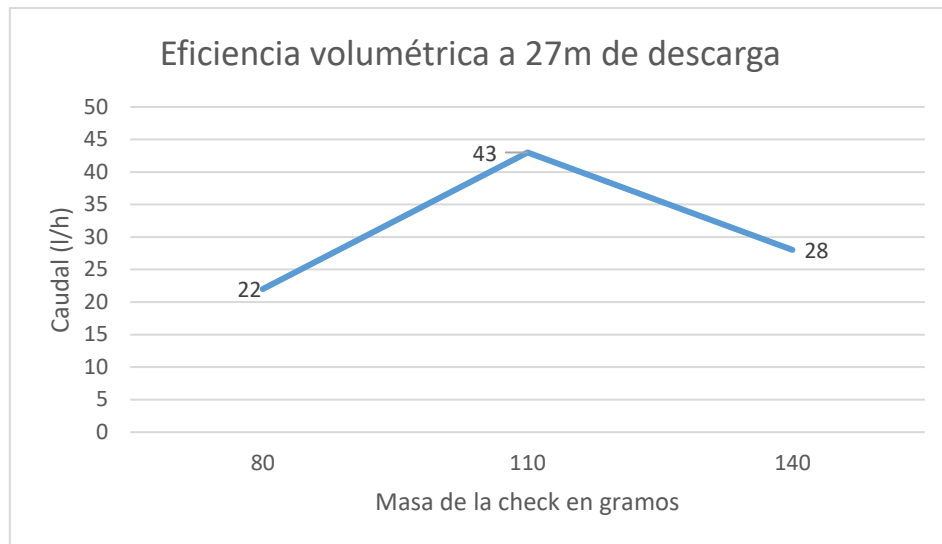


Figura 20: Caudal alcanzado para 27 m de descarga en función a la masa en la válvula check.

Por otra parte, en la Figura 21 se evidencia el comportamiento contrario, y verificar de esta forma que el caudal aumenta considerablemente cuando la masa es mínima, siempre y cuando no obtengamos los datos a una altura en relación (1:5, Altura de carga: altura de descarga).

Se obtiene así, una mayor eficiencia volumétrica para la válvula check más liviana, además se evidencia que se requiere un menor caudal para bombear la mayor cantidad de agua posible, no obstante, disminuye la eficiencia volumétrica si queremos obtener un mayor alcance altimétrico.

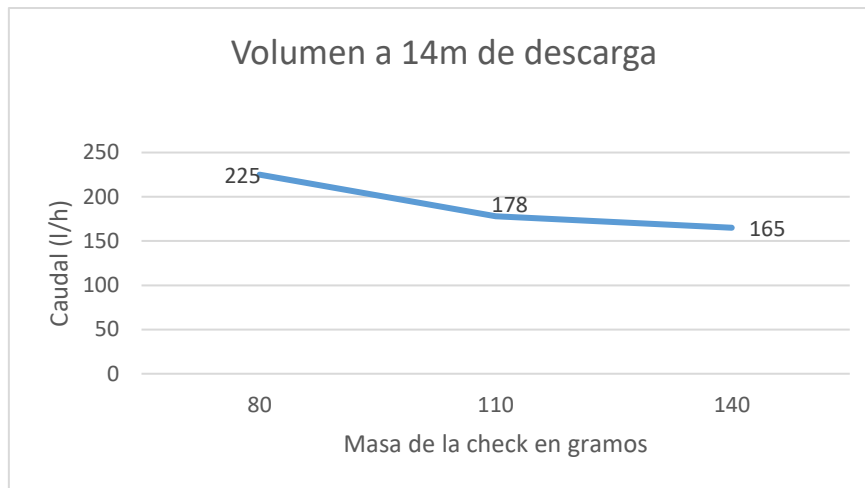


Figura 21: Caudal alcanzado con 14 m de descarga en función a la masa de la válvula check.

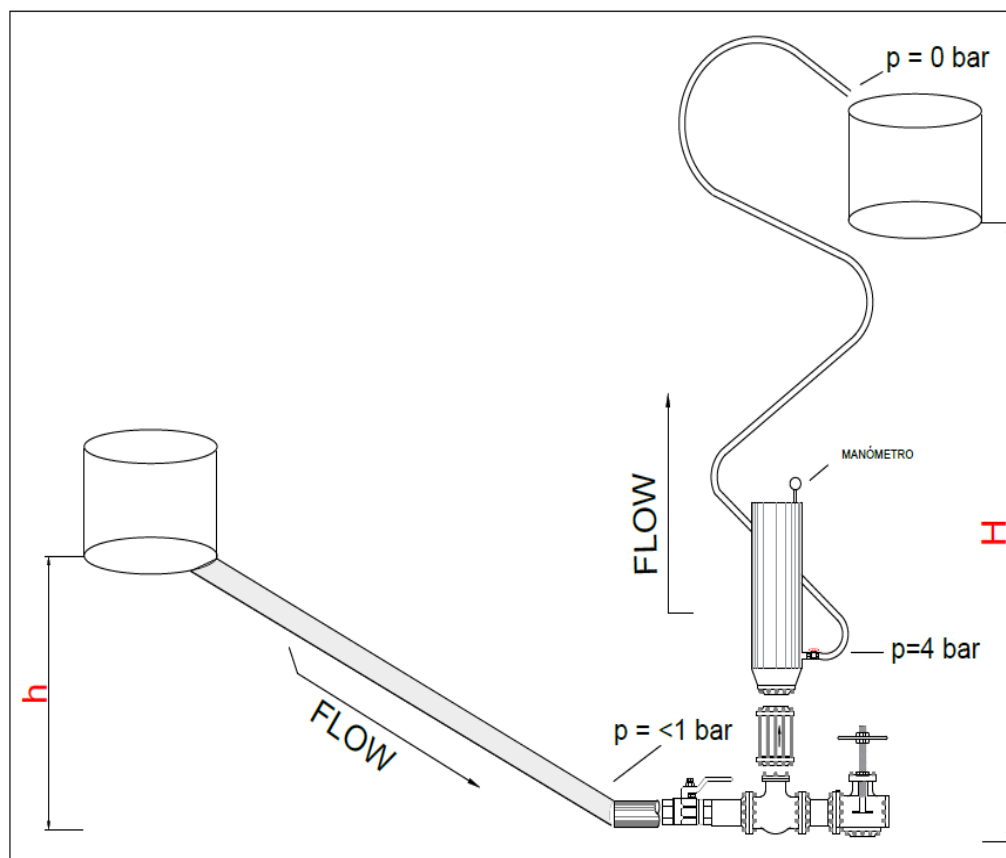


Figura 22: Diagrama de la bomba de ariete y sus presiones máximas alcanzadas en su funcionamiento óptimo.

CAPITULO V

DISCUSIÓN

En cuanto al diseño de la bomba de ariete para nuestro estudio se eligió el mejor material para su implementación al considerar principalmente eficiencia, costos y mantenimiento por lo que el equipo consta de material de hierro en su totalidad, con accesorios de 1" como lo es la Tee, neplos y válvula check.

Por otra parte, la válvula check de impulso diseñada tiene 22 mm de apertura y una carrera de 5 cm regulable, para realizar las pruebas de eficiencia, además de un tornillo que le permite adicionar o quitar pesas para mejorar el alcance altimétrico según lo requiera.

De los diferentes tipos de válvulas Campaña & Guamán (2011) coinciden con que la válvula accionada mediante pesas es altamente recomendable para la implementación de la bomba de ariete, ya que esta permite una operación apropiada de la misma, además que su diseño robusto da a la válvula un ciclo de vida prolongado.

Entre los factores a considerar es indispensable saber que esta válvula será accionada por gravedad mediante la regulación de pesas por lo que es necesario su posicionamiento vertical.

No obstante en cuanto a criterios de valoración que consideran más importantes como: sensibilidad, fiabilidad, fácil regulación, costos, montaje y construcción, Campaña & Guamán (2011) encontraron que la válvula check regulada mediante un resorte es la más adecuada para el sistema, lo cual difiere de nuestro estudio.

En cuanto a la selección del diámetro óptimo de la válvula de impulso o check modificada, se utilizó 3 valores distintos de apertura del diámetro: 20, 26 y 32 mm.

Para la variable eficiencia volumétrica, la apertura con 22 mm es la que mayor eficiencia presentó en comparación con 15 mm y 40 mm. Con 15 mm no había el espacio para liberar la presión del equipo, mientras que con la apertura de 40 mm el equipo no cerraba la válvula en el tiempo adecuado, lo cual difiere con los resultados obtenidos por Quiroga, Sierra & Biancha (2013) que en su estudio encontraron como apertura óptima de la válvula de impulso en 40 mm.

Para la evaluación del volumen de la cámara de aire y su influencia en el alcance altimétrico, gracias a los resultados obtenidos en nuestro estudio se puede apreciar la mayor eficiencia de funcionamiento, reflejada en un volumen de la cámara de aire igual a 3 L con 35% de eficiencia, mientras que con 6 L la eficiencia es igual a 26%, este resultado para una altura de carga de 3 m y una altura de descarga de 9 m, verificando de esta forma que el mayor alcance altimétrico con un volumen igual a 3 L, para bombas de diámetro igual a una pulgada se da con una cámara de aire igual a 3 L.

Rivadeneira & Silva (2013) en su estudio determinaron que la cámara que mejor se adaptaba para una bomba de ariete de dos pulgadas poseía un volumen de 1.3 L, lo cual difiere de los resultados obtenidos en nuestro estudio, cabe recalcar que esto es proporcional a la altura máxima de entrega la cual en este estudio fue de 12 m con una altura de alimentación de 2.2 m.

Para encontrar el tamaño de la carrera óptimo en la válvula check que determina el alcance altimétrico y eficiencia volumétrica, se ejecutó a 3 y 4 m de altura de alimentación y se analizaron 3 carreras distintas a 20, 26 y 32 mm. La carrera de 26 mm presentó mejores resultados, al efectuar 63 golpes por minuto promedio para las 3 alturas de descarga presentando eficiencias volumétricas de 34% y 27% con alturas de carga de 3 y 4 m respectivamente; lo cual concuerda con Arapa (2016) quien recomienda que la



carrera de la válvula debe tener 1,45 cm de longitud por cada litro de agua a ser entregado, a pesar de que esto dependerá del caudal bobeado y de la frecuencia de los golpes

Campaña & Guamán (2011) utilizan una fuerza de 170 N, lo cual difiere de nuestros resultados, mientras que, Chero (2018) trabaja con una masa de 900g lo cual se acerca mucho a nuestros resultados de la mejor eficiencia al utilizar una pesa de 110 g, al considerar que su estudio se realizó para una bomba de 2 pulgadas y nuestro estudio se basa en un ariete de 1 pulgada, además se debe considerar que dependiendo del método de construcción de la check de impulsión en el ariete será accionada por resorte o por una masa en la check, por lo cual cuando hablamos de fuerza aplicada se refiere a una check tipo resorte mientras que cuando se habla de masa se habla de una check tipo canastilla modificada que se acciona mediante la masa de un cuerpo.

Se evidencia que se requiere un menor caudal para bombear la mayor cantidad de agua posible, no obstante, disminuye el alcance altimétrico si queremos obtener un mayor caudal. Lo cual concuerda con los resultados obtenidos por Ramírez & Gonzáles (2019) que entre menor altura de salida habrá mayor caudal de entrega y un rendimiento también mayor, pero a su vez el diseño será menos eficaz que a su vez coincide con Quiroga et al. (2013), los cuales concluyen que para un valor de la constante del resorte menor el valor la eficiencia global es mayor.

El control de alcance altimétrico máximo alcanzado solo se obtuvo cuando se consiguió la sintonización precisa de entre la carrera y la masa de la válvula (Campaña & Guamán, 2011).

Cuando hay baja disponibilidad de agua se debe reducir al máximo la masa de la check y la carrera de la válvula, mientras que cuando la disponibilidad de agua es alta, la



carrera se puede ampliar y la cantidad de masa será elegida según el punto óptimo de la curva de entrega (Quiroga et al., 2013)

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

Se determinó que en cuanto al diseño de la bomba de ariete es importante considerar el material de cada uno de los accesorios que se utilizan en su implementación ya que estos estarán sujetos a presiones constantes por lo que requieren de una alta resistencia para soportar la momentánea dilatación y contracción de los accesorios al efectuarse el fenómeno golpe de ariete.

Se encontró que el diámetro óptimo de la válvula de impulso en nuestro caso fue de 22 mm pero esto dependerá del diseño de la check ya que este obedece al diámetro del tornillo regulable el cual tiene que ser capaz de soportar las diferentes masas que actúan sobre el mismo.

Según los resultados obtenidos se pudo determinar que la cámara de aire debe ser construida con un volumen capaz de soportar las presiones máximas alcanzadas en la bomba de ariete, mismas que dependen de la altura y caudal máximo que se espera alcanzar, además que esta debe ser hermética para el almacenamiento y liberación de las presiones en el sistema.

Se concluye que la fuerza o masa necesaria de la válvula de impulso de tipo canastilla modificada, para la operación óptima del ariete hidráulico universal será siempre variable y un accesorio que siempre deberá estar sujeto a regulaciones. Para nuestro estudio se utilizó una masa de 80, 110 y 140 g, lo cual dependerá de la altura de suministro de agua, la altura a la cual se quiera impulsar el líquido y el caudal que se espera obtener.

Además, se pudo identificar los mejores parámetros para obtener un alcance altimétrico óptimo en cuanto al ángulo de la tubería de alimentación, la cual si bien en la teoría nos dice que el rendimiento óptimo es de 10° hasta 45° , nuestro estudio nos permitió conocer que se obtendrá una mejor eficiencia cuando el ángulo de la tubería no excede los 35° de inclinación, dándonos mejores resultados un ángulo de 26° .

En cuanto al diseño y construcción de la check esta puede darse de diferentes formas o variantes, pero siempre se debe construir con una fuerza o masa y carrera regulable.

Para un buen suministro de alimentación de agua es rentable la construcción de un ariete hidráulico siempre y cuando se cuente con un buen caudal, una altura de 2 m o superior en la columna de agua y que sea siempre constante para que los golpes de martillo producidos en la check estén comprendidos continuamente entre los 50 y 70 golpes por minuto, además se ha verificado que la masa y carrera de la check condicionan directamente el número de golpes por minuto, puesto que aumenta la masa de la check y disminuye el número de golpes. Sin embargo, si reducimos carrera con la misma masa, aumenta el número de golpes y viceversa pero solo hasta un punto donde al adicionar demasiada masa, la check se mantiene abierta y no realiza el golpe de ariete.

El mayor alcance altimétrico se presentó cuando se utilizó un ariete con una check con una masa de 80 g si queremos obtener el mayor caudal posible, pero no a una altura mayor a 14 m, mientras que si queremos elevar a más de 20 metros, presenta el mayor alcance altimétrico cuando la válvula check tiene una masa de 110 g, estas para una carrera de 26 mm, con inclinación de 26° .



RECOMENDACIONES

Recomendamos en primera instancia hacer un estudio en función al espacio físico donde se desea instalar la bomba, y se parte con el caudal de suministro, que debe siempre ser constante, abundante y tener una carga mayor a 2 m entre el suministro de agua y la bomba.

Si se cuenta con la disponibilidad de agua y de altura suficiente se recomienda siempre implementar un ariete de hierro donde el tamaño del equipo corresponda al caudal de suministro y a la altura máxima que se espera alcanzar.

Para la construcción de la cámara de aire se debe cuantificar mediante un manómetro la presión máxima que alcanza el ariete en cada pulsación de la check, la cual es una de las partes más importantes de la bomba y su diseño siempre debe estar sujeto a regulaciones y de un material que resista desgastes y pueda ser reemplazado fácilmente cuando lo requiera.

Para garantizar el funcionamiento constante del ariete, se recomienda regular a 60 golpes por minuto promedio, mediante la adición y reducción de masa en la válvula de impulso hasta alcanzar este número de golpes con una carrera de 26 mm.

Instalar el ariete en una superficie sólida, y la tubería sujetarla a postes de concreto, puesto que, por la vibración de la bomba, tiende a aflojar los accesorios, estos llegan a un punto donde se rompen por completo al paso del tiempo.

La cámara de aire actuará como el pulmón de la bomba por lo que es indispensable su construcción ya que esta mantendrá la presión en la bomba la misma que será liberada en cada golpe de la check para la elevación del fluido por la tubería de descarga, esta debe ser siempre de un volumen mayor al de la tubería de descarga.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arapa, Q. (2016). Evaluación Del Rendimiento Del Ariete Hidráulico Bah-1.1/2 Variando La Longitud De La Tubería De Alimentación Y Condiciones De Operación De La Válvula De Impulso. *Anales Científicos*, 77(2), 155.
<https://doi.org/10.21704/ac.v77i2.485>
- Asvapoositkul, W., Juruta, J., Tabtimhin, N., & Limpongsa, Y. (2019). Determination of Hydraulic Ram Pump Performance: Experimental Results. *Advances in Civil Engineering*, 11.
<https://doi.org/10.1155/2019/9702183>
- Bello, M., & Pino, M. (2000). Medición de Presion y caudal. *Inia*, p. 21.
<https://doi.org/ISSN 0717-4829>
- Camacho, D., & Meza, J. (2017). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE ARIETE HIDRÁULICO MULTIPULSOR A ESCALA DE LABORATORIO. *ABA Journal*, 102(4), 24–25.
<https://doi.org/10.1002/ejsp.2570>
- Campaña, C., & Guamán, D. (2011). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO. Obtenido de:
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4020>
- Chero, A. (2018). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE ARIETE HIDRÁULICO*.
- De La Cruz, B., & Ramirez, L. (2016). Ariete Hidraulico. *Fundación Tierra*. Obtenido de:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5989/1/UPS->



KT00770.pdf

FAO. (2002). EL AGUA Y LA AGRICULTURA. Obtenido de:

<http://www.fao.org/worldfoodsummit/sideevents/papers/y6899s.htm>

Fatahi, R., Lashkar, B., & Keramat, A. (2019). On the measurement of ram-pump power by changing in water hammer pressure wave energy. *Ain Shams Engineering Journal*, 10(4), 681–693.

<https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.05.001>

Galarza, R. (2009). *Estudio de factores hidráulicos en una bomba de Ariete y su efecto sobre la eficiencia*. 1–130. Obtenido de:

[https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3714/1/Tesis I. M. 157 - Galarza Chacón Raúl Fernando.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3714/1/Tesis%20I.%20M.%20157%20-%20Galarza%20Chac%C3%B3n%20Ra%C3%9F%20Fernando.pdf)

Gálvez, A., & Mosquera, J. (2009). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ARIETE HIDRÁULICO DE AGUAS BRAVAS COMO UN SISTEMA ECONÓMICO Y EFICIENTE PARA EL BOMBEO DE AGUA*. Obtenido de:

[https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/16907/1/Gálvez Álvarez%2C Alex Fernando%2C Mosquera Romero%2C Joel Guillermo.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/16907/1/G%C3%A1lvez%20%C3%81lvarez%2C%20Alex%20Fernando%2C%20Mosquera%20Romero%2C%20Joel%20Guillermo.pdf)

George, S., Nambiar, P., Taskar, V., Wadkar, C., & Zaveri, D. (2013).

OPTIMISING HYDRAM PERFORMANCE BY USING VARIABLE STROKE WASTE VALVE. *ResearchGate*. Obtenido de:

299409853_OPTIMISING_HYDRAM_PERFORMANCE_BY_USING_VARIABLE_STROKE_WASTE_VALVE

Harith, M., Bakar, R., Ramasamy, D., & Quanjin, M. (2017). A significant effect



on flow analysis & simulation study of improve design hydraulic pump.

IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 257(1).

<https://doi.org/10.1088/1757-899X/257/1/012076>

Hussin, N., Gamil, S., Amin, N., Safar, M., Majid, M., Kazim, M., & Nasir, N.

(2017). Design and analysis of hydraulic ram water pumping system.

Journal of Physics: Conference Series, 908(1).

<https://doi.org/10.1088/1742-6596/908/1/012052>

Januddi, F., Huzni, M., Effendy, M., Bakri, A., Mohammad, Z., & Ismail, Z.

(2018). Development and Testing of Hydraulic Ram Pump (Hydram):

Experiments and Simulations. *IOP Conference Series: Materials Science*

and Engineering, 440(1). <https://doi.org/10.1088/1757->

[899X/440/1/012032](https://doi.org/10.1088/1757-899X/440/1/012032)

Jara, N., Campoverde, E., & Pizarro, D. (2011). Emplazamiento, implementación,

pruebas de funcionamiento y propuestas de mejora de los sistemas de

bombeo mediante rueda hidráulica y ariete multipulsor para el

abastecimiento de agua para irrigación en la localidad del campus Juan

Lunardi ¿ Yumacay ¿ Pau. *Ingenius*, (6).

<https://doi.org/10.17163/ings.n6.2011.06>

Jaramillo, J., & Cardenas, H. (2013). *Número de Reynolds*. 53(9), 1689–1699.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Martín, J., Salcedo, R., & Font, R. (2011). *Mécanica de fluidos* (Tercera).

Obtenido de:

[https://www.yumpu.com/es/document/read/11921606/mecanica-de-](https://www.yumpu.com/es/document/read/11921606/mecanica-de-fluidos-tema2-impulsion-de-fluidos-rua-)

[fluidos-tema2-impulsion-de-fluidos-rua-](https://www.yumpu.com/es/document/read/11921606/mecanica-de-fluidos-tema2-impulsion-de-fluidos-rua-)



Otí, P. (2017). *Ariete Hidráulico Para Riego. Diseño, Construcción Y Montaje*. 1–

103. Obtenido de:

<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/11460/395118.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Peralta, H. (2015). *Aplicación del golpe de Ariete hidraulico para el*

aprovechamiento del agua de manantial en Quequerana Moho. 1–107.

Obtenido de:

299409853_OPTIMISING_HYDRAM_PERFORMANCE_BY_USING_VARIABLE_STROKE_WASTE_VALVE

Quiroga, J., Sierra, C., & Biancha, G. (2013). Análisis del ariete hidráulico para diferentes configuraciones. *Revista UIS Ingenierías*, 12(2), 29–34.

Obtenido de:

<http://web.a.ebscohost.com.ucuenca.idm.oclc.org/ehost/detail/detail?vid=3&sid=cf38926c-03df-49f7-901b-4459afdac1a2%40sdc-v-sessmgr01&bdata=JmxhbmMc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#AN=97885652&db=a9h>

Ramírez, B., & Gonzáles, J. (2019). CONSTRUCCION E INSTALACION DE UNA BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO PARA ALIMENTAR EL SISTEMA DE RIEGO EN UNAREA DEFINIDA PARA UNA FINCA AGRICOLA. *Time*, 6(3), 198.

Rengifo, S., & Gallego, J. (2016). *Diseño y construcción de un sistema ariete*

hidraulico para el aprovechamiento de aguas lluvias. 75. Obtenido de:

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6717/62125R412.pdf?sequence=1>



- Rivadeneira, S., & Silva, L. (2013). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO CON EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA SU DIMENSIONAMIENTO*. Obtenido de:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5989/1/UPS-KT00770.pdf>
- Romero, J., & Gutiérrez, L. (2014). El ariete hidráulico. Proyecto e instalación en Ntongui (Angola). *Diseño y Tecnología Para El Desarrollo [Design and Technology for Development]*, (1), 224–237. Obtenido de:
<http://polired.upm.es/index.php/distecd/article/view/2512>
- Rubiano, S., & Cuervo, J. (2017). *Diseño y montaje de un sistema de bombeo mediante ariete hidraulico*. 1–88. Obtenido de:
<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5371/1/RubianoSuárezSergioAlejandroCuervoContrerasJohnSebastian2017.pdf>
- Sarip, S., Mohd, A., Hong, T., Mohammad, R., Yakub, M., Suhot, M., & Kaidi, H. M. (2019). Design, analysis and fabrication of UTM hydraulic ram pump for water supply in remote areas. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 17(1), 213–221.
<https://doi.org/10.11591/ijeecs.v17.i1.pp213-221>
- Suarda, M., Sucipta, M., & Dwijana, I. G. K. (2019). Investigation on flow pattern in a hydraulic ram pump at various design and setting of its waste valve. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 539(1).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/539/1/012008>
- Suarda, Made, Ghurri, A., Sucipta, M., & Kusuma, I. G. B. W. (2018). Investigation on characterization of waste valve to optimize the hydraulic



ram pump performance. *AIP Conference Proceedings*, 1984(July).

<https://doi.org/10.1063/1.5046607>

Trabelsi, M., & Triki, A. (2019). Dual control technique for mitigating water-hammer phenomenon in pressurized steel-piping systems. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 172(April), 397–413.

<https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2019.04.011>

Zuñiga, S. (n.d.). El ariete hidráulico universal. Obtenido de:

<https://core.ac.uk/download/pdf/67719744.pdf>

ANEXOS

MEMORIA FOTOGRÁFICA



Anexo: 1 Cámara de aire



Anexo 1: Selección del ángulo de inclinación en la tubería de descarga



Anexo 2: Instalación de la tubería de descarga



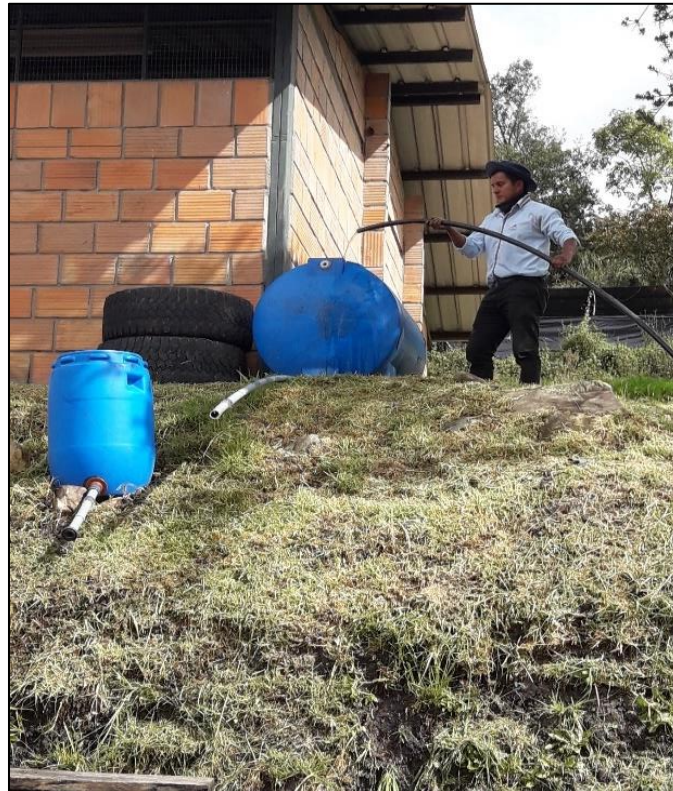
Anexo 3: Instalación de la tubería de descarga



Anexo 4: Elevación de la tubería de descarga



Anexo 5: Ariete hidráulico en funcionamiento



Anexo 6: Prueba a una altura de 3 y 4 metros.



Anexo 7: Prueba a una altura de 2 metros.



Anexo 8: Altura máxima alcanzada



Anexo 9: Caudal máximo