

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE ARIETE QUE SERA UBICADA EN EL PATIO CENTRAL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA"

AUTOR: Andrés Mateo Flores Gordillo

TUTOR: Ing. Luis Eduardo Escobar Luna, Mg.

AMBATO – ECUADOR

Febrero - 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **''DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE ARIETE QUE SERA UBICADA EN EL PATIO CENTRAL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA''**, elaborado por Andrés Mateo Flores Gordillo, portador de la cédula de ciudadanía C.I.1805423819, estudiante de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- El presente Proyecto Técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2025

Ing. Luis Eduardo Escobar Luna, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Andrés Mateo Flores Gordillo**, con C.I. 1805423819 declaro que todos las actividades y contenidos expuestos en el desarrollo del presente proyecto técnico con el tema: **''DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE ARIETE QUE SERA UBICADA EN EL PATIO CENTRAL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA''**, así como también los análisis, proceso, tablas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2025

FLORES.A

Andrés Mateo Flores Gordillo

C.I. 1805423819

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, febrero 2025



Andrés Mateo Flores Gordillo

C.I. 1805423819

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por la estudiante de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE ARIETE QUE SERA UBICADA EN EL PATIO CENTRAL DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA''**

Ambato, febrero 2025

Para constancia firman:

Ing. Alex Santiago Mayorga Pardo, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

Ing. José Luis Yunapanta Velastegui, MSc.
MIEMBRO CALIFICADOR

Escaneado con CamScanner

DEDICATORIA

Dedico este logro, con todo mi amor y gratitud, a mis padres, quienes han sido mi mayor fortaleza y guía a lo largo de mi vida. Su amor incondicional, sacrificios y apoyo constante me han permitido alcanzar metas que alguna vez parecían imposibles. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo, la perseverancia y la humildad, y por estar siempre presentes en cada paso de este camino. Este logro es tan suyo como mío, porque sin ustedes, nada de esto habría sido posible.

También dedico este esfuerzo a todas las personas que, de una u otra manera, han dejado huella en mi vida. A mi familia, que con su cariño y confianza siempre ha creído en mí, y a quienes me han inspirado y motivado a seguir adelante. Este triunfo es un reflejo de todo el amor y apoyo que he recibido de quienes siempre han deseado lo mejor para mí.

Andrés Flores Gordillo

AGRADECIMIENTO

Quiero comenzar expresando mi más sincero agradecimiento a mis padres, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida. Su amor incondicional, su apoyo constante y sus enseñanzas han sido la base sobre la cual he construido cada uno de mis logros. Gracias por estar siempre presentes, guiándome con su sabiduría y dándome la fortaleza para superar los desafíos. A mi hermano y hermana, gracias por ser mis compañeros de vida, mis confidentes. Ustedes son mi motivación y alegría que me impulsa a dar siempre lo mejor de mí.

A mi Andrea, la mejor compañera que puedo tener, quiero agradecerle profundamente por su amor y apoyo inquebrantable. Has sido mi refugio en los momentos difíciles y mi mayor inspiración para seguir adelante. Tu confianza en mí, tus palabras de aliento y tu presencia constante me han ayudado a superar cada obstáculo con determinación y esperanza. Gracias por caminar a mi lado y por recordarme siempre que juntos podemos alcanzar cualquier meta.

También quiero agradecer a los ingenieros de la carrera, quienes, a lo largo de este recorrido, compartieron su conocimiento y experiencias, dejando en mí valiosas lecciones que llevaré conmigo siempre. Principalmente, quiero expresar mi gratitud a mi tutor Ing. Luis Escobar por su guía, paciencia y experiencia han sido fundamentales para culminar esta etapa tan importante de mi vida. A cada uno de ustedes, gracias por ser parte de este camino y por contribuir de manera única y valiosa a mi desarrollo personal y profesional.

Andrés Flores Gordillo

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR ii

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii

DERECHOS DE AUTOR iv

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTO vii

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS viii

ÍNDICE DE TABLAS xi

ÍNDICE DE FIGURAS xii

RESUMEN EJECUTIVO xiii

ABSTRACT xiv

CAPÍTULO I 1

MARCO TEÓRICO 1

1.1 Antecedentes Investigativos 1

1.2 Reseña Histórica 1

1.2.1 La Bomba de Ariete en la Actualidad 2

1.2.2 Bomba de ariete 2

1.3 Golpe de Ariete 3

1. 3. 1 Principios básicos del Golpe de Ariete 3

1.3.2 Caracterización del fenómeno golpe de ariete 4

1.3.3 Tipos de golpe de ariete 10

1.4 Aplicaciones de la Bomba de ariete 11

1.5 Ventajas y Desventajas de una bomba de ariete. 12

1.6 Funcionamiento de la bomba de ariete 12

1.6.1 Partes para la instalación de una Bomba de ariete 14

1.7 Parámetros de diseño de la bomba de ariete 16

1.8 Objetivos 24

CAPÍTULO II 25

METODOLOGÍA 25

2.1 Materiales 25

2.1.1 Descripción de materiales y equipos 26

2.1.2 Válvulas 29

2.3 Conexiones y accesorios 35

3. Métodos 37

4.. Lista de Materiales 49

CAPÍTULO III 50

RESULTADOS Y DISCUSIÓN 50

3. Diseño de la bomba de ariete para el funcionamiento de una fuente de agua tipo cascada para jardín 50

3.2.1. Cálculo de la longitud de la manguera de alimentación 56

3.2.2. Cálculo del diámetro de la manguera de alimentación 56

3.2.3. Cálculo del diámetro de la manguera de descarga 57

3.2.4. Cálculo de velocidad en lo largo de la manguera 58

3.2.5. Cálculos de las válvulas 62

3.2.6. Cálculo de caudal de un ciclo 64

3.2.7. Cálculo de la energía cinética 65

3.2.8. Cálculo de sobrepresión 66

3.2.9. Cálculo y dimensionamiento del tanque de presión 67

3.3.2. Cálculo de volumen de aire al inicio del proceso 69

3.3.3. Cálculo de volumen de aire al final del proceso 69

5. Manual de mantenimiento 71

CAPÍTULO IV 75

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 75

V. BIBLIOGRAFÍA 78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de golpe de ariete [10]..... 5

Tabla 2. Ventajas y desventajas de una bomba de ariete.....12

Tabla 3. Propiedades del acero inoxidable.....27

Tabla 4. Propiedades mecánicas del acero inoxidable. 29

Tabla 5. Especificaciones de válvula antirretorno de 1 pulgada tipo T [29].....31

Tabla 6. Especificaciones de válvula de golpe [29]. 34

Tabla 7. Especificaciones de codos y curvas. 35

Tabla 8. Especificaciones de tés y derivaciones. 36

Tabla 9. Selección de alternativas.....45

Tabla 10. Listado de materiales. 49

Tabla 11. Parámetros de diseño [21].....55

Tabla 12. Cálculo de la longitud de la tubería de descarga con diferentes tipos de grado de inclinación.....56

Tabla 13. Cálculo del diámetro de la tubería de alimentación, con tres diferentes grados de inclinación.....57

Tabla 14 Frecuencia de mantenimiento.....71

Tabla 15. Resolución de problemas comunes. 74

Tabla 16. Registro de mantenimiento.....74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Onda de presión en el cierre de una válvula. 3

Figura 2. Funcionamiento de una bomba de ariete. 14

Figura 3. Válvula de golpe.....15

Figura 4. Cámara de aire.....15

Figura 5. Fórmula de caudal desechado. 23

Figura 6. Acero inoxidable. 40

Figura 7. Acero galvanizado 42

Figura 8. Tubos de PVC. 43

Figura 9. Modelo 1 de la fuente de agua tipo cascada 50

Figura 10. Modelo 2 de la fuente de agua tipo cascada 51

Figura 11. Dimensionamiento de la fuente de agua tipo cascada para jardín 51

Figura 12. Bomba Sumergible 54

Figura 13. Procedimiento de construcción bomba de ariete 1. 70

Figura 14. Procedimiento de construcción de bomba de ariete 2. 71

Figura 15.Llave inglesa. 72

Figura 16. Destornillador.....72

Figura 17. Teflón 72

RESUMEN EJECUTIVO

El propósito del proyecto es diseñar y construir una bomba de ariete mono impulsora, un dispositivo hidráulico que aprovecha la energía de un flujo de agua para elevar una porción de este sin necesidad de energía eléctrica. Este tipo de bomba es ideal para sistemas de riego, suministro de agua y actividades educativas que enseñan principios de hidráulica e ingeniería. La bomba de ariete se instalará en el patio central de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, lo que permitirá a estudiantes y profesores interactuar directamente con el aparato, favoreciendo la enseñanza práctica y la experimentación en el ámbito académico.

El diseño comprende los principios de la mecánica de fluidos y se fabricó la bomba de ariete utilizando materiales accesibles como acero inoxidable o PVC para sus componentes principales (tubos, válvulas, cámara de compresión, etc.). Se consideró aspectos clave del sistema hidráulico, como el flujo de agua disponible y las fluctuaciones de presión y la altura a la que debe estar el tanque de alimentación, para optimizar su rendimiento, se logró concluir que el caudal de salida que es de 5.71 litros por minuto logrando así un flujo continuo para la fuente de agua de tipo cascada en beneficio del aprendizaje de los estudiantes de la Carrera de Mecánica.

Como resultado, se prestó especial atención a la funcionalidad educativa del proyecto, asegurando que sirva como herramienta de aprendizaje para la comprensión de conceptos hidráulicos y mecánicos, fomentando la curiosidad y el desarrollo académico de los futuros ingenieros.

Palabras Claves: Acero inoxidable, Bomba de ariete, Mono impulsora, Cámara de compresión, Mecánica de fluidos.

ABSTRACT

The purpose of the project is to design and build a single-impeller ram pump, a hydraulic device that harnesses the energy of a flow of water to lift a portion of it without the need for electrical power. This type of pump is ideal for irrigation systems, water supply and educational activities that teach principles of hydraulics and engineering. The ram pump will be installed in the central courtyard of the Faculty of Civil and Mechanical Engineering, which will allow students and professors to interact directly with the device, favoring practical teaching and experimentation in the academic environment.

The design comprises the principles of fluid mechanics and the ram pump was manufactured using accessible materials such as stainless steel or PVC for its main components (tubes, valves, compression chamber, etc.). Key aspects of the hydraulic system were considered, such as the available water flow and pressure fluctuations and the height at which the feed tank should be, in order to optimize its performance, it was possible to conclude that the output flow rate is 5.71 liters per minute, thus achieving a continuous flow for the cascade type water source for the benefit of the learning of the students of the Mechanics Career.

As a result, special attention was paid to the educational functionality of the project, ensuring that it serves as a learning tool for the understanding of hydraulic and mechanical concepts, fostering curiosity and academic development of future engineers.

Keywords: Stainless steel, Ram pump, Mono impeller, Compression chamber, Fluid mechanics

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

Es fundamental comprender los principios esenciales de funcionamiento de una bomba de impulsos, incluyendo su capacidad aprovechando el fenómeno del golpe de ariete con el fin de suministrar el agua a un nivel superior al de su origen. La investigación de la historia y evolución de este dispositivo, desde sus inicios hasta las últimas innovaciones, ha proporcionado valiosa información sobre su aplicabilidad en diversos contextos [1]. Como consecuencia, se han emprendido investigaciones en todo el mundo con el propósito de tratar este tema. Según [2] investigar las normativas y regulaciones relacionadas con la instalación de sistemas de bombeo considerando aspectos ambientales y de seguridad influyen en el diseño y la construcción de la bomba de ariete. Como Arapa [3] basa su trabajo en la evaluación del rendimiento, que hace un uso eficiente de los recursos hídricos locales al aprovechar la energía cinética del flujo de agua existente para elevarla a alturas superiores, prescindiendo de las bombas convencionales que necesitan energía externa. Con este sistema de bombeo independiente de fuentes externas de energía, Que según [4] adquiere una mayor autonomía y resistencia frente a cortes de suministro eléctrico u otros inconvenientes técnicos, lo que mejora la seguridad y la fiabilidad del abastecimiento de agua en la zona. Además, al funcionar de manera pasiva, las bombas de ariete no emiten gases de efecto invernadero ni generan contaminación acústica, hace que sea responsable con el medio ambiente. La adopción de esta tecnología puede contribuir a reducir el impacto ambiental asociado con el suministro de agua y promover prácticas más sostenibles en la gestión de recursos hídricos.

1.2 Reseña Histórica

Esta bomba es un excepcional equipo hidráulico que tiene la capacidad de elevar agua sin la necesidad de una fuente de energía externa, los inicios de este famoso invento se remontan a finales del siglo XVIII. La bomba de ariete se convirtió en una solución sostenible y económica para el bombeo de agua en una variedad de aplicaciones porque su funcionamiento se basa en el uso del golpe de ariete [5].

La bomba de ariete se remonta a 1772, año en que el relojero inglés John Whitehurst creó un dispositivo precursor conocido como "motor de pulsación". Aunque poco ambiguo, este aparato ya utilizaba el mecanismo del golpe de ariete para elevar cantidades de agua [6].

Fue Joseph Michel Montgolfier, quien es más conocido por sus investigaciones con globos aerostáticos, patentó en 1796 un diseño de bomba de ariete más eficiente y práctico. Este invento ayudó a Montgolfier a cubrir la necesidad hídrica a su fábrica de papel ubicada en Francia. Con las modificaciones de estos dos investigadores es que la bomba de ariete fue mejorada y adaptada en los siglos XIX y XX, sin embargo, su principio de funcionamiento fundamental permaneció intacto [5].

1.2.1 La Bomba de Ariete en la Actualidad

En la última época contemporánea, ha surgido un auge del interés en las bombas de ariete debido a la mayor atención hacia prácticas sostenibles. y la exploración de diferentes fuentes de energía convencionales. Los avances en materiales y tecnologías de fabricación han permitido mejorar el rendimiento y la eficiencia de estos dispositivos.

Además, el desarrollo de modelos matemáticos y simulaciones numéricas ha facilitado el estudio y la optimización de las bombas de ariete. Esto ha permitido a los investigadores comprender mejor los fenómenos físicos involucrados y diseñar bombas de ariete más eficientes y adaptadas a diferentes condiciones de trabajo.

1.2.2 Bomba de ariete

Este dispositivo es una bomba hidráulica de impulsos, la cual está diseñada para suministrar agua desde un nivel inferior hasta lo más alto solamente utilizando la energía cinética del flujo de agua en movimiento. Este tipo de bombas de ariete no necesitan fuentes externas de energía como electricidad o combustibles, lo que la hace muy útil para lugares rurales o en los cuales donde el acceso a la energía es limitado [7].

1.3 Golpe de Ariete

1. 3. 1 Principios básicos del Golpe de Ariete

El golpe de ariete es un evento o suceso hidráulico transitorio que se explica mediante la teoría de ondas elásticas. Al cerrarse bruscamente una válvula o producirse un cambio repentino en el flujo, se generan perturbaciones que avanzan por ondas de presión que se propagan a lo largo de la tubería. Estas ondas, lejos de ser una simple vibración, implican variaciones significativas de presión que pueden causar daños estructurales si no se controlan adecuadamente. Este fenómeno, que ocurre tanto en sistemas de bombeo como en aquellos alimentados por gravedad, subraya la importancia de considerar la elasticidad del fluido y de las paredes de la tubería en el diseño de sistemas hidráulicos [8].

La energía de estas perturbaciones es utilizada para elevar una cantidad mínima de agua a una extensión elevada considerable, convirtiendo así la energía potencial de una masa de agua mayor a una cota inferior en energía de presión. Este principio de funcionamiento lo convierte en una bomba sencilla y eficiente, ideal para aplicaciones donde no se dispone de una fuente de energía externa [9].

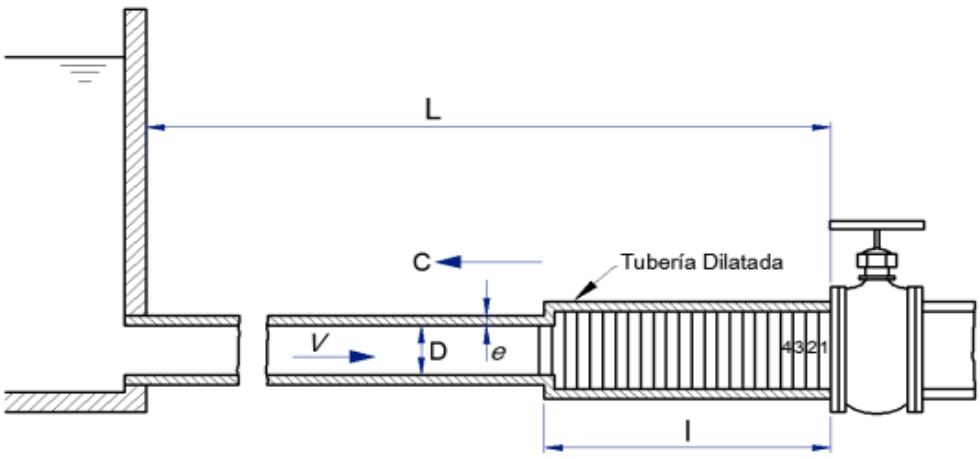


Figura 1. Onda de presión en el cierre de una válvula.

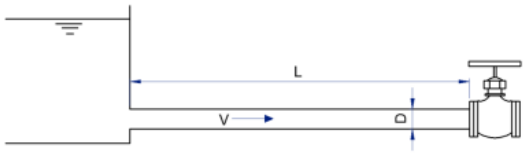
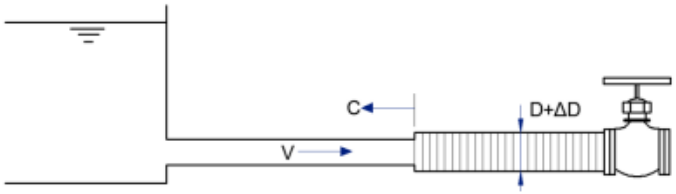
En la Figura 1. podemos observar que se representa la longitud de una tubería (L), espesor (e) y un diámetro interior (D) por la que se aprecia el paso del agua proveniente de un embalse y que se termina en el extremo derecho de la válvula. Si ésta se cierra

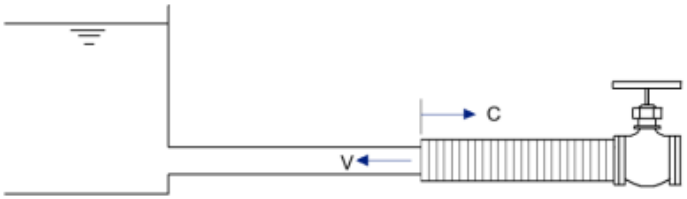
rápidamente, en virtud del principio de conservación de la energía, al disminuir la energía cinética, por lo tanto, se va transformando en un trabajo de comprensión del fluido que va llenando la tubería y en el trabajo necesario para dilatar esta última: así que se ha producido una sobrepresión o también conocido como golpe de ariete [10].

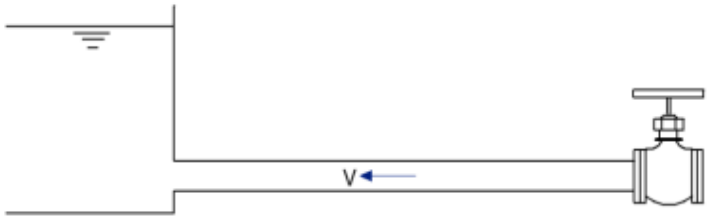
1.3.2 Caracterización del fenómeno golpe de ariete

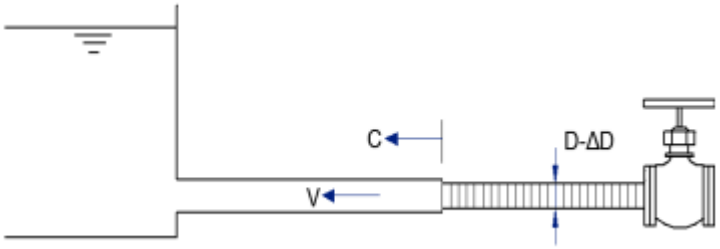
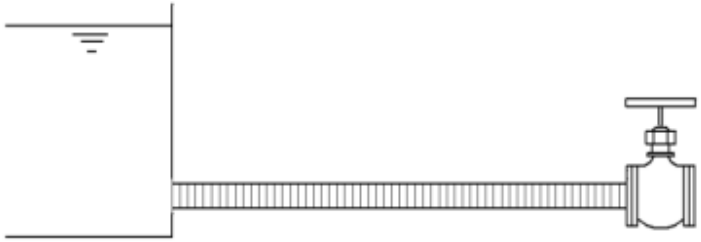
El estudio del golpe de ariete se basa en el análisis de un corte abrupto en la línea de flujo de la válvula, a pesar de que en la realidad esto no ocurre. Al considerar este escenario idealizado, observamos cómo la perturbación generada en la válvula genera una propagación a lo largo de la tubería en forma de onda elástica. La velocidad a la que se propaga esta onda, conocida como celeridad, depende de las propiedades del fluido y de la tubería. El tiempo de recorrido de la onda entre la válvula y el embalse, denominado tiempo de tránsito, es un parámetro fundamental para determinar la magnitud y frecuencia de las oscilaciones de presión [9].

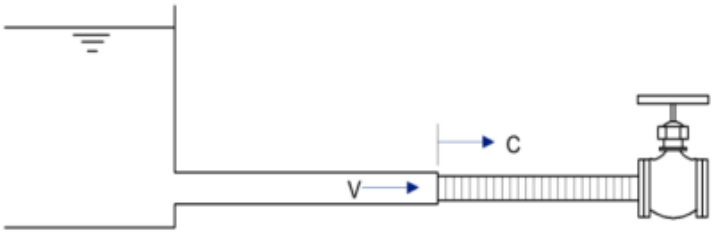
Tabla 1. Descripción de golpe de ariete [10].

	**1.** No existe perturbación. Hay régimen permanente. Se puede observar que el líquido en la tubería se desplaza con una velocidad v del embalse a la válvula. Diámetro de la tubería normal [10]
	**2.** Tiempo 0. La válvula procede su cierre instantáneamente. La velocidad del líquido se anulará a partir de la válvula, no inmediatamente, en toda la tubería [10]
	**3.** Tiempo $\frac{t_0}{2} = \frac{1}{2}\frac{L}{c}$. La onda de presión se propaga hacia el embalse con celeridad c y el frente de onda llega a la mitad de la tubería. En la mitad derecha de la tubería dilatada por la sobrepresión. En la mitad izquierda el diámetro es normal. En esta mitad de la izquierda el agua

	se observa que sigue circulando con velocidad v hacia la válvula. En la mitad derecha estará, $v = 0$ [10]
	**4.** Tiempo $t_0 = \frac{L}{c}$. La onda de presión llega al embalse. En toda la tubería el liquido se encuentra en reposo, $v = 0$, pero no en equilibrio. Y por lo tanto toda la tubería se encuentra dilatada. Se comporta como un resorte que se expande, en este caso el agua la tubería se mueve con una velocidad v, pero la cual es orientada en divergencia al de la Fig. En este punto el fluido comienza en movimiento, un ejemplo por así decirlos es que por las tajas sigue las contiguas al estanque [10].
	**5.** Tiempo $\frac{3}{2}\ t_0 = \frac{3}{2}\frac{L}{c}$. La mitad de la izquierda de la tubería se a vuelto a su diámetro habitual. La onda se sigue propagando hacia el lado derecho con una velocidad c. En la mitad del lado izquierdo se observa a la tubería que el líquido circula con una velocidad v [10].

	**6.** Tiempo 2 $t_0 = \frac{2L}{c}$. El calibre en toda la tubería es normal. El fluido en su totalidad de la tubería en el desplazamiento desde la válvula hacia el embalse con la velocidad v; o sea en dirección opuesta de la Fig. No existe sobrepresión en ninguna de las partes de la tubería; sin embargo, debido a la inercia de la presión esta continúa reduciendo, la onda elástica se seguirá propagando, pero ahora habrá depresión desde la válvula hacia el reservorio con una velocidad c: el diámetro ira disminuyendo por debajo del diámetro normal [10].

	**7.** Tiempo $\frac{5}{2}\ t_{0.} = \frac{5}{2}\frac{L}{c}$. La depresión alcanzó el centro de la tubería. La mitad del lado derecho posee agua en reposo y la presión por debajo de lo habitual. El diámetro de la tubería en esa mitad es inferior a la normal [10].
	**8.** Tiempo 3 $t_0 = 3\frac{L}{c}$. El agua presente en toda la tubería estará sin movimiento, pero no se encontrará en un punto de equilibrio, y el agua inicia su proceso de movimiento desde el embalse a la válvula con una velocidad v dirigida hacia el lado derecho. La depresión está bien presente en toda la tubería. El diámetro de toda la tubería sigue siendo menor a la normal [10].

	**9.** Tiempo $\frac{7}{2}\ t_0 = \frac{7}{2}\frac{L}{c}$. En la parte de la mitad al lado izquierdo de la tubería el líquido se encuentra en desplazamiento con una velocidad v hacia la válvula. En la mitad de la derecha está el líquido que continúa en reposo y también en depresión. Mientras tanto el diámetro de la parte izquierda sigue siendo normal. Y en la parte de la mitad del lado derecho es menor que la normal; la velocidad c y v tienen el mismo sentido [10].
	**10.** Tiempo $4\ t_0 = 4\frac{L}{c}$. Su diámetro de la tubería es normal. Aquí todo el fluido está en movimiento con velocidad v hacia la válvula. Todo se vuelve igual como en el tiempo 0. Luego el periodo en este movimiento será [10]: $$T = 4\ t_0 = 4\frac{L}{c}$$

En teoría el movimiento oscilatorio continuaría existiendo indefinidamente. Prácticamente la deformación que hay en la tubería y la viscosidad del líquido hacen que se disipe energía por lo tanto hacen que las oscilaciones se amortigüen.

1.3.3 Tipos de golpe de ariete

Bomba de ariete hidráulico con cámara de aire

Esta bomba de ariete es de las más comunes, estas pueden ser construidas con hierro colado, acero inoxidable y piezas de PVC. Esta bomba cuenta con un conjunto de válvulas, válvulas de pie, orificio de alimentación y cámara de aire. Lo extraordinario de esta bomba de ariete es que el agua siempre está en vínculo con el aire dentro de la cámara, este derecho y se une al conjunto de las válvulas, la cámara de aire o vaso de expansión absorbe los golpes de ariete y así transforma el caudal de elevación de agua pulsante a un caudal de agua más continuo. Cuando la bomba de ariete está en funcionamiento, al cerrarse la válvula de ariete se produce el golpe de ariete y la sobrepresión generada procede a pasar a través de la válvula de elevación que solo deja pasar el agua en una dirección hacia la cámara de aire la cual es continua absorbiendo la sobrepresión al estar llena de aire y agua, y el agua sale por el orificio de alimentación de aire, después de la onda de choque retrocede hacia la boca del tubo o depósito de alimentación y se produce la descomposición o succión del agua [11].

Bomba de ariete hidráulico sin cámara de aire

Esta es una de las bombas de ariete muy económica y además es muy fácil de construir, la cual la hace muy eficaz ya que cuenta con la válvula de choque en línea con la tubería de alimentación, por lo tanto, esto hace que la onda de choque incida directamente en ella aumentando, por lo tanto, se centra en reducir la complejidad del proceso. Al no contar con una cámara de aire la función de absorber los impactos de los golpes de ariete y convertir el caudal de agua pulsante en caudal de agua continuo esta cámara de aire es remplazada con tubería flexible de goma, silicona o caucho [11].

Bomba de ariete mono impulsor y multipulsor

Lo normal es que tengan una válvula de impacto (mono impulsor) o válvula de servicio la cual causa el golpe, pero se pueden poner varias válvulas de ariete y se denominan ariete hidráulico multipulsor [12].

Bomba de ariete en serie y paralelo

Cuando el caudal de agua disponible es amplia y potente, es posible encontrar múltiples bombas operando simultáneamente, compartiendo la misma tubería de elevación. A esto se lo conoce como instalación de bombas de impulso conectadas en paralelo. De la misma forma, si se busca elevar agua a alturas muy elevadas (más de los 100 metros), puede resultar de utilidad que el agua elevada por una primera bomba de ariete sirva de alimentación para una segunda bomba de ariete, que eleve parte de esa agua a una altura aún mayor, lo cual presentaría un montaje en serie [12]

1.4 Aplicaciones de la Bomba de ariete

Las bombas de ariete son una solución sencilla, sostenible y económica para el bombeo de agua en varias aplicaciones, especialmente en áreas donde el acceso a energía eléctrica es limitado. La capacidad de esta bomba en aprovechar la energía cinética del agua las convierte en una herramienta valiosa para la gestión del agua en zonas rurales y en proyectos de desarrollo sostenible [13].

Aplicaciones Domesticas y rurales

- **Abastecimiento de agua:** Es ideal para llevar agua hacia viviendas aisladas, fincas o incluso a pequeñas comunidades rurales, específicamente en zonas montañosas donde existe una fuente de agua natural.

- **Riego:** Se puede utilizar para pequeños sistemas de riego especialmente en huertos y jardines, alimentando aspersores o sistema de goteo [14].

- **Almacenamiento de tanques y depósitos:** Es eficaz para mantener llenos los contenedores para el agua de consumo humano o animal [15].

Aplicaciones en la Agricultura

- **En riego por gravedad:** Al elevar el agua a un nivel superior, se puede aprovechar la gravedad para distribuir el agua por el campo [14].

- **Hidropónicos:** En los sistemas hidropónicos de pequeña escala, las bombas de ariete son una solución muy eficaz para poder suministrar el agua necesaria para regar las plantas y nutrirlas [14].

Otras Aplicaciones

- **Fontanería:** Se puede utilizar para elevar agua a puntos más altos en las casas con varios pisos.

- **Acuaponía:** Esta bomba de ariete se puede utilizar donde se combine la acuicultura y la hidroponía, en la cual la bomba pueda mover el agua entre los tanques de peces y los sistemas de cultivo.

1.5 Ventajas y Desventajas de una bomba de ariete.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de una bomba de ariete.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
No requiere de energía externas ya que aprovecha la energía cinética del agua.	Las impurezas del agua pueden afectar su funcionamiento.
Tiene una vida útil en torno de los 10 años.	No son adecuadas para sitios que requieran grandes volúmenes de agua.
Operan de forma continua y autónoma, sin generar ruido ni vibraciones.	Solo esta aptos para determinados sitios.
Su mantenimiento es limitado	Presiones bajas en la descarga, por lo tanto, se restringe su uso únicamente para el almacenamiento de agua.
No deja huella ambiental.	Requiere un tiempo considerable para alcanzar su caudal máximo.

1.6 Funcionamiento de la bomba de ariete

El ciclo de operación comienza con la entrada de fluido en la bomba a través de una tubería inclinada, denominada tubería de presión. Este conducto transporta el agua desde una fuente, como un arroyo o un tanque, hacia la bomba a una velocidad

constante. A medida que el agua avanza dentro de la tubería de impulsión, pasa por una válvula de retención llamada válvula de golpe. Esta válvula está diseñada para cerrar repentinamente cuando el agua alcanza una determinada velocidad, generando el resultado del golpe de ariete. Al cerrarse la válvula, la corriente de agua en movimiento se ve detenida de forma abrupta, lo que produce un pico de presión en el sistema. Esta sobrepresión es el aspecto clave que permite que una fracción del agua sea impulsada hacia la cámara de compresión y posteriormente hacia la tubería de salida, elevando el agua a una mayor altura [16].

En la parte superior de la bomba se encuentra una cámara de aire o depósito de presión. Este componente tiene una función estabilizadora, permitiendo que la energía del golpe de ariete se transfiera eficientemente al agua en forma de presión sostenida. Cuando el golpe de ariete impulsa el agua hacia esta cámara, el aire dentro de ella se comprime, creando un "amortiguador" que mantiene la presión constante. Así, cuando la presión se estabiliza, el agua es expulsada por la tubería de salida a una altura mayor. La cámara de aire actúa como un depósito de presión que asegura que el agua siga fluyendo de manera continua a través del sistema de elevación [17].

Después del golpe de impulsos y la expulsión del líquido, la presión dentro de la bomba disminuye, lo cual permite que la válvula de golpe vuelva a abrirse y que el agua comience nuevamente a fluir desde la fuente. Este ciclo se repite indefinidamente: cada vez que se cierra abruptamente la válvula, se genera un golpe de ariete y una parte del agua se eleva a través de la tubería de salida. Sin embargo, no toda el agua que entra en la bomba es elevada, ya que una porción de ella regresa al punto de origen, ayudando a mantener la presión en el sistema [12].

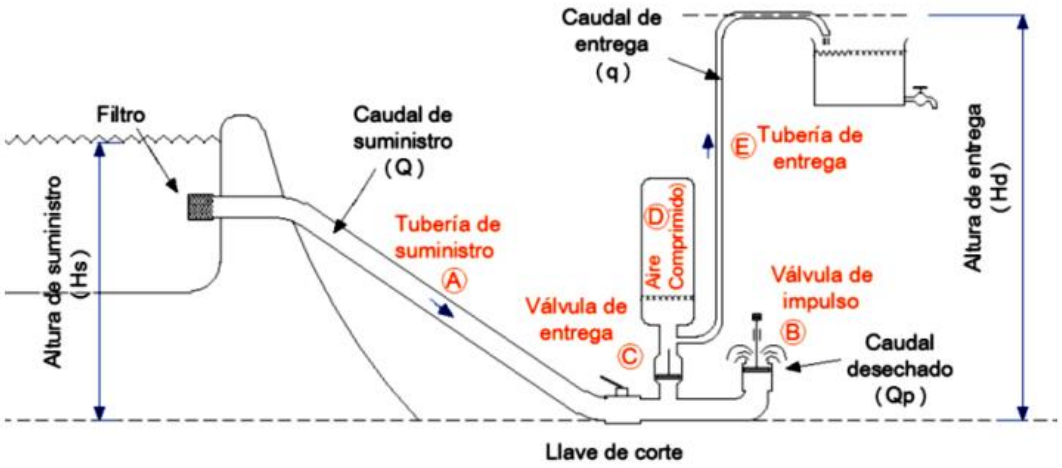


Figura 2. Funcionamiento de una bomba de ariete.

1.6.1 Partes para la instalación de una Bomba de ariete

La bomba de ariete tiene componentes que desempeña una función fundamental en el proceso de creación de presión y transporte de agua hacia una altura superior. A continuación, se explican las partes esenciales de una bomba de ariete y el rol de cada una en el funcionamiento del sistema.

1. **Tubería de Impulsión:** Esta tubería envía el fluido a partir de su fuente, que generalmente es un arroyo, río o depósito ubicado en un nivel más alto, hacia la bomba. La tubería debe tener cierta inclinación para que el agua gane velocidad a medida que se desplaza hacia la bomba. Este flujo inicial y su velocidad son esenciales, ya que proporcionan la energía cinética que alimentará el sistema de bombeo. La tubería de impulsión debe ser lo suficientemente robusta como para soportar los picos de presión generados durante el golpe de ariete[18].

2. **Válvula de Golpe (Válvula de Retención):** Esta válvula, también conocida como válvula de retención o válvula de choque, es una de las partes más fundamentales de la bomba de ariete. Su propósito es abrirse para permitir el paso del agua hacia el interior de la bomba y cerrarse de manera abrupta cuando el agua alcanza una velocidad determinada. Al cerrarse rápidamente, la válvula crea un fenómeno llamado golpe de ariete, que es una sobrepresión súbita en la tubería. Esta sobrepresión es la que impulsa el agua hacia la siguiente etapa,

elevándola a una mayor altura. La válvula de golpe debe ser precisa y de calidad, ya que su ciclo de apertura y cierre constante es crucial para el funcionamiento continuo de la bomba [18].



Figura 3. Válvula de golpe.

3. **Cámara de Aire:** Ubicada en la parte alta de la bomba, la cámara de aire es un componente indispensable para estabilizar el flujo y la presión del agua en el sistema. Al generarse el golpe de ariete, una parte del agua comprimida ingresa a la cámara de aire, que está parcialmente llena de aire en su parte superior. El aire se comprime debido a la presión del agua y actúa como un amortiguador o resorte, liberando la presión de forma gradual y permitiendo que el agua sea expulsada a través de la tubería de salida. La cámara de aire asegura un flujo más estable y evita la pérdida de presión, facilitando un bombeo constante y eficiente [19].



Figura 4. Cámara de aire.

4. **Tubería de Salida:** Esta tubería es la que guía al fluido elevada desde la bomba hasta el punto de almacenamiento, que puede ser un tanque, depósito o cualquier otro lugar en un nivel superior. La tubería de salida debe ser resistente para soportar la presión generada y debe estar orientada hacia el lugar deseado

donde se necesite el agua. Su diseño también influye en la eficiencia del sistema, pues ayuda a reducir la pérdida de presión durante la elevación del agua [18].

Cada una de estas partes es fundamental para el funcionamiento de la bomba de ariete. La combinación de la tubería de impulsión, la válvula de golpe, la cámara de aire y la tubería de salida permite que el sistema convierta la energía cinética del agua en energía potencial, elevándola a niveles superiores. En conjunto, estos componentes hacen posible que la bomba de ariete funcione sin fuentes de energía externas, lo que la convierte en una solución económica, duradera y sostenible en regiones donde la electricidad o el combustible son limitados o costosos[20].

1.7 Parámetros de diseño de la bomba de ariete

a. Locación de la bomba

Determinar el lugar donde se utilizará la bomba, es un factor importante para tomar en cuenta para el diseño de esta, debido a las necesidades en el caso específico para su funcionamiento [20].

b. Altura de entrega

La altura de entrega se da por el requerimiento de elevar el fluido a un nivel determinado, para poder así orientar la utilización del líquido hacia una función específica, entre las cuales podemos mencionar; almacenamiento de agua, sistema de riegos, potabilización del agua, entre otros[20].

c. Altura de Suministro

Esta altura es muy importante porque es la cual va a ayudar a llegar el nivel de agua de descarga requerido, para poder establecer dicha altura se hace uso de cálculos matemáticos, la cual nos basamos en matemático S.B Watt la cual en su publicación nos indica que la altura de suministro se determina por medio de la siguiente formula y la altura debe comprender entre 1 o 12 metros como rangos recomendables [21].

$$H_s = \frac{1}{3} * H_d \qquad \text{Ec 1}$$

Donde:

H_s = Altura de suministro (m)

H_d = Altura de entrega (m)

d. Tubería de suministro

La tubería de suministro cuenta con dos objetivos principales las cuales son:

- Posibilitar el acceso del líquido al armaje de la bomba de ariete, desde el reservorio de suministro.
- Soportar el impacto que produce el fenómeno por el golpe de ariete.

Las dimensiones, como son el diámetro, la longitud son elementos claves para poder respaldar una estable actividad de la bomba de ariete, porque como su nombre lo indica va a conducir el agua desde el tanque de suministro hasta la bomba captura y retiene la onda de presión generada por el golpe de ariete. Estas deben cumplir con ciertas relaciones que se determinan de manera experimental y naturalmente según el espacio físico donde será ubicada la bomba de ariete. La tubería de suministro es única para cada bomba [21].

Los especialistas en el área explican, que tanto el diámetro como la largura de la tubería de bajada son esenciales, hay varias relaciones matemáticas experimentalmente que aseguran el correcto desempeño del ariete. Usualmente, la extensión de la tubería de suministro debe ser de tres a siete veces la altura de alimentación. Normalmente, el tubo debe tener la longitud de al menos 100 veces su propio diámetro [21].

El matemático Watt, indica que la bomba funcionaria bien si la relación que existe entre la longitud (L) y el diámetro interno (D) se encuentra dentro de los límites.

$$\frac{L}{D} = 150\ a\ 1000$$

Lo más recomendable, es colocar una tubería de suministro que se adapte a la siguiente relación:

$$\frac{L}{D} = 500$$

e. Tubería de entrega

El propósito principal de la tubería de entrega es transportar el agua hasta su entrega, esta puede estar formada de varios accesorios ya sea uniones, codos, manguera, entro otros. Los que sean necesarios para poder alcanzar su finalidad. El diámetro por lo general se lo calcula como la mitad de la tubería de suministro.

f. Caudal de entrega

Este caudal es el que entrega la bomba de ariete una vez esté en funcionamiento, para el cálculo se utiliza la siguiente ecuación [21].

$$\frac{q * H_d}{H_s * D^2 * u_c} = \frac{\pi * Cd}{10}$$

Donde:

q = Caudal de entrega (m^2/s)

H_d = Altura de entrega (m)

H_a = Altura de alimentación (m)

D = Diámetro interno de la tubería de suministro (m)

μ_c = Velocidad de cierre de la válvula de impulso (m/s)

Cd = Coeficiente de descarga

De donde el caudal de entrega queda:

$$q = \frac{Cd * \pi * H_s * D^2 * \mu_c}{H_d * 10}$$

- **Velocidad de cierre de la válvula de impulso**

Para determinar cuál es la velocidad de cierre de la válvula de impulso, se utiliza la siguiente relación matemática [21].

$$\mu_c = 0.135 * C_{vi}$$

Donde:

μ_c = Velocidad de cierre de la válvula de impulso (m/s)

C_{vi} = Carrera de la válvula de impulso (mm)

- Coeficiente de descarga

El coeficiente de descarga es un factor adimensional la cual relaciona el caudal del fluido que se desplaza junto al nivel de fluido en el embalse.

$$Q_1 = Cd\left(\sqrt{2 * g * \Delta h}\right) * A$$

El coeficiente de descarga es:

$$Cd = \frac{Q_1}{\left(\sqrt{2 * g * \Delta h}\right) * A}$$

Donde:

Q_1 = Caudal libre (m^2/s)

Cd = Coeficiente de descarga

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

Δh = Diferencia de alturas (m)

A = Área de salida del fluido (m^2)

- **Caudal Libre**

Se calcula teniendo como consideración que la válvula de impulso esté quieta así hace que sea posible que el líquido fluya hacia la atmósfera.

Por la ecuación general de la energía que es una expansión del principio de Bernoulli, es posible poder calcular problemas con pérdidas, las cuales se presentan a medida que un flujo fluya por un conducto debido a la fricción que existe interna en el fluido, nos permite saber cuál será la posible velocidad del fluido en el interior de la tubería [21], [22].

Ecuación General de la Energía

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{{V_1}^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{{V_2}^2}{2g}$$

Donde:

P_1 = Presión en el punto uno (Pa)

P_2 = Presión en el punto dos (Pa)

γ = Peso especifico del agua (N/m^3)

Z_1 = Altura en el punto uno sobre el nivel de referencia (m)

Z_2 = Altura en el punto dos sobre el nivel de referencia (m)

V_1 = Velocidad en el punto uno (m/s)

V_2 = Velocidad en el punto dos (m/s)

g = Aceleración gravedad (m/s^2)

h_A = Energía añadidad al fluido mediante dispositivo mecánico (m)

h_R = Energía removida del fluido mediante dispositivo mecánico (m)

h_L= Perdidas de energía (mayores y menores) en el sistema (m)

- **Pérdidas mayores**

Se considera perdidas mayores cuando existe fricción del fluido con el conducto. La ecuación de Darcy-Weisbach de perdidas mayores se expresa como [23]:

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{{V_2}^2}{2g}$$

Donde:

h_L = Pérdida mayor (m)

L = Longitud de la corriente de flujo (m)

V_2 = Velocidad en el punto dos (m/s)

f = Factor de fricción

- **Pérdidas menores**

Estas pérdidas ocurren cuando hay un cambio u obstrucción de la trayectoria del flujo, esto se produce por la presencia de conectores, como pueden ser uniones, válvula, entre otros. Esta ecuación se la expresa de la siguiente manera [23].

$$h_{Lm} = k * \frac{{V_2}^2}{2g}$$

Donde:

h_{Lm} = Pérdida menor (m)

k = Coeficiente de resistencia al flujo

V_2 = Velocidad en el punto dos (m/s)

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

- **Factor de Fricción**

Para el cálculo del factor de fricción, nos basamos en la ecuación desarrollada por P. K. Swamee y A. K. Jain que nos permite el cálculo directo del factor y esta expresada de la siguiente manera[23], [24]:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7 * (\frac{D}{\varepsilon})} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right]^2}$$

Donde:

f = Factor de fricción

D = Diámetro interno de la tubería (m)

ε = Rugosidad (m)

Re = Número de Reynolds

- **Número de Reynolds**

El número de Reynolds (Re) es un número adimensional que se usa en dinámica de fluidos para caracterizar el tipo de flujo que ocurre en una determinada situación. Describe la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas que actúan en el flujo de un fluido, y su valor permite predecir si el flujo será laminar o turbulento [24].

Si Re< 2000, corresponde a un Flujo Laminar.

Si Re > 4000, corresponde a un Flujo Turbulento.

Si 2000 < Re < 4000, se trata de un Flujo Impredecible.

Para definir qué tipo de flujo tenemos, lo podemos predecir mediante la siguiente fórmula.

$$Re = \frac{V * D}{v}$$

Donde:

V = Velocidad del flujo (m/)

D = Diámetro interno de la tubería (m)

v = Viscosidad cinética (m^2/s)

- **Rugosidad Relativa**

Es la relación del diámetro de la tubería que existe con la rugosidad de su pared.

$$Rr = \frac{D}{\varepsilon}$$

Donde:

Rr = Rugosidad relativa.

D = Diámetro interno de la tubería (m)

ε = Rugosidad (m)

- **Caudal desechado**

Es la cantidad de agua que la bomba de ariete expulsa hacia la atmósfera cuando esta puesta en marcha [24], [25].

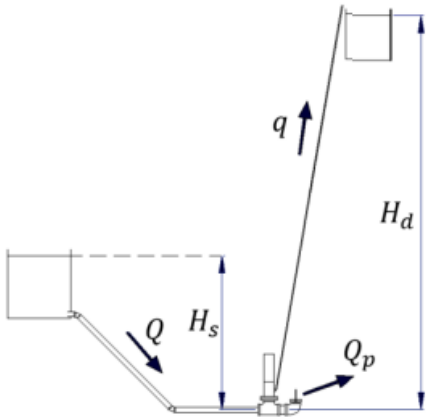


Figura 5. Fórmula de caudal desechado.

$$Q = q + Q_p$$

Donde:

Q = Caudal de suministro (m^3/s)

Q_p = Caudal desechado (m^3/s)

q = Caudal de entrega (m^3/s)

Este tipo de bomba funciona aprovechando la energía cinética de un flujo de agua para generar una serie de impulsos que permiten elevar una parte del fluido a una altura elevada que la del punto de captación inicial. La bomba de ariete hidráulico fue desarrollada en el siglo XVIII y, debido a su simplicidad y eficiencia, continúa siendo ampliamente utilizada en zonas rurales y aplicaciones agrícolas, en especial donde los recursos energéticos son limitados [25].

Un aspecto fundamental de una bomba de impulsos hidráulico es el dimensionado de la tubería de entrada, la cual debe tener una longitud y diámetro adecuados para generar el flujo necesario. Además, la altura de caída, o "carga de impulsión", tiene un papel

importante, ya que, a mayor altura, mayor será la presión disponible para impulsar el agua hacia la cámara de compresión y lograr una elevación eficiente. La válvula de check de la bomba también es fundamental y debe ser seleccionada cuidadosamente, ya que su apertura y cierre rápidos son los que generan el golpe de ariete. La cámara de compresión suele estar equipada con una cámara de aire que ayuda a amortiguar el golpe y estabilizar la presión en cada ciclo, mejorando la eficiencia de bombeo [25].

Otro factor importante es la altura de elevación, que determina hasta qué nivel puede ser impulsada el agua. Normalmente, una bomba de impulsos hidráulico puede elevar agua a una altura de hasta diez veces la altura de la carga de impulsión, aunque esto depende de la eficiencia de cada diseño y de los materiales utilizados. La elección de materiales resistentes a la corrosión es crucial, especialmente si la bomba se instalará en áreas expuestas a la intemperie o donde el agua contenga elementos que puedan desgastar el sistema con el tiempo [10], [25].

1.8 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar y construir una bomba de ariete funcional que aproveche la energía hidráulica para el bombeo de agua.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Diseñar una bomba de ariete considerando los parámetros de funcionamiento y condiciones del patio central de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.
- Construir y poner en marcha la bomba de ariete para llevar a cabo pruebas para evaluar su funcionamiento y así garantizar un rendimiento óptimo del sistema.
- Elaborar un manual de mantenimiento y operación para la bomba de ariete.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

En el siguiente apartado se especificará algunos de los materiales que se utilizó para el diseño, construcción y ensamblado de la bomba de ariete que trata el proyecto técnico donde de igual manera se aborda características como las especificaciones físicas, mecánicas o químicas de los materiales.

Se investigarán los materiales disponibles en el mercado local, priorizando aquellos que ofrezcan mayor durabilidad, resistencia a la corrosión y precios accesibles. Se analizará la calidad de las válvulas de retención, los tubos de PVC o metálicos, los elementos de sujeción y el tanque de compresión.

Se llevarán a cabo cálculos detallados para dimensionar cada uno de los componentes de la bomba de ariete. Esto implicará determinar el caudal mínimo necesario para el suministro del sistema, la altura de elevación requerida para transportar el agua desde el nivel del patio hasta su punto de almacenamiento, así como las posibles pérdidas de presión dentro del sistema. Además, se calcularán las medidas adecuadas para la cámara de compresión y el diámetro óptimo de las tuberías, junto con los valores de presión y flujo que deben cumplir las válvulas. Estos cálculos servirán como fundamento para elegir los materiales y componentes más apropiados.

También se tomarán en cuenta factores como la sostenibilidad y la facilidad de mantenimiento realizando un manual. Cada decisión será respaldada con una justificación técnica y económica, asegurando su compatibilidad con los requerimientos específicos del proyecto.

2.1 Materiales

A continuación, en el siguiente apartado se detallan los componentes que se emplearán durante la etapa de fabricación, y ensamblaje de la máquina desarrollada en este proyecto técnico. Se contempla aspectos como las propiedades físicas, mecánicas y

químicas de los componentes, además de una información de las características de los materiales.

2.1.1 Descripción de materiales y equipos

Los materiales que serán utilizados dentro de la construcción de la bomba de ariete deben ser los adecuados para su funcionalidad de esta, por esta razón se especifican adecuadamente.

Acero Inoxidable

El acero inoxidable es muy utilizado en la construcción de bombas de ariete puesto a sus excelentes propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión y durabilidad en entornos desafiantes. Este tipo de acero se compone principalmente de hierro, cromo y níquel, siendo el cromo el elemento clave que le confiere su alta resistencia a la oxidación. En el caso de una bomba de ariete, donde el equipo está constantemente en contacto con agua y, en ocasiones, con otros fluidos que pueden contener partículas o compuestos agresivos, el acero inoxidable garantiza una larga vida útil al resistir eficazmente los procesos de corrosión y desgaste. Esta propiedad lo convierte en una opción ideal para entornos rurales, agrícolas o industriales, donde la calidad del agua o el uso continuo del dispositivo podría deteriorar otros materiales más comunes como el acero al carbono.

Además de su resistencia a la corrosión, el acero inoxidable posee una excelente resistencia mecánica y dureza, lo que es fundamental para soportar las altas presiones y los impactos repetitivos que se generan en el mecanismo de una bomba de ariete. Durante su funcionamiento, las partes internas de la bomba, como las válvulas, el cuerpo principal y los componentes de unión, están sometidas a cargas constantes debido al movimiento de fluidos y a la liberación repentina de energía cinética. El acero inoxidable es capaz de mantener su forma y funcionalidad bajo estas condiciones, evitando deformaciones o fallas prematuras que podrían comprometer el rendimiento del equipo. Asimismo, su resistencia a la fatiga y al impacto lo convierte en una elección segura y confiable para aplicaciones donde se requiere un rendimiento constante durante largos períodos de tiempo.

Otro beneficio del acero inoxidable en la construcción de una bomba de ariete es su capacidad para operar en una amplia gama de temperaturas sin perder sus propiedades físicas ni químicas. Esto es crucial en regiones donde las condiciones climáticas varían significativamente, ya que el material puede mantener su integridad estructural tanto en climas fríos como cálidos. Por ejemplo, en condiciones de bajas temperaturas, el acero inoxidable presenta una buena tenacidad, evitando que se vuelva quebradizo o susceptible a fracturas. Por otro lado, su baja conductividad térmica reduce la transferencia de calor, ayudando a conservar la eficiencia del sistema hidráulico y minimizando pérdidas energéticas.

Adicionalmente, el acero inoxidable tiene una superficie lisa y no porosa, lo que facilita su limpieza y mantenimiento. En una bomba de ariete, donde es crucial evitar la acumulación de sedimentos o impurezas que puedan afectar el flujo del agua o las válvulas internas, esta propiedad resulta ventajosa. Además, su apariencia estética y resistencia al desgaste superficial permiten que el equipo mantenga su presentación y funcionalidad a lo largo del tiempo, incluso en condiciones de uso continuo o en exteriores.

En conclusión, el acero inoxidable se posiciona como el material óptimo para la construcción de bombas de ariete gracias a su resistencia a la corrosión, durabilidad, propiedades mecánicas y facilidad de mantenimiento. Su desempeño confiable en entornos exigentes garantiza una solución eficiente, económica y sostenible para la conducción y aprovechamiento del agua.

Propiedades del acero galvanizado:

Tabla 3. Propiedades del acero inoxidable.

Resistencia a la corrosión:	Su recubrimiento de zinc protege al acero contra la oxidación, incluso en ambientes húmedos o agresivos.

Durabilidad	Puede durar entre 25 y 100 años dependiendo de las condiciones ambientales.
Alta adherencia del recubrimiento	El proceso de galvanización asegura una unión metalúrgica sólida entre el acero y el zinc.
Resistencia mecánica	Conserva la fortaleza estructural del acero base.
Autoprotección	Si el recubrimiento de zinc se daña, protege al acero mediante acción catódica, oxidándose primero el zinc.
Reciclabilidad	Tanto el acero como el zinc son materiales reciclables, favoreciendo su sostenibilidad.
Bajo mantenimiento	Su resistencia a la corrosión reduce la necesidad de reparaciones o recubrimientos adicionales.
Versatilidad	Es apto para soldadura, pintura y diferentes tipos de conformado.
Acabado brillante	Tiene una apariencia uniforme y atractiva, ideal para aplicaciones visibles.
Conductividad térmica moderada	Aunque más baja que el acero desnudo, sigue siendo funcional en muchos contextos industriales

Propiedades Mecánicas

Tabla 4. Propiedades mecánicas del acero inoxidable.

Propiedad Mecánica	Valor	Descripción
Densidad	7.85 g/cm3	Similar al acero base, ya que el recubrimiento de zinc no afecta significativamente.
Resistencia a la tracción	350 – 500 MPa	Depende del tipo de acero base; el recubrimiento de zinc no modifica esta propiedad.
Limite elástico	200 – 300 MPa	Proporcional al acero base, con ligeras variaciones según el proceso de galvanización.
Dureza	70 – 150 HB	Incrementada levemente en la superficie debido al recubrimiento de zinc.
Ductilidad	15% - 30%	Buena capacidad de deformación antes de fracturarse, adecuada para doblado y soldado.
Punto de fusión	1500 °C (Acero base), 419 °C (Zinc)	El recubrimiento de zinc tiene un punto de fusión más bajo que el acero.

2.1.2 Válvulas

Las válvulas son dispositivos mecánicos diseñados para regular, controlar o dirigir el flujo de fluidos, como líquidos, gases o materiales granulares, dentro de un sistema de tuberías o conductos. Su funcionamiento se basa en la apertura, cierre o restricción parcial de un conducto mediante un mecanismo interno que puede ser operado manualmente, automáticamente o por sistemas de control externo. Existen diferentes

tipos de válvulas, como las de retención, compuerta, bola, mariposa y globo, cada una adaptada a aplicaciones específicas dependiendo de las condiciones de operación, como presión, temperatura, tipo de fluido y caudal requerido. Fabricadas en materiales como acero inoxidable, acero al carbono, latón, bronce o plásticos, las válvulas ofrecen durabilidad, resistencia y versatilidad para diversos entornos, desde la industria petroquímica hasta sistemas hidráulicos domésticos. Su correcto diseño y mantenimiento son fundamentales para garantizar la eficiencia, seguridad y longevidad de los sistemas donde se instalan, haciendo de las válvulas un componente clave en la ingeniería mecánica y en prácticamente cualquier sistema de transporte de fluidos [26].

2.2 Tipo de Válvulas

2.2.1 Válvula de Retención

Las válvulas check o antirretornos, son dispositivos esenciales en sistemas hidráulicos, cuyo propósito principal es dar paso el flujo del agua en una sola dirección y prevenir el retroceso hacia el punto de origen. Estas válvulas desempeñan un papel crucial en aplicaciones como la bomba de ariete hidráulico, donde aseguran que el agua impulsada hacia la cámara de aire o el punto de elevación no regrese al sistema de entrada. Su diseño y funcionamiento son relativamente simples, pero extremadamente efectivos, lo que las convierte en componentes confiables y duraderos para múltiples aplicaciones industriales y domésticas [27].

El principio de operación de las válvulas de retención se basa en la presión diferencial entre los dos lados de la válvula. Cuando la presión en el lado de entrada supera la presión del lado de salida, el mecanismo interno (generalmente un disco, bola o pistón) se abre, permitiendo el flujo de fluido. Por el contrario, cuando la presión del lado de salida supera la del lado de entrada, el mecanismo interno se cierra automáticamente, evitando cualquier retroceso del fluido. Este diseño asegura un funcionamiento autónomo y elimina la necesidad de intervención manual o componentes externos, como actuadores o controles eléctricos [27].

Existen varios tipos de válvulas de retención, entre los cuales destacan las válvulas de retención de disco, de bola, de chapeta y de pistón. Cada tipo tiene características específicas que las hacen adecuadas para diferentes aplicaciones. Por ejemplo, las

válvulas de bola son comunes en sistemas de baja presión debido a su simplicidad y baja resistencia al flujo, mientras que las válvulas de pistón o clapeta suelen emplearse en aplicaciones de alta presión por su robustez y capacidad de sellado. En el caso de una bomba de ariete, la válvula de retención más utilizada es la de disco, dado que ofrece un cierre rápido y efectivo, esencial para la eficiencia del sistema[28].

En términos de materiales, las válvulas de retención pueden fabricarse con acero inoxidable, acero galvanizado, latón, bronce o plásticos reforzados, dependiendo de las condiciones operativas. En ambientes donde la corrosión es un factor crítico, como en sistemas de agua o fluidos agresivos, el acero inoxidable o el acero galvanizado son las opciones preferidas por su durabilidad y resistencia. Además, los sellos internos suelen ser de caucho nitrílico o poliuretano, lo que garantiza un sellado hermético bajo presiones elevadas [28].

2.2.1.2 Especificaciones

Tabla 5. Especificaciones de válvula antirretorno de 1 pulgada tipo T [29].

Tamaño nominal	1 pulgada (25.4 mm) de diámetro interno, compatible con tuberías estándar de este tamaño.
Material del cuerpo	Acero galvanizado o acero inoxidable, resistente a la corrosión y a ambientes húmedos.
Presión máxima de trabajo	150 psi (10.34 bar), adecuada para soportar los golpes hidráulicos generados por el ariete.
Tipo de mecanismo	Válvula de disco o clapeta con resorte, para un cierre rápido y eficiente que evite el retroceso del flujo.
Material de sellado interno	Caucho nitrílico (NBR) o poliuretano, garantizando un sellado hermético incluso bajo presiones elevadas.

Temperatura de operación	Rango entre -10°C y 80°C, adecuado para sistemas de agua fría y moderadamente caliente.
Conexión	Rosca hembra NPT (National Pipe Thread), para una fácil instalación en sistemas hidráulicos estándar.
Flujo nominal	Caudal de hasta 20 litros por minuto (L/min), con baja pérdida de carga.
Durabilidad	Diseñada para soportar ciclos de apertura y cierre repetitivos, con una vida útil estimada de más de 100,000 ciclos.
Peso	Aprox. 0.5 kg, para facilitar su manejo e instalación.

Estas especificaciones aseguran un rendimiento óptimo en sistemas de bombeo de ariete, garantizando eficiencia y confiabilidad en el transporte de agua.

2.2.2 Válvula de Golpe

Las válvulas de golpe, también conocidas como válvulas de impacto, son componentes fundamentales en sistemas hidráulicos como las bombas de ariete, donde su función principal es generar el golpe hidráulico que permite la elevación del agua. Este tipo de válvula opera mediante un ciclo repetitivo de apertura y cierre provocado por las variaciones de presión en el sistema. Cuando el flujo de agua proveniente de la tubería de entrada alcanza una velocidad suficiente, la válvula se cierra abruptamente, lo que genera una sobrepresión o golpe hidráulico. Este fenómeno comprime el aire dentro de la cámara de aire, transfiriendo energía al agua y permitiendo su bombeo hacia una altura mayor. Tras el cierre, la válvula se abre nuevamente debido a la disminución de la presión, reiniciando el ciclo de operación [30].

El diseño de la válvula de golpe es relativamente sencillo pero crítico para el funcionamiento eficiente de la bomba de ariete. Está compuesta por un cuerpo principal, un elemento móvil (generalmente un disco o pistón), un resorte de retorno, y, en algunos casos, un asiento de sellado fabricado con materiales resistentes al desgaste, como caucho nitrílico o poliuretano. El cuerpo de la válvula suele estar fabricado de materiales duraderos, como acero galvanizado, acero inoxidable o bronce, ya que estos ofrecen alta resistencia a la corrosión y al impacto constante generado por el flujo del agua. El elemento móvil y el resorte deben ser lo suficientemente robustos para soportar ciclos repetitivos de apertura y cierre, mientras que el asiento del sellado debe garantizar una hermeticidad completa para evitar fugas [30].

En cuanto a su operación, las válvulas de golpe están diseñadas para trabajar de manera automática, reguladas únicamente por las fuerzas hidráulicas del sistema. Esto las hace altamente eficientes y confiables, ya que no requieren intervención manual ni sistemas de control externos. Sin embargo, su desempeño está directamente influenciado por factores como el caudal de entrada, la presión disponible y la configuración general del sistema de bombeo. Es crucial que las dimensiones de la válvula sean adecuadas para el diseño de la bomba, asegurando un equilibrio entre la velocidad de cierre y la capacidad de soportar las presiones generadas [30].

Las válvulas de golpe presentan ciertas ventajas significativas en aplicaciones de bombeo sin energía externa. Su simplicidad mecánica reduce los costos de fabricación, instalación y mantenimiento, mientras que su durabilidad las convierte en una solución eficiente para sistemas en áreas rurales o de difícil acceso. Sin embargo, también tienen algunas limitaciones, como el ruido generado por el golpe hidráulico y el desgaste de los componentes debido al constante impacto. Para mitigar estos problemas, se recomienda realizar inspecciones regulares, lubricar los componentes móviles y reemplazar el asiento del sellado cuando sea necesario [29], [30].

Especificaciones

Tabla 6. Especificaciones de válvula de golpe [29].

Tamaño nominal	1 pulgada (25.4 mm), compatible con tuberías estándar de este diámetro.
Material del cuerpo	Acero galvanizado o acero inoxidable, resistente a la corrosión y al impacto continuo.
Presión máxima de trabajo	150 psi (10.34 bar), diseñada para soportar golpes hidráulicos frecuentes sin deformarse.
Mecanismo de cierre	Disco o clapeta accionado por el flujo de agua, con resorte de retorno de acero templado para garantizar un cierre rápido y preciso.
Material de sellado	Caucho nitrílico (NBR) o poliuretano, para asegurar un cierre hermético y reducir pérdidas por fugas.
Frecuencia de operación	Diseñada para ciclos repetitivos de hasta 1 golpe por segundo, dependiendo del caudal de entrada.
Conexión	Rosca hembra NPT (National Pipe Thread), que facilita la instalación en sistemas de tuberías estándar.
Durabilidad	Más de 100,000 ciclos de operación, con bajo mantenimiento gracias a la robustez de los materiales.
Peso	Aproximadamente 0.8 kg, lo que permite un manejo e instalación sencillos.

Rango de temperatura de operación	-10°C a 80°C, adecuada para sistemas de agua fría o moderadamente caliente.

Estas especificaciones garantizan un desempeño confiable en sistemas de bombeo de ariete, maximizando la eficiencia hidráulica y la durabilidad del sistema.

2.3 Conexiones y accesorios

Las conexiones y accesorios son componentes auxiliares indispensables en el diseño e instalación de una bomba de ariete hidráulico. Estos elementos aseguran una unión hermética entre las diferentes partes del sistema, garantizando que no se produzcan fugas y que se mantenga la eficiencia del flujo de agua. Para una bomba de ariete de 1 pulgada, las conexiones y accesorios seleccionados deben ser robustos, resistentes a las condiciones operativas y fáciles de ensamblar [18] .

Material: Acero Inoxidable

Componentes Incluidos

1. **Codos y curvas:**

- Función: Cambian la dirección del flujo de agua en ángulos específicos, como 45° o 90°, para adaptarse al diseño del sistema [12].

- **Especificaciones:**

Tabla 7. Especificaciones de codos y curvas.

Material	Acero Galvanizado
Diámetro	1 pulgada, coincidiendo con el tamaño de las tuberías principales.

- **Propiedades**: Alta resistencia a la presión y a la abrasión causada por el flujo continuo del agua.

2. **Tés y derivaciones:**

- **Función:** Permiten dividir o combinar flujos de agua dentro del sistema.

- **Especificaciones:**

Tabla 8. Especificaciones de tés y derivaciones.

Material	Acero galvanizado.
Configuración	T de 1 pulgada con entradas y salidas de igual diámetro.

3. **Uniones roscadas:**

- **Función:** Facilitan el ensamblaje y desmontaje de partes del sistema para mantenimiento.

- **Especificaciones:**

  - Rosca estándar NPT de 1 pulgada.
  - Sello hermético garantizado con cinta de teflón o compuesto sellador.

4. **Reducciones:**

- **Función:** Ajustar el diámetro entre componentes de diferentes tamaños.

- **Material:** Acero galvanizado.

Las conexiones deben instalarse cuidadosamente, utilizando materiales de sellado como cinta de teflón para evitar fugas. Además, se recomienda inspeccionar regularmente las uniones para detectar posibles desgastes o corrosión en el revestimiento galvanizado, especialmente en áreas expuestas a altas presiones o

impactos constantes [18]. Este conjunto de accesorios asegura la estabilidad, funcionalidad y durabilidad del sistema hidráulico, contribuyendo a la eficiencia general de la bomba de ariete.

3. Métodos

Con el fin de determinar los métodos que se emplearán en el proceso del proyecto, se da a conocer la metodología, que describe el enfoque y los pasos a seguir para su realización. Esto incluye la evaluación de alternativas de diseño, la definición de criterios de diseño y otros elementos clave que servirán como base y sustento para el proyecto.

3.1 Modalidad de la investigación

Catalogándose como un tipo de investigación experimental por su desarrollo de diseño y construcción adaptándose a las características específicas del patio central de la facultad. Al igual clasificada como exploratoria, descriptiva encontrando retos singulares debido a las particularidades del lugar y las necesidades específicas, donde se detallará el proceso integral de diseño y edificación de la bomba de ariete, desde la investigación bibliográfica y evaluación del terreno hasta las pruebas prácticas y el registro de los resultados.

3.2. Descripción

Se realizará una recolección de información mediante revisión de artículos científicos, literatura especializada en tecnologías de bombeo hidráulico y estudios detallados a cerca de la bomba de ariete, así como también datos técnicos y topográficos del patio de la facultad al igual que se analizarán datos relacionados con bombas de ariete, abarcando aspectos como sus principios de funcionamiento, diseño, construcción y operación. Para la construcción se seleccionará los materiales adecuados, con el objetivo apreciar el funcionamiento de la bomba de ariete y poder observar esta innovación de la ingeniería mecánica. Finalmente se elaborará un manual de mantenimiento y operación para tener una guía del correcto funcionamiento, cuidado y reparación de la bomba de ariete, donde se detallarán las principales funciones, proporcionando orientación para su mantenimiento, ayudando a su rendimiento y vida útil.

Fase 1

- Investigar el principio hidráulico del golpe de ariete, analizar diseños existentes, determinar requisitos del sitio (altura, caudal, materiales disponibles), investigar normas técnicas y establecer parámetros iniciales para un diseño eficiente y funcional.

Fase 2

- Se evalúan diferentes opciones de materiales para cada componente de la bomba, considerando factores como resistencia mecánica, resistencia a la corrosión, costo, disponibilidad y facilidad de manufactura.

Fase 3

- En esta etapa, se determinan los parámetros clave como el caudal de entrada y salida, la presión máxima de trabajo, y la velocidad del golpe de ariete, utilizando principios de dinámica de fluidos y mecánica de sólidos

Fase 4

- La fase 4, enfocada en la construcción, se seleccionan los materiales adecuados y se utilizan técnicas de manufactura como corte, soldadura, mecanizado o ensamblaje, según las especificaciones técnicas del diseño. La construcción incluye la conformación de elementos clave como el cuerpo principal, las válvulas y la cámara de aire, asegurando precisión en las dimensiones y acabados para garantizar un ajuste adecuado y la hermeticidad del sistema.

Fase 5

- La fase 5, dedicada a las pruebas, es esencial para validar el diseño y construcción de una bomba de ariete, asegurando su desempeño óptimo bajo condiciones reales de operación. En esta etapa, se realizan pruebas de funcionamiento que incluyen la verificación del caudal de agua entregado, la altura eleveda alcanzada, la frecuencia de los golpes de impulsiones y para la eficiencia del sistema.

Fase 6

- La fase 6, enfocada en la elaboración de un manual de mantenimiento, es clave para garantizar la longevidad y ejecucion de la bomba de ariete. Este manual detalla las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, incluyendo instrucciones claras para inspeccionar, limpiar y reemplazar componentes como válvulas, juntas y la cámara de aire.

2.2.3 Análisis de alternativas de material

El análisis para la mejor alternativa del material para el diseño y construcción de una bomba de ariete es un proceso crítico que combina criterios técnicos, económicos y ambientales para garantizar un sistema eficiente y duradero. En este análisis, se evalúan materiales potenciales para cada componente clave, considerando sus propiedades mecánicas, como resistencia a la presión, al impacto y a la fatiga, así como su resistencia a la corrosión, especialmente en contacto con agua o ambientes agresivos.

El análisis incluye herramientas como la matriz de selección de materiales, donde se ponderan factores como disponibilidad, costo, facilidad de manufactura y sostenibilidad. Además, se considera la compatibilidad del material con procesos de ensamblaje y mantenimiento. El resultado es una decisión balanceada que prioriza no solo el rendimiento técnico, sino también la economía y el impacto ambiental, seleccionando materiales que optimicen el desempeño global de la bomba de ariete.

Opción 1

El acero inoxidable es una opción altamente adecuada para construir una bomba de ariete por sus buenas propiedades de resistencia a la corrosión, durabilidad y facultad para soportar condiciones extremas. Este material, compuesto principalmente de hierro, cromo, níquel y otros elementos como molibdeno, forma una capa pasiva de óxido de cromo en su superficie que lo protege de la oxidación y la corrosión incluso en ambientes húmedos o expuestos al agua. Esto es especialmente importante en una bomba de ariete, que opera constantemente con agua y a menudo se encuentra expuesta a condiciones exteriores que podrían degradar otros materiales más susceptibles, como el acero sin recubrimiento o los metales menos resistentes.

Desde un punto de vista mecánico, el acero inoxidable destaca por su excelente combinación de resistencia mecánica y ductilidad, lo que lo hace ideal para soportar las tensiones dinámicas que se generan durante el funcionamiento de una bomba hidráulica. Este tipo de bomba utiliza la energía del golpe de ariete, un fenómeno hidráulico que implica aumentos repentinos de presión y esfuerzos cíclicos en sus componentes. El acero inoxidable no solo resiste estas tensiones sin deformarse, sino que también mantiene su integridad estructural a lo largo del tiempo, lo que resulta en

un dispositivo confiable y de larga vida útil. Además, su resistencia a temperaturas extremas lo convierte en una opción ideal para aplicaciones en climas variados o en situaciones donde se requiere manejar fluidos a diferentes temperaturas [31].

Otra ventaja significativa del acero inoxidable es su facilidad de limpieza y mantenimiento. A diferencia de otros materiales que pueden requerir recubrimientos adicionales o tratamientos frecuentes para evitar la corrosión, el acero inoxidable es inherentemente resistente a la acumulación de sedimentos, algas y otros depósitos que pueden formarse en componentes hidráulicos expuestos al agua. Esto reduce la frecuencia de mantenimiento y mejora la eficiencia operativa de la bomba, lo que es especialmente beneficioso en instalaciones remotas o de difícil acceso [32].

Si bien el costo inicial del acero inoxidable puede ser mayor en comparación con otros materiales, su durabilidad y baja necesidad de mantenimiento compensan esta inversión a lo largo de su vida útil. En aplicaciones donde la fiabilidad y la longevidad son esenciales, como en el suministro de agua en comunidades rurales o sistemas agrícolas, el acero inoxidable representa una solución rentable a largo plazo. Además, su capacidad de ser reciclado al final de su vida útil lo convierte en una opción sostenible, alineada con prácticas responsables de ingeniería y conservación de recursos [33].

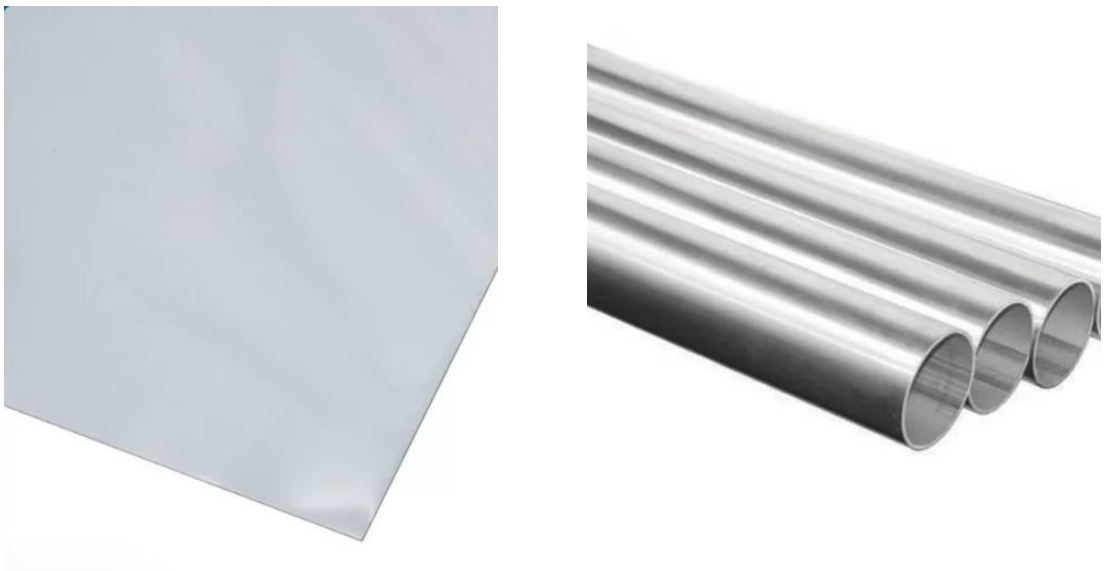


Figura 6. Acero inoxidable.

Opción 2

El acero galvanizado es una excelente opción para la fabricación de una bomba hidráulica debido a su fuerza, longevidad y resistencia a la corrosión. El acero galvanizado se obtiene al recubrir el acero con zinc, a través de un proceso conocido como galvanización, el cual forma una barrera protectora entre el material base y el agua, la humedad y otros promotores de corrosión. En el contexto de una bomba de ariete, que opera continuamente con agua y generalmente se instala en el exterior, esta protección es vital para asegurar una larga vida útil y tiempo mínimo de mantenimiento. Sin embargo, el zinc no es solo una cobertura física; sirve como protección galvánica. Esto significa que incluso si se daña la capa de zinc, el acero debajo no se oxida, lo que aumenta la expectativa de vida [34].

Desde un punto de vista mecánico, el acero galvanizado es igualmente apropiado dado que mantiene la resistencia y la rigidez con calidad suficiente para resistir las presiones y los esfuerzos cíclicos que este artefacto realiza. La bomba de ariete opera por medio de principios hidráulicos y consiste en golpes de ariete, un fenómeno que somete a mucha fuerza los componentes de la bomba [34].

Además, el acero galvanizado se puede fabricar fácilmente y está disponible. El acero galvanizado se utiliza comúnmente en varias industrias, lo que lo hace accesible en términos de costos y disponibilidad en los mercados locales. El acero galvanizado es fácil de cortar y soldar, al igual que ensamblar, por lo que la fabricación de una bomba de ariete en condiciones limitadas con un número mínimo de herramientas y piezas simplemente no es un proceso difícil [35].

En términos de sostenibilidad, el acero galvanizado también presenta ventajas. Su durabilidad reduce la necesidad de reemplazo frecuente, lo que minimiza el impacto ambiental asociado con la fabricación de nuevos componentes. Además, el acero es un material reciclable, y los componentes de una bomba de ariete pueden reutilizarse o reciclarse al final de su vida útil, contribuyendo a prácticas de construcción más sostenibles [35].

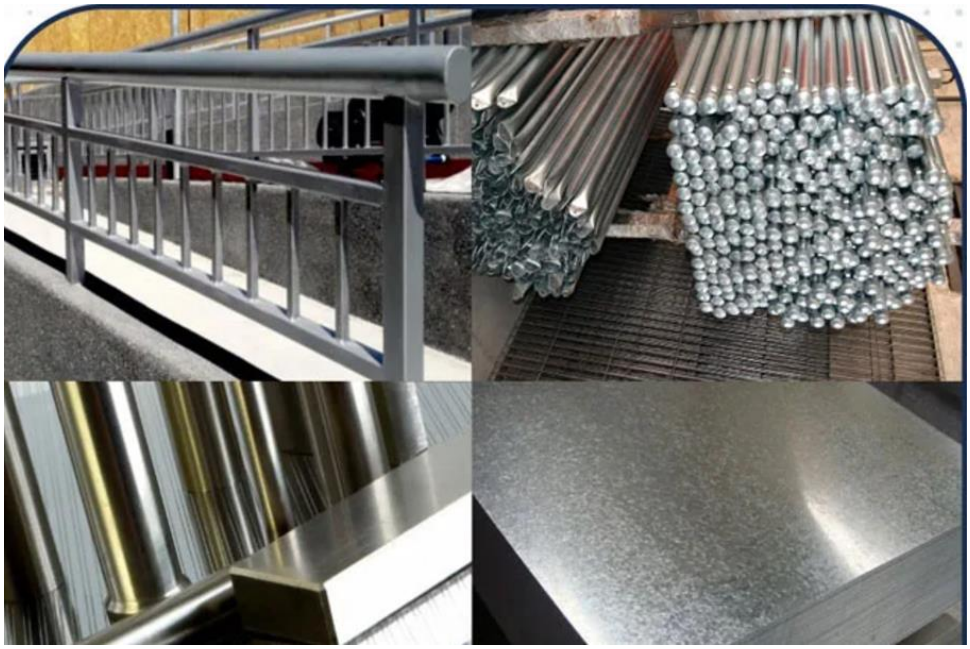


Figura 7. Acero galvanizado

Opción 3

El PVC (cloruro de polivinilo) es una opción viable para construir una bomba de ariete debido a su combinación de propiedades físicas, químicas y económicas que son sumamente factible para estas aplicaciones hidráulicas. Las principales ventajas del PVC es su elevada resistencia a la corrosión, lo que lo hace en un material ideal para sistemas que están en contacto constante con agua. A diferencia de los metales, el PVC no se oxida ni se degrada químicamente al exponerse a ambientes húmedos o al agua con minerales disueltos, lo que asegura una larga vida útil sin necesidad de tratamientos adicionales ni recubrimientos protectores.

Desde un punto de vista mecánico, el PVC es lo suficientemente resistente como para aguantar las presiones moderadas que se crean en una bomba de ariete, siempre y cuando se diseñe adecuadamente. Aunque no tiene la misma resistencia mecánica que el acero, su elasticidad le permite absorber los golpes de ariete de manera efectiva en sistemas de baja a media presión. Además, el PVC es liviano, lo que agilita el traslado, la instalación y el mantenimiento, especialmente en zonas remotas donde el acceso puede ser limitado y los recursos son escasos. Su ligereza también reduce el costo de la infraestructura de soporte necesaria para la instalación de la bomba [36].

Otra ventaja importante del PVC es su facilidad de fabricación y ensamblaje. Este material es ampliamente disponible y fácil de manipular con herramientas comunes, lo que permite la construcción de bombas de ariete de forma rápida y económica. Los tubos y accesorios de PVC están estandarizados y disponibles en una variedad de tamaños, lo que facilita la personalización del diseño según las necesidades específicas de cada aplicación. Además, las uniones pueden realizarse mediante soldadura química o acoplamientos mecánicos, proporcionando conexiones estancas y confiables con un esfuerzo mínimo [36], [37].

Desde una perspectiva económica, el PVC es una opción altamente rentable. Su costo inicial es significativamente más bajo que el de otros materiales como el acero inoxidable, y su bajo peso reduce los gastos de transporte. Además, su durabilidad y resistencia a la corrosión minimizan los costos de mantenimiento y prolongan la vida útil del sistema, lo que lo convierte en una solución económica a largo plazo para aplicaciones de bombeo en comunidades rurales o sistemas agrícolas [37].

En términos de sostenibilidad, aunque el PVC no es biodegradable, su larga vida útil y bajo mantenimiento contribuyen a reducir el impacto ambiental asociado con el reemplazo frecuente de componentes. Además, el PVC puede ser reciclado, lo que permite reutilizar el material al final de su ciclo de vida, promoviendo prácticas más sostenibles en ingeniería.



Figura 8. Tubos de PVC.

2.2.4 Método para selección de la mejor alternativa

El método para seleccionar el material adecuado para la construcción de una bomba de ariete comienza evaluando las condiciones operativas y los requisitos del sistema. Primero, se analiza el entorno de operación, considerando factores como la calidad del agua (pura, salina o con sedimentos), las condiciones climáticas (exposición al sol, humedad, temperaturas extremas) y el propósito del sistema (decorativo, agrícola o suministro de agua). Luego, se identifican las propiedades mecánicas necesarias, como la resistencia la presión, elasticidad y capacidad de soportar esfuerzos cíclicos. A continuación, se evalúa la resistencia a la corrosión para determinar si se requiere un material como acero inoxidable o PVC, según la exposición a agentes corrosivos. También se consideran aspectos económicos, incluyendo el costo inicial del material, el mantenimiento esperado y la disponibilidad en el mercado local. Finalmente, se integran factores prácticos como la facilidad de fabricación y ensamblaje, asegurando que el material permita construir una bomba funcional, confiable y de acuerdo con las necesidades específicas del proyecto. Este enfoque sistemático garantiza una selección de material que optimiza el rendimiento, la durabilidad y el costo del sistema.

Para el proceso de selección se define los siguientes criterios:

- Propuestas
- Criterio de evaluación
- Parámetros de comparación

Después elegir los parámetros se seleccionan diferentes opciones. En la siguiente Tabla se encontrarán valores de consideración en función de la relación que tienen las variables y su significado en la selección de cada valor.

Tabla 9. Selección de alternativas.

Valor	Descripciones
1	Criterios mejores de filas a las columnas
0.5	Criterios de filas y columnas iguales
0	Criterios de filas menores a las columnas

Se clasificará para cada ponderación, a continuación, se suma los resultados obtenidos y por último se agrega un valor igual a 1 a todas las alternativas para que no salga ninguna ponderación nula con respecto a las demás.

Planteamiento de criterios

Para una correcta planeación se realiza una calificación de criterios en función del requerimiento de funcionalidad, dichos criterios de evaluación se expresan a continuación.

a) **Resistencia Mecánica:** El material que será elegido tiene que soportar las fuerzas cíclicas que son generadas por el golpe de ariete y mantener su integridad estructural bajo las condiciones prolongadas [38].

b) **Resistencia a la corrosión:** Dado que la bomba se va a encontrar en contacto continuo con el agua, el material que sea elegido debe resistir a la corrosión y al desgaste químico, esto especialmente si el agua contiene sal, minerales, o es parcialmente acida [38].

c) **Condiciones ambientales:** El material tiene que adaptarse al entorno donde será instalada la bomba de ariete. Es importante que el material resista a la degradación por el sol, la humedad y a temperaturas extremas [38].

d) **Costos:** El presupuesto es un dato primordial en la fabricación de la bomba de ariete. Es necesario balancear el costo del material con su vida útil, el costo del mantenimiento y la disponibilidad en el mercado [38].

e) **Factibilidad de ensamblaje:** El material en cuestión debe tener la facilidad de cortar, moldear, soldar o unir con métodos disponibles [38].

Evaluación para cada criterio

Criterios	Resistencia Mecánica	Resistencia a la corrosión	Condiciones ambientales	Costos	Factibilidad de ensamblaje	Σ + 1	Ponderación
Resistencia Mecánica		**1**	**1**	**0.5**	**0.5**	**3**	**0.3**
Resistencia a la corrosión	**0.5**		**0.5**	**0.5**	**0.5**	**2**	**0.2**
Condiciones ambientales	**0.5**	**0.5**		**0.5**	**0.5**	**2**	**0.25**
Costos	**0.5**	**0.5**	**0.5**		**0.5**	**2**	**0.25**
Factibilidad de ensamblaje	**0.5**	**0.5**	**0.5**	**0.5**		**2**	**0.25**

Resistencia Mecánica	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Σ + 1	Ponderación
Opción 1		**1**	**1**	**3**	**0.46**
Opción 2	**0.5**		**0**	**1.5**	**0.23**
Opción 3	**0.5**	**0.5**		**2**	**0.31**
Suma				**6.5**	**1**

Resistencia a la corrosión	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Σ + 1	Ponderación
Opción 1		0.5	1	2.5	0.46
Opción 2	1		0	1.5	0.23
Opción 3	0.5	0.5		2	0.31
Suma				6	1

Condiciones ambientales	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Σ + 1	Ponderación
Opción 1		1	1	3	0.44
Opción 2	0.5		0.5	2	0.28
Opción 3	0.5	0.5		2	0.28
Suma				7	1

Costos	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Σ + 1	Ponderación
Opción 1		1	1	3	0.375
Opción 2	0.5		1	2	0.313
Opción 3	0.5	1		2	0.313
Suma				7	1

Factibilidad de ensamblaje	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Σ + 1	Ponderación
Opción 1		1	1	3	0.375
Opción 2	0.5		1	2.5	0.313
Opción 3	0.5	1		2.5	0.313
Suma				8	1

Criterio	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Resistencia Mecánica	**0.138**	**0.069**	**0.093**
Resistencia a la corrosión	**0.05**	**0.05**	**0.1**
Condiciones ambientales	**0.11**	**0.07**	**0.1**
Costos	**0.093**	**0.078**	**0.07**
Viabilidad de ensamblaje	**0.094**	**0.072**	**0.068**
Σ + 1	**0.392**	**0.266**	**0.325**
Prioridad	**1**	**3**	**2**

Explicación de la alternativa escogida

Opción 1

El acero inoxidable es la mejor opción para la fabricación de una bomba hidráulica de ariete debido a su excepcional resistencia a la corrosión, lo que garantiza un desempeño confiable incluso en contacto constante con agua, incluyendo la que contiene minerales o agentes corrosivos. Además, su alta durabilidad y resistencia mecánica lo hacen ideal para soportar las presiones y tensiones generadas durante el funcionamiento del sistema. Este material también requiere poco mantenimiento, prolongando la vida útil de la misma y se reduce costos en un periodo aplazado. Su carácter no reactivo asegura que el agua permanezca limpia y libre de contaminación, mientras que su acabado estético aporta un aspecto profesional al diseño. En resumen, el acero inoxidable combina funcionalidad, durabilidad y eficiencia, siendo la opción más adecuada.

4.. Lista de Materiales

Tabla 10. Listado de materiales.

Nombre	Cantidad	Precio U	Total
Neplos 1 pulg	8	1.95	15.6
Codo	1	2.10	2.10
Válvula de pie 1 pulg	1	15	15
Tee	2	3.14	6.28
Válvula 1 pulg.	1	12.92	12.92
Acople rápido B100	1	3.72	3.72
Acople rápido para manguera E100	1	2.30	2.30
Válvula doble link	1	5.10	5.10
Reductor de 1 pulg a 3/4	1	2.25	2.25
Extintor de 3 Litros	1	10	10
Reductor de 1 plg a 1/2	1	2.50	2.50
Neplos de 1/2	2	1.10	2.20
Válvula de 1/2	1	4.79	4.79
Acople rápido E50	1	2.84	2.84
Acople para manguera B50	1	3.10	3.10
Manguera de 1pulg 3 m.	1	2.16	6.48
Manguera de ½ pulg 3 m.	1	0.63	1.89
TOTAL			**99.07**

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. Diseño de la bomba de ariete para el funcionamiento de una fuente de agua tipo cascada para jardín.

Este proyecto describe la elaboración y fabricación de una bomba hidráulica destinada a alimentar una fuente de agua tipo cascada para un jardín. La finalidad es combinar funcionalidad y estética, creando un sistema que no solo mantenga un flujo constante de agua, sino que también realce la belleza del entorno natural. Además, se busca aprovechar el flujo del agua de una manera ecológica y eficiente, maximizando el uso de recursos hídricos disponibles. Su funcionamiento eficiente y sostenible lo convierte en una excelente opción para proyectos que buscan integrar tecnología amigable con el medio ambiente.

3.1 Planos generales de la fuente de agua tipo cascada para jardín.

A continuación, se presenta modelos de fuentes de agua tipo cascada como referencia para la operación de la bomba de ariete.



Figura 9. Modelo 1 de la fuente de agua tipo cascada



Figura 10. Modelo 2 de la fuente de agua tipo cascada

En la Figura 11 se muestra el dimensionamiento de la fuente de agua tipo cascada, para el funcionamiento de la bomba de ariete.

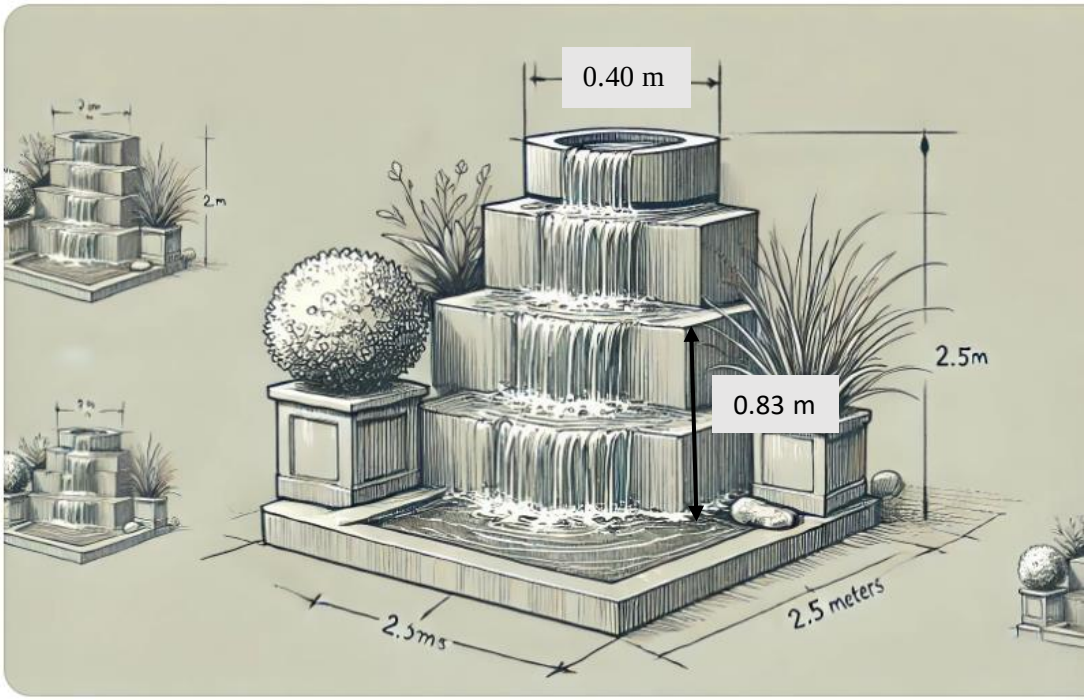


Figura 11. Dimensionamiento de la fuente de agua tipo cascada para jardín

3.1.2 Cálculo del caudal de entrada, salida y desechado de la bomba de ariete para el funcionamiento en la fuente de agua tipo cascada para jardín.

Para el cálculo del caudal de entrada nos basamos en las medidas que tiene el tanque de alimentación de la fuente de agua, como vimos en el punto anterior podemos ver que la dimensión es 40 centímetros y como es un cubo todas sus lados y profundidad son las mismas.

A continuación, sacamos el volumen del tanque de alimentación para así para calcular el caudal de entrada. [39]

$$V = a^3$$

Donde:

V = Volumen de cubo

a = Longitud del cubo

$$V = 40^3$$

$$V = 64000\ cm^3$$

$$V = 64\ lt$$

Por lo tanto, el método empleado para calcular el caudal desechado por método experimental el cual consiste en medir el tiempo en que se llena desde el inicio del tanque que tiene 35 litros, el cual nos dio un tiempo de 3 minutos y 42 segundos.

Aplicando la definición de caudal tenemos que: [39]

$$Q_d = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q_d = Caudal de alimentación (lt/min)

V = Volumen del tanque de alimentación (lt)

t = Tiempo (min)

$$Q_d = \frac{35}{3.43}$$

$$Q_d = 10.23\ lt/min$$

Para calcular el caudal de salida, se utiliza el método experimental, el cual consiste en tomar una jarra graduada de 2 litros y con la ayuda de un cronometro se toma el tiempo en que se demora en llenar, con esto nos da un tiempo de 21 segundos y 21 milisegundos.

Así de manera análoga al caudal de alimentación se divide este para el tiempo, como se muestra a continuación. [39]

$$Q_s = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q_s = Caudal de salida(lt/min)

V = Volumen del tanque de alimentación (lt)

t = Tiempo (min)

$$Q_s = \frac{2}{0.35}$$

$$Q_s = 5.71\ lt/min$$

Para calcular el caudal de alimentación tenemos que realizar la suma del caudal de desechado más el caudal de salida, como se muestra a continuación. [39]

$$Q_a = Q_d + Q_s$$

Donde:

Q_a = Caudal de alimentación (lt/min)

$$Q_a = 10.23 + 5.71$$

$$Q_a = 15.94\ lt/min$$

Colocar una bomba sumergible en la fuente de agua tipo cascada es fundamental para garantizar su correcto funcionamiento. La bomba de ariete necesita un flujo constante de líquido desde una fuente inicial, pero no puede reintegrar el agua al circuito cerrado de la cascada. Por ello, la bomba sumergible es la encargada de recoger el fluido

acumulado en el depósito inferior y devolverla al tanque superior, asegurando un ciclo continuo. Esto permite que el agua fluya sin interrupciones, manteniendo el efecto visual y sonoro de la cascada, además de prevenir el desbordamiento o el vaciado del sistema.

Para la elección de una bomba sumergible se debe de conocer parámetros importantes tal como el caudal que nos da la bomba debe ser mayor al caudal desechado calculado anteriormente.

Por lo tanto, utilizaremos una bomba sumergible de un caudal 12.5 litros por minuto, con una elevación de 1.60 metros, y potencia de 15 Vatios. Las dimensiones de la bomba sumergible son de 3.1 x 2 x 3.2 pulgadas. Con un costo de 28 dólares.



Figura 12. Bomba Sumergible

3.2 Parámetros de diseño

Cada pequeño detalle es importante en el planteamiento del diseño de una bomba de ariete hidráulico. En los estudios que se han logrado en torno al ariete se pueden dividir en 3 principales agencias técnica empírica, analítica y racional[21].

Para proyectar un elemento o un aparato mecánico se necesita determinar los criterios o fenómenos que intervienen en el funcionamiento de esta. Para esto se establecen 3 parámetros de acuerdo con el tipo de bomba y que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 11. Parámetros de diseño [21].

Parámetros	**Descripción**
Caudal disponible	Este parámetro dependerá siempre de cual da el origen del fluido. Este criterio se puede obtener el diámetro de la alimentación como también el de salida
Altura de alimentación	Es la altura perpendicular al origen en donde se obtiene el caudal
Altura de entrega	Este parámetro tiene que ver con la extensión que va a ser elevado el fluido, esto dependerá de la necesidad que tengamos.

Altura de alimentación

Se presenta la ecuación para el cálculo de la altura de alimentación:[39]

$$H_s = \frac{1}{3} * H_d \qquad \text{(Ec. 3.1)}$$

Donde:

H_s = Altura de suministro o alimentación (m)

H_d = Altura de descarga (m)

$$H_s = \frac{1}{3} * 2.5$$

$$H_s = 0.83\ m$$

3.2.1. Cálculo de la longitud de la manguera de alimentación

Con el siguiente cálculo se va a determinar la longitud de la tubería de alimentación [21].[39]

$$L_a = \frac{H_s}{\sin\phi} \quad \text{(Ec. 3.2)}$$

Donde:

L_a = Longitud de la tubería de alimentación (m)

H_s = Altura de alimentación (m)

ϕ = Angulo de inclinación (°)

Para poder resolver se realiza el cálculo de la longitud de la tubería la cual se tomó en cuenta los grados de inclinación entre el reservorio y la maquina porque es un factor clave para optimizar la eficiencia del sistema. Se considera que las inclinaciones de 30, 45 y 60 grados son opciones viables y se procede a calcular con la ecuación antes mencionada.

Tabla 12. Cálculo de la longitud de la tubería de descarga con diferentes tipos de grado de inclinación

Cálculo de la longitud de la tubería de descarga con diferentes tipos de grados de inclinación			
Altura de alimentación (H_a)	**Grados de Inclinación (°)**		
0.83 m	30°	45°	60°
Total (m)	1.66 m	1.17 m	0.95 m

3.2.2. Cálculo del diámetro de la manguera de alimentación

Para poder determinar el diámetro, ocuparemos algunas relaciones que se muestran a continuación [21], [39]

$$\frac{L_a}{\emptyset_a} = 150 \quad \text{(Ec. 3.3)}$$

$$\frac{L_a}{\emptyset_a} = 500 \quad \text{(Ec. 3.4)}$$

Donde:

$\emptyset_a$ = Diámetro de la tubería de alimentación

Dado a que tenemos 3 opciones de grado de inclinación se calculara con las 3 variables.

Cálculo del diámetro de la tubería de alimentación, con tres diferentes grados de inclinación					
30		**45**		**60**	
$\emptyset_{amax}$	$\emptyset_{amin}$	$\emptyset_{amax}$	$\emptyset_{amin}$	$\emptyset_{amax}$	$\emptyset_{amin}$
0.011	0.00332	0.0078	0.00234	0.0063	0.0019

Tabla 13. Cálculo del diámetro de la tubería de alimentación, con tres diferentes grados de inclinación

Con este valor podemos determinar que el diámetro para la tubería de alimentación con un grado de inclinación de 30°es de 0.011 m la cual ocuparíamos una tubería de 1 pulgada de diámetro, la cual en metros nos da un valor de 0.025 m.

3.2.3. Cálculo del diámetro de la manguera de descarga

Según estudios y métodos, para encontrar el diámetro óptimo de la tubería de descarga debe de ser igual a dos veces el diámetro de la tubería de alimentación en caso de que el caudal sea alto o en caso contrario será cuatro veces el diámetro de la tubería [21].

El diámetro de la tubería de descarga viene dado por la siguiente ecuación. [39]

$$D_d = \frac{D_a}{2} \qquad \text{(Ec. 3.5)}$$

Donde:

$D_d =$ Diámetro de descarga (m)

$D_a =$ Diámetro de alimentación (m)

Entonces,

$$D_d = \frac{0.025m}{2}$$

$$D_d = 0.0125\, m$$

$$D_d = 0.5\, in$$

Longitud de la manguera de descarga

La manguera de descarga debe tener 3 veces la longitud de la tubería de alimentación, ya que se debe una altura considerable al entorno [21].

Para el cálculo de la longitud de la tubería de descarga realizamos el siguiente análisis matemático. [39]

$$H_d = 3 * H_s \qquad \text{(Ec. 3.6)}$$

Donde:

$L_d =$ Altura de descarga

$H_s =$ Altura de entrega

$$L_d = 3 * 0.83$$

$$L_d = 2.50\, m$$

Con este resultado dice que la altura de la manguera de descarga es de 3 metros en el caso optimo y sin considerar las pérdidas existentes.

3.2.4. Cálculo de velocidad en lo largo de la manguera

A continuación, se da la ecuación para el resolver la velocidad a lo lago de la manguera: [39]

$$Q = A * v \qquad \text{(Ec. 3.7)}$$

Donde:

Q = Caudal $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

A = Área transversal (m^2)

v = velocidad del flujo $\left(\frac{m}{s}\right)$

Despejando la velocidad tenemos como resultado:

$$v = \frac{Q}{A} \qquad \text{(Ec. 3.8)}$$

Por consiguiente, tenemos que calcular el área transversal

$$A = \frac{\pi * {D_a}^2}{4} \qquad \text{(Ec. 3.9)}$$

$$A = \frac{\pi * 0.025^2}{4}$$

$$A = 0.00049\, m^2$$

Con el área transversal ya definida, procedemos a calcular la velocidad

$$v = \frac{0.00026}{0.00049}$$

$$v = 0.53\ \frac{m}{s}$$

Determinación de régimen de fluido

Velocidad del flujo

Para resolver la velocidad del flujo utilizamos la siguiente ecuación: [39]

$$\boldsymbol{V} = \sqrt{2 * g * H_s} \qquad \text{(Ec. 3.10)}$$

$$\boldsymbol{V} = \sqrt{2 * 9.81 * 0.83}$$

$$\boldsymbol{V} = 4.04\ m/s$$

Número de Reynolds

Obtenemos Reynolds con la siguiente expresión [39]

$$Re = \frac{v * D_a}{\nu} \qquad \text{(Ec. 3.11)}$$

Donde:

ν = viscosidad cinemática $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

La viscosidad tiene un valor de $1.14x10^{-6}\ \frac{m^2}{s}$

$$Re = \frac{0.53 * 0.025}{1.14x10^{-6}}$$

$$Re = 11622.81$$

Rugosidad relativa

En el siguiente cálculo se debe tomar a consideración el material y se resuelve con los siguientes datos como son la rugosidad absoluta para el nylon es de 0.015 mm (0.0000015 m) y el diámetro interior de la tubería que es de 1 in o 0.025 m.[39]

$$Rr = \frac{\varepsilon}{D_i} \qquad \text{(Ec. 3.12)}$$

Donde:

Di = Diámetro interno (m)

ε = Rugosidad absoluta del material (m)

Rr = Rugosidad relativa

$$Rr = \frac{0.0000015}{0.025}$$

$$Rr = 0.000006$$

Factor de fricción

Esta ecuación, permite resolver de manera inmediata el valor de factor de fricción para un flujo turbulento. [39]

$$f_f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7*Rr}+\frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right]^2} \qquad \text{(Ec. 3.13)}$$

Donde:

f_f = Factor de fricción

$$f_f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7 * 0.000006}+\frac{5.74}{11622.81^{0.9}}\right)\right]^2}$$

$$f_f = 0.012$$

Pérdidas por fricción

Una vez calculada la velocidad del flujo de acuerdo con nuestro caudal, se calcula las perdidas por fricción en la cual se utilizará el modelo matemático de Darcy [22]. [39]

$$h_f = f_f * \frac{L_d}{D_a} * \frac{v^2}{2g} \qquad \text{(Ec. 3.14)}$$

Donde:

h_f = Perdida por fricción (m.c.a)

g = Aceleración de gravedad (m^2/s)

L = Longitud de la manguera de descarga (m)

$$h_f = 0.012 * \frac{2.5}{0.025} * \frac{0.53^2}{2 * (9.81)}$$

$$h_f = 0.02\, m.c.a$$

Presión a la entrada del ariete

Para este cálculo ocupamos la fórmula de la ecuación de Bernoulli [22]. [39]

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1{}^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2{}^2}{2g} \qquad \text{(Ec. 3.15)}$$

Despejamos la presión P2 y tenemos

$$P_2 = P_1 + \gamma g H_s - \gamma g Z_2 - \gamma g h_f$$

Se considera que el punto 2 tiene de referencia el piso por lo tanto tiene un valor de cero y por ende se anula su valor.

$$P_2 = 7946\, Pa$$

3.2.5. Cálculos de las válvulas

Pérdidas Hidráulicas

En base a las ecuaciones de la teoría de Krol la cual creo un modelo matemático sobre la relación de la carrera de la válvula de impulso con las pérdidas a lo largo de ariete, que queda expresada a continuación [24]: [39]

$$R_s = \frac{2.43-(1.06*s)+10^{(0.95-13.05*s)}}{s} \quad \text{(Ec. 3.16)}$$

Donde:

R_s= Pérdidas en la válvula de impulso (m)

s = Carrera de la válvula (m)

Para el tipo de válvulas que se va a ocupar tiene un peso de 0.25 Kg, la carrera para esta válvula da 0.30 mm o 0.0003 m, se toma los modelos matemáticos realizados por Krol, así se obtiene el siguiente valor. [39]

$$R_s = \frac{2.43 - (1.06 * 0.0003) + 10^{(0.95-13.05*0.0003)}}{0.0003}$$

$$R_s = 5.01\ m$$

Velocidad de flujo en la entrada de la válvula

Se realiza un despeje en la ecuación de Darcy, en el cual se despeja la velocidad de flujo en el inicio de las válvulas, el resultado de esta depende si las válvulas se podrían abrir o cerrar, es muy importante esta condición para el diseño de la bomba de ariete, sea el caso de que el valor no sea el adecuado se tendrá que volver a replantear esta variable [22]. [39]

$$V_v = \sqrt{\frac{2*Hs*g}{R_S+1+f_f*\frac{La}{Da}}} \quad \text{(Ec. 3.17)}$$

Donde:

V_v = Velocidad de la válvula (m/s)

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

$$V_v = \sqrt{\frac{2 * 0.83 * 9.81}{5.015 + 1 + 0.02 * \frac{1.66}{0.025}}}$$

$$V_v = 1.36 \frac{m}{s}$$

Velocidad de propagación

Siguiendo con el modelo Krol, dice que al momento de que la válvula está cerrada el pasa a gran velocidad con esto se forma una onda de propagación de agua. Este parámetro dependerá del espesor del material de la manguera y la longitud de la manguera, así que la expresión viene dada por la siguiente ecuación [24]. [39]

$$V_p = \frac{1425}{\sqrt{1+\frac{D_i}{e}*\frac{\varepsilon_f}{\varepsilon_t}}} \quad \text{(Ec. 3.17)}$$

Donde:

V_p = Velocidad de propagación (m/s)

e = Espesor de la manguera (m)

ε_f = Módulo volumétrico de elasticidad del agua (MPa)

ε_t = Módulo del material de la tubería (MPa)

$$V_p = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{0.025}{0.047} * \frac{2200}{193}}}$$

$$V_p = 530\ m/s$$

Presión dinámica

Esta presión se produce una vez que el caudal este fluyendo por el cuerpo del ariete y se lo calcula por la siguiente ecuación [21]. [39]

$$P_d = \frac{{V_v}^2 * \rho}{2} \quad \text{(Ec. 3.18)}$$

Donde:

P_d = Presión dinámica (Pa)

ρ = Densisad del fluido (Kg/m^3)

$$P_d = \frac{1.36^2 * 998.2}{2}$$

$$P_d = 936.76\ Pa$$

Tiempo de cerrado

Para este cálculo se ocupa la siguiente ecuación. [39]

$$T_c = \frac{2*L_a}{V_p} \qquad \text{(Ec. 3.19)}$$

Donde:

T_c = Tiempo de cerrado (s)

$$T_c = \frac{2 * 1.66}{566.13}$$

$$T_c = 0.0058\ s$$

3.2.6. Cálculo de caudal de un ciclo

Siguiendo con el modelo matemático de Krol el cual dijo que, para el cálculo de caudal de un ciclo, se toma en cuenta el tiempo de duración de ciclo, el cual es estimado en 1 segundo, a este se lo divide en el periodo de aceleración con 0.9 segundos, el tiempo que ocupa de bombear es de 0.05 segundos y el retroceso sería igual a 0.05 segundos, todo esto de acuerdo con datos experimentales [24].

La ecuación viene dada por: [39]

$$Q_b = \frac{\pi * {D_c}^2}{4t} * \int_{T_A}^{T_A+T_D} V_v(t)dt \qquad \text{(Ec. 3.20)}$$

Donde:

Q_b = Caudal de bombeo por ciclo (m^3/s)

D_c = Diámetro de la válvula (m)

T_A = Tiempo de aceleración (s)

T_D = Tiempo de descarga (s)

$$Q_b = \frac{\pi * 0.025^2}{4} * \int_{0.9}^{0.9+0.05} 1.36dt$$

$$Q_b = \frac{\pi * 0.025^2}{4} * \int_{0.9}^{0.95} 1.57dt$$

$$Q_b = 4.91x10^{-4} * \int_{0.9}^{0.9+0.05} 1.57dt$$

$$Q_b = 0.000033\ m^3/s$$

3.2.7. Cálculo de la energía cinética

Para el cálculo primero se procede a calcular la masa [39]

$$m = Q * \rho * T \qquad \text{(Ec. 3.21)}$$

Donde:

m = Masa (Kg)

$$m = 0.00062 * 998.4 * 1$$

$$m = 0.62\ Kg$$

Entonces:

$$E_c = 0.5 * m * V_v \qquad \text{(Ec. 3.22)}$$

Donde:

E_c = Energía cinética (Nm)

$$E_c = 0.5 * 0.62 * 1.36$$

$$E_c = 0.42\ Nm$$

3.2.8. Cálculo de sobrepresión

El cálculo de la sobrepresión es igual a [21]: [39]

$$S_p = \frac{V_p * V_v}{g} \qquad \text{(Ec. 3.23)}$$

Donde:

S_p = Sobrepresión (m.c.a)

$$S_p = \frac{530 * 1.36}{9.81}$$

$$S_p = 73\ m.c.a$$

Carga máxima y mínima

Para este cálculo utilizamos el resultado de la sobrepresión y la altura de alimentación, que está dada por la siguiente ecuación [21]. [39]

$$C_{max} = S_p + H_s \qquad \text{(Ec. 3.24)}$$

$$C_{min} = S_p - H_s \qquad \text{(Ec. 3.25)}$$

Donde:

C_{max} = Carga máxima (m)

C_{min} = Carga mínima (m)

$$C_{max} = S_p + H_s$$

$$C_{max} = 73 + 1.33$$

$$C_{max} = 74.33\ m$$

$$C_{min} = S_p - H_s$$

$$C_{min} = 73 - 1.33$$

$$C_{min} = 71.67\ m$$

Presión máxima y mínima

Ahora procedemos a calcular las presiones con la siguiente ecuación: [39]

$$P_{max} = \rho * g * C_{max} \quad \text{(Ec. 3.26)}$$

$$P_{min} = \rho * g * C_{min} \quad \text{(Ec. 3.27)}$$

Donde:

P_{max} = Presión máxima del cuerpo del ariete (MPa)

P_{min} = Presión mínima del cuerpo de ariete (MPa)

$$P_{max} = 998.4 * 9.81 * 79.81$$

$$P_{max} = 0.72\ MPa$$

$$P_{min} = 998.4 * 9.81 * 77.15$$

$$P_{min} = 0.70\ MPa$$

3.2.9. Cálculo y dimensionamiento del tanque de presión

Presión inicial en el tanque

La presión inicial se detalla antes del choque hidráulico, para esto se utiliza la siguiente expresión [21]: [39]

$$P_1 = P_a + S_p * \rho * g \quad \text{(Ec. 3.28)}$$

Donde:

P_1 = Presión inicial en el tanque de presión (MPa)

P_a = Presión atmosférica (Pa)

$$P_1 = 74695 + 73 * 998.4 * 9.81$$

$$P_1 = 0.78\,MPa$$

3.3 Volumen

3.3.1. Volumen de la cámara de aire

La cámara de aire cumple la función de amortiguar y regular los golpes de presión, siendo fundamental para el funcionamiento de la bomba de ariete. El aire en la cámara actúa como un elemento elástico que se comprime durante la fase de sobrepresión, absorbiendo parte del agua y reduciendo el exceso de presión, y se expande en la fase de hundimiento, liberando agua almacenada para mantener un flujo continuo hacia la tubería de descarga [21].

Para el diseño, se selecciona una tubería de 1 pulgada, cédula 40, debido a su disponibilidad en el mercado local. El inicio de la cámara de aire tiene un diámetro de 1 pulgada y una extensión de 19 pulgadas (0.4826 m), determinada mediante métodos experimentales.

Volumen en la cámara de aire

Para encontrar el volumen de aire dentro de la cámara de aire, se calcula con la siguiente ecuación: [39]

$$V_a = \frac{\pi * {D_i}^2 * L_c}{4} \qquad \text{(Ec. 3.29)}$$

Donde:

V_a = Volumen de aire en la cámara de aire (m^3)

D_i = Diámetro interno (m)

L_c = Longitud de la cámara de aire (m)

$$V_a = \frac{\pi * 0.09^2 * 0.28}{4}$$

$$V_a = 0.0017\,m^3$$

Volumen de agua dentro de la cámara de aire

Para encontrar el volumen del agua, se necesita la longitud del agua que puede entrar en la cámara de aire: [39]

$$V_{agua} = \frac{{D_i}^2 * \pi}{4} * L_{agua} \quad \text{(Ec. 3.30)}$$

Donde:

V_{agua} = Volumen del agua dentro de la cámara de aire (m^3)

L_{agua} = Longitud del agua (m)

$$V_{agua} = \frac{0.09^2 * \pi}{4} * 0.1$$

$$V_{agua} = 0.0006\ m^3$$

3.3.2. Cálculo de volumen de aire al inicio del proceso

Para calcular este volumen se tiene que proceder hacer la diferencia de los volúmenes ya encontrados, como se muestra a continuación [21]. [39]

$$V_{aire} = V_a - V_{agua} \quad \text{(Ec. 3.31)}$$

$$V_{aire} = 0.0017 - 0.0006$$

$$V_{aire} = 0.0011\ m^3$$

3.3.3. Cálculo de volumen de aire al final del proceso

Par realizar el cálculo de volumen de aire al final del proceso utilizamos la siguiente ecuación: [39]

$$V_{aire\,2} = V_{aire} - V_{agua} \quad \text{(Ec. 3.32)}$$

$$V_{aire\,2} = 0.0011 - 0.0006$$

$$V_{aire\,2} = 0.005\ m^3$$

3.3 Procedimiento de construcción de Bomba de ariete

Primero se realiza la obtención de los materiales, la cual visto anteriormente que la mejor opción es el acero inoxidable.

Una vez obtenido los materiales para la construcción, procedemos a poner teflón en todos los neplos para evitar que exista algún tipo de fuga de agua, y con la ayuda de una llave de tubo se ajusta y se va uniendo las partes de la bomba de ariete



Figura 13. Procedimiento de construcción bomba de ariete 1.



Figura 14. Procedimiento de construcción de bomba de ariete 2.

5. Manual de mantenimiento

1. Introducción

Objetivo

Este documento detalla los procedimientos para mantener la bomba de ariete en muy buenas condiciones, asegurando su funcionamiento y alargado su vida útil.

Descripción del equipo

La bomba de ariete es una maquina hidráulica que utiliza energía cinética de un fluido para bombear parte del flujo a una superficie elevada, sin necesidad de electricidad.

2. Frecuencia de mantenimiento

Tabla 14 Frecuencia de mantenimiento.

Tarea	Frecuencia
Inspección visual	Semanal
Limpieza de componentes	Mensual
Revisión de válvulas	Trimestral
Revisión de la cámara de aire	Cada 6 meses
Cambio de piezas desgastadas	Según la necesidad (1-2 años)

3. Herramientas necesarias

- Llave inglesa o llave ajustable.



Figura 15.Llave inglesa.

- Destornillador.



Figura 16. Destornillador

- Sellador de roscas o teflón.



Figura 17. Teflón

- Cepillo para limpieza.

- Repuestos (válvulas, juntas, tornillos, etc.).

4. Mantenimiento preventivo

4.1. Inspección visual (semanal)

1. Verifica que no haya fugas en las tuberías o conexiones.
2. Inspecciona las válvulas para asegurarte de que no estén atascadas o dañadas.
3. Revisa que el agua fluya sin obstrucciones.

4.2. Limpieza de componentes (mensual)

1. Desmonta la válvula de golpe y la válvula de retención.
2. Limpia cualquier suciedad, arena o restos de partículas.
3. Lava el interior de la cámara de aire con agua limpia para evitar acumulación de residuos.

4.3. Revisión de válvulas (cada 3 meses)

1. Retira las válvulas y examina si los sellos están desgastados o dañados.
2. Sustituye las juntas si están deterioradas.
3. Asegúrate de que las válvulas abran y cierren correctamente sin trabarse.

4.4. Revisión de la cámara de aire (cada 6 meses)

1. Verifica si la cámara de aire mantiene suficiente presión. Si es necesario, repón el aire con un compresor o una bomba manual.
2. Inspecciona la cámara en busca de grietas o corrosión.

4.5. Cambio de piezas desgastadas (1-2 años o según necesidad)

1. Sustituye las válvulas si están deformadas o tienen fugas.
2. Cambia las tuberías si presentan grietas o perforaciones.
3. Reemplaza los sellos o empaques en caso de desgaste evidente.

5.Resolución de problemas comunes

Tabla 15. Resolución de problemas comunes.

Problema	Causa	Solución
No fluye agua a la salida	Válvula de retención obstruida	Limpia o sustituye la válvula.
Disminución del caudal bombeado	Pérdida de aire en la cámara	Revisa y recarga la cámara de aire.
Golpes muy fuertes o ruidosos	Válvula de golpe defectuosa o mal ajustada	Reemplaza o ajusta la válvula.
Fugas en las conexiones	Juntas desgastadas o mal selladas	Sustituye juntas y aplica sellador.

6. Seguridad

1. Apaga el flujo de agua antes de realizar mantenimiento.
2. Usa herramientas adecuadas para evitar daños a los componentes.
3. Maneja las válvulas con cuidado para evitar lesiones o roturas.

7. Registro de mantenimiento

Registro de tareas realizadas, la fecha y cualquier observación importante. Esto ayudará a mantener un control sobre el estado del sistema.

Tabla 16. Registro de mantenimiento.

Fecha	Tarea Realizada	Observaciones	Responsable
YY-MM-DD	Limpieza de válvulas	Válvula de golpe limpia	[Nombre]

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Para este proyecto se escogió una bomba de ariete hidráulica mono impulsor, se consideró un caudal de $15.94\ lt/min$ con lo cual se obtuvo un valor de velocidad a lo largo de la tubería de 0.53 m/s, con un número de Reynolds 11622.81 la cual nos dice que el régimen es de un flujo turbulento, de acuerdo con el modelo matemático de Krol se obtuvo los valores de velocidad del flujo y de la presión dinámica de 4.42 m/s y $936.76\ Pa$ respectivamente. Así obteniendo un valor de la presión máxima de $0.234\ MPa$ en el cuerpo del ariete con un volumen de del tanque de presión de 4 lt y un caudal de salida de 5,71 lt/min.

- El proceso de diseño y construcción demostró la viabilidad técnica y económica del proyecto. Al utilizar materiales fácilmente accesibles y técnicas de fabricación convencionales, se logró desarrollar un sistema confiable y robusto con un presupuesto limitado. Esto demuestra que, con un diseño adecuado y un análisis exhaustivo de las condiciones de operación, es posible implementar tecnologías eficientes y sostenibles sin incurrir en altos costos. Además, el éxito del proyecto refuerza la posibilidad de replicar esta tecnología en otras áreas o comunidades con necesidades similares.

- La fabricación de una bomba de ariete para su funcionamiento en una fuente de agua tipo cascada en un jardín demostró ser una solución práctica y eficiente para el transporte y recirculación de agua. Durante el proceso de diseño, se tuvieron en cuenta factores como la altura que es de 2 metros, el caudal de la cascada la cual es de 20.85 lt/min, y el volumen del tanque de alimentación que es de 64 litros, así también como las características estéticas del jardín, logrando integrar el sistema sin alterar su armonía visual. La fabricación de la bomba se llevó a cabo utilizando materiales resistentes y accesibles, lo que garantiza su durabilidad y minimiza los costos de mantenimiento. Este aspecto

es crucial, ya que asegura un funcionamiento continuo del sistema con requerimientos mínimos de intervención, lo que resulta ideal para aplicaciones en jardines residenciales o públicos.

- Este proyecto no solo favorecerá la operación de una fuente de agua de forma cascada, sino que también actuará como un recurso educativo de gran valor para los alumnos. Esta infraestructura facilitará a los estudiantes la experiencia y entendimiento práctico de una tecnología hidráulica sustentable, fomentando el aprendizaje práctico en ingeniería civil y mecánica. Además, la existencia de una fuente de agua de forma cascada, alimentada por la bomba de ariete, promoverá un entorno tranquilo y atractivo en el patio, generando un lugar que promueva la creatividad, el trabajo colaborativo y la investigación entre los alumnos. Por lo tanto, este proyecto se transforma en un modelo evidente de cómo la ingeniería puede fusionarse con la estética y la sostenibilidad, fomentando la curiosidad y el interés.

4.2 Recomendaciones

- Para garantizar el éxito y la funcionalidad a largo plazo del proyecto, es fundamental implementar ciertas medidas que maximicen su eficiencia y vida útil. En primer lugar, se recomienda utilizar el plan de mantenimiento preventivo y correctivo la cual incluye inspecciones periódicas de las válvulas, tuberías y demás componentes del sistema. Este mantenimiento debe enfocarse en detectar y corregir posibles fugas, desgaste en las piezas móviles y acumulación de sedimentos, ya que estos factores pueden afectar el funcionamiento de la bomba. Una rutina de limpieza y ajuste garantizará que el sistema opere en condiciones óptimas y sin interrupciones.

- Para asegurar el éxito en el proyecto que funcione en una fuente de agua tipo cascada en un jardín, se recomienda realizar un análisis exhaustivo de las condiciones del sitio donde se instalará el sistema. Es fundamental estudiar el caudal y la presión del agua disponible en la fuente, ya que estos parámetros influirán directamente en la selección de los componentes de la bomba, como

las válvulas, la tubería y capacidad de la bomba misma. Un diseño adecuado, teniendo en cuenta estos factores, permitirá una operación eficiente del sistema, asegurando que el flujo de agua en la cascada se mantenga constante y sin interrupciones.

- Una recomendación es seleccionar materiales resistentes y apropiados para las condiciones ambientales en las que operará la bomba de ariete. Dado que el sistema estará expuesto a factores como la humedad constante, el contacto con agua y la posible presencia de sedimentos, es esencial utilizar materiales que no solo sean duraderos, sino que también ofrezcan resistencia a la corrosión. Se deben emplear componentes metálicos galvanizados o de acero inoxidable para las partes expuestas al agua, y se debe considerar la protección adecuada para las piezas internas que podrían verse afectadas por el desgaste o la acumulación de residuos. Esto garantizará la longevidad del sistema y minimizará las necesidades de mantenimiento.

V. BIBLIOGRAFÍA

[1] A. Saavedra Torres, "Evaluación del rendimiento de la bomba de ariete hidráulico multi-impulsor de Breur," Universidad Nacional de Ingeniería., 2018.

[2] J. Twyman, "Water hammer in a pipe network due to a fast valve closure. Golpe de ariete en una red de tuberías debido al cierre rápido de una válvula.," *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, vol. 33, no. 2, pp. 193–200, Dec. 2018.

[3] J. B. Arapa Quispe, "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*, vol. 77, no. 2, p. 155, Dec. 2016, doi: 10.21704/ac. v77i2.485.

[4] J. Ortega Nebra, "Construcción, caracterización hidráulica y estudio de aplicación de una bomba de ariete para el riego de una finca agrícola," Universidad Zaragoza, Huesca, 2013.

[5] J. M. Romero Guerrero and luis L. Gutiérrez, "El ariete hidráulico. Poyecto de Instalación en Ntongui (Angola)," Madrid, 1, 2014.

[6] B. De la Cruz and Ramírez León, "Ariete Hidráulico," Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho- Perú, 2016.

[7] C. Díaz and S. Segura, "Diseño de una Bomba de Ariete Hidráulico para suministrar agua en el centro poblado San Juan de Tunguillan-Las Pirias, Jaén-Cajamarca," *Revista Pakamuros*, vol. 4, pp. 70–76, Dec. 2023.

[8] A. Caguana, “Modelado y simulación, con enfoque mecatrónico, de la dinámica y control automático del golpe de ariete, en sistemas hidromecánicos, para limitar el transiente de sobrepresión.,” Escuela Politécnica Nacional, 2023.

[9] M. Lahlou, “¿Qué es el golpe de Ariete?,” *Ingeniería de Fluidos*, pp. 1–2, 2016.

[10] X. S. Rivadeneira and L. F. Silva, “Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico con el desarrollo de un software para su dimensionamiento,” Universidad Politécnica Salesiana, Quito.

[11] M. A. Pérez, “Bomba de Ariete hidráulico con cámara de aire,” Blogger.

[12] J. Montenegro, “Construcción e instalación de una bomba de ariete para el abastecimiento del beneficio húmedo de café en la finca El Almendro, San Rafael del Norte,” Universidad Nacional Agraria, Managua - Nicaragua, 2023.

[13] C. Kolstad, “Que es el Golpe de Ariete,” Tameson.

[14] R. Quispe, “Evaluación y mejoramiento del abastecimiento del sistema de agua potable aplicando golpe de ariete, barrio Partido Alto-Shanao-Lamas-2018,” Universidad César Vallejo, Perú, 2018.

[15] C. Aguirre, “Optimización del Rendimiento de la Bomba de Agua de Ariete para Riego Agrícola, utilizando Principios de Mecánica de Fluidos,” *Reincasol*, vol. 3, no. 6, 2024.

[16] A. González, “Estudio paramétrico de la bomba de ariete,” Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2020.

[17] G. Meza, “Análisis del funcionamiento de una bomba de ariete hidráulico artesanal con diámetro de una pulgada,” Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2019.

[18] D. Gomez and D. Triana, “Diseño y Construcción de una Bomba de Ariete Hidráulico para uso residencial,” Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Caldas- Colombia, 2015.

[19] J. Vilcherrez, “Bomba de Ariete de 1 pulgada DN25,” VVA Industrial, Supplies & Services.

[20] P. Garzón and J. Martínez, “Análisis técnico para definir el proceso diseño y construcción de una bomba de ariete,” Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Colombia, 2022.

[21] K. Chicaiza, “Diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico para la comunidad ‘Chilcapamba’ del Cantón Mocha,” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2022.

[22] R. Mott and J. Untener, *Mecánica de Fluidos*, Sétima edición. Pearson, 2015.

[23] Y. Cengel and J. Cimbala, *Mecánica de fluidos*, Segunda. Mc Graw Hill, 2013.

[24] F. White, *Mecánica de fluidos*, Quinta. Mc Graw Hill.

[25] M. Palomino, “Diseño y construcción de una Bomba de arietehidráulico para el fundo Porvenir, Huanta-2016,” Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho - Perú, 2016.

[26] P. Diwan, A. Patel, and L. Sahu, “Desing and Fabrication of Hydraulic Ram with Methods of Improving Efficiency,” *International Journal of Current Engineering and Scientific Research*, vol. 3, no. 4, pp. 1–9, 2016.

[27] F. Grzegorz, E. Lisowski, and J. Rajda, “Design and Flow Analysis of an Adjustable Check Valve by Means of CFD Method,” *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 8, pp. 1–14, Mar. 2021.

[28] C. Kolstad, “Válvula de retención - Principio de funcionamiento,” Tameson.

[29] Valsum, *Válvulas - Suministros - Catálogo 2017/2018*. 2018.

[30] Rudmex, “Válvula de golpe de ariete.”

[31] KTN Valves, “El Acero Inoxidable y sus excelentes propiedades.”

[32] Steelprogroup, “Propiedades clave del acero inoxidable: Lo que hay que saber.”

[33] Dipac, “Acero inoxidable.”

[34] Ractem - Rancking System, “¿Qué es el acero galvanizado? ¿En qué consiste?”

[35] Dipac, “Acero galvanizado.”

[36] N. C. in P. Rotolia, “Qué es el PVC y sus características.”

[37] Quima, “9 Beneficios de usar PVC en sistemas de tuberia.”

[38] Agroindustria, “Cómo instalar una bomba de ariete.”

[39] C. Mataix, *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*, 2nd ed. Madrid.

ANEXOS

Anexo 1. Bomba de ariete



Anexo 2. Propiedades del agua

TABLA A.1 Unidades del SI [101 kPa (abs)]

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m^3)	Densidad ρ (kg/m^3)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m^2/s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-7}
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-7}
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}

Anexo 3. DIPAC MANTA (Tubería acero inoxidable)

DIMENSIONES			PROPIEDADES	
DIÁMETRO ∅		ESPESOR (e)	PESO	ÁREA SECCIÓN
Plg.	mm	mm	Kg/mts	Plg^2
1"	25.4	1.2	0.7235	0.1414
1"	25.4	1.5	0.8391	0.1745
1"	24.4	2	1.1659	0.2278
1 1/4"	31.75	1.2	0.9148	0.1785
1 1/4"	31.75	1.5	1.1323	0.2209
1 1/2"	38.1	1.5	1.3677	0.2673
1 1/2"	38.1	1.2	1.1031	0.2156
2"	50.8	1.2	1.4828	0.2898
2"	50.8	1.5	1.8423	0.3600
2"	50.8	2	2.4315	0.4752