



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA**

Rediseño de cámara de aire de bomba de ariete mediante sistema
de regulación vástago resorte para mejorar su eficiencia - Sector
Partido Alto, San Martín

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Huaca Quispe, Cristhofer Jean Carlos (orcid.org/0000-0003-3958-4333)

Isla Guzman, Joar Osmer (orcid.org/0000-0002-4476-4323)

ASESOR:

Dr. Salas Ruiz, Jorge Adrián (orcid.org/0000-0003-3146-3510)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2023

DEDICATORIA

Dedico mi tesis a mis padres, porque ellos son mi fuente de inspiración y fortaleza para estudiar una carrera profesional y no rendirme hasta terminarla. Y a mis hermanos por sus consejos y guía en mi camino profesional

Isla Guzman Joar Osmer

Este logro obtenido se lo dedico principalmente a mis padres debido a todos los esfuerzos realizados por mí y mis hermanos para poder llegar a donde estamos llegando, además de todos los problemas y/o circunstancias siempre pusieron su máximo esfuerzo y dedicación. Para ellos este logro.

Cristhofer Jean Carlos Huaca Quispe

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios en primer lugar, por darme salud y perseverancia para culminar mi camino profesional. A mis compañeros y profesores de mi querida alma mater, por motivarme y no dejar que renuncie.

A mi asesor Ing. Inciso Vásquez, Jorge, por su paciencia y buen humor a lo largo del desarrollo de esta investigación.

Finalmente, a mis hermanos del Rugby que me dieron grandes enseñanzas para seguir adelante, poniendo siempre el hombro y dando todo de mí, sabiendo que, para llegar a cumplir mis objetivos, debo superar obstáculos y sacrificios.

Isla Guzmán Joar Osmer

Agradezco en primer lugar a nuestro Dios todo poderoso ya que sin él nada se lograría, también agradecer a mi hermano Luis Huaca por ser el motivo de que yo pudiera estudiar y mis hermanos Angel y Miguel que siempre estuvieron ahí para poder sostenerme cuando se presentaban problemas.

Agradecimientos a los docentes en general que fueron pilares para poder desarrollarme como profesional con sus enseñanzas y experiencias laborales.

Agradecimientos especial para mi esposa quien está en todo momento conmigo y alentando a desarrollarme cada día mejor tanto en lo personales como en lo profesional.

Muchas gracias familia "Huaca Quispe".

Cristhofer Jean Carlos Huaca Quispe

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	10
3.1. Tipo y diseño de investigación	10
3.2. Variables y operacionalización	10
3.3. Población, muestra y muestreo	10
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	11
3.5. Procedimientos	11
3.6. Método de análisis de datos	12
3.7. Aspectos éticos	12
IV. RESULTADOS	13
V. DISCUSIÓN	50
VI. CONCLUSIONES	54
VII. RECOMENDACIONES	55
REFERENCIAS	56
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Técnicas e instrumentos de la investigación	11
Tabla 2. Consumo unitario actual y requerido por las familias de Partido Alto	13
Tabla 3. Consumo total actual y requerido por las familias de Partido Alto	13
Tabla 4. Número de habitantes 1970 – 2023 – Sector Partido Alto	15
Tabla 5. Criterios de diseño	17
Tabla 6. Descripción de los conceptos de diseño	18
Tabla 7. Calificación de las alternativas de diseño	19
Tabla 8. Calificación del diseño	21
Tabla 9. Parámetros de operación de la bomba de ariete	22
Tabla 10. Coeficiente de pérdidas en la descarga de 1.75 in	24
Tabla 11. Coeficiente de pérdidas en la descarga de 0.5 in	26
Tabla 12. Datos técnicos del resorte – vástago	32
Tabla 13. Factores de superficie	35
Tabla 14. Factores de temperatura	41
Tabla 15. Factores de confiabilidad	42
Tabla 16. Diámetros de vástago por carga estática, fatiga y pandeo	42
Tabla 17. Inversión del proyecto	45
Tabla 18. VAN y TIR del proyecto	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del principio de funcionamiento del ariete hidráulico	7
Figura 2. Pregunta respecto al rediseño de la bomba	14
Figura 3. Pregunta respecto a los costos del rediseño de la bomba	14
Figura 4. Distribución poblacional del sector Partido Alto	15
Figura 5. Instalación de la bomba de ariete en el sector Partido Alto	23
Figura 6: Bomba de ariete del sector Partido Alto	24
Figura 7. Sistema de bombeo con ariete regulado con vástago resorte	29
Figura 8. Representación del vástago – resorte	35
Figura 9. Comparativo de eficiencia en arietes de aire y vástago resorte	36
Figura 10. Dimensionamiento del tanque y red de tuberías	39
Figura 11. Fuerza de compresión aplicada en el conjunto vástago – resorte	39
Figura 12. Condiciones de sujeciones de extremos por pandeo	44
Figura 13: Diagrama de cuerpo libre del resorte helicoidal	45

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo: rediseñar la cámara de aire de una bomba de ariete mediante sistema de regulación vástago resorte para mejorar su eficiencia - Sector Partido Alto, San Martín. La metodología fue aplicada descriptiva con diseño pre-experimental. Los resultados encontrados indicaron que la población tiene un déficit del 55% en consumo de agua, requiriendo 18780 lt/día para abastecer a 240 ciudadanos. Para un estudio confiable se proyectó el caudal requerido a un periodo de 10 años, obteniendo un flujo volumétrico de 26370.25 lt/día. Asimismo, se propusieron 4 conceptos de rediseño de bomba de ariete, resultando óptimo el sistema de regulación vástago resorte en cámara de aire. Con el nuevo rediseño la eficiencia hidráulica incrementó de 59.71% a 70%. Para el sistema de regulación se seleccionó un resorte helicoidal de alambre templado en aceite ASTM 229 de 15.7 daN/mm de constante elástica. El análisis por carga estática, fatiga y pandeo, determinaron que el diámetro del vástago debe ser 1 pulgada con un factor de seguridad de 1.20. El rediseño de la bomba de ariete tiene una inversión de 40519.66 soles, beneficio 78840 soles/año, PRI 7 meses, VAN 247236.71 soles y TIR 194%, concluyendo que el proyecto es viable.

Palabras clave: Bomba de ariete, sistema vástago resorte, eficiencia hidráulica, rediseño de cámara de aire.

ABSTRACT

The objective of this study was: to redesign the air chamber of a ram pump through a spring rod regulation system to improve its efficiency - Partido Alto Sector, San Martín. The methodology was applied descriptive with a pre-experimental design. The results found indicated that the population has a deficit of 55% in water consumption, requiring 18780 lt/day to supply 240 citizens. For a reliable study, the required flow was projected in a period of 10 years, obtaining a volumetric flow of 26370.25 lt/day. Likewise, 4 concepts of redesign of the ram pump were proposed, resulting in the optimal system of regulation of the spring rod in the air chamber. With the new redesign, hydraulic efficiency increased from 59.71% to 70%. For the regulation system, an ASTM 229 oil-tempered wire helical spring of 15.7 daN/mm of elastic constant was selected. The analysis by static load, fatigue and buckling, determined that the diameter of the rod should be 1 inch with a safety factor of 1.20. The redesign of the ram pump has an investment of 40,519.66 soles, benefit 78,840 soles/year, ROI 7 months, NPV 247,236.71 soles and IRR 194%, concluding that the project is viable.

Keywords: *Ram pump, spring rod system, hydraulic efficiency, air chamber redesign.*

I. INTRODUCCIÓN

El suministro de agua para el consumo humano a nivel global, está siendo perjudicado drásticamente por el cambio climático, donde solo el 68.44% de viviendas tienen acceso a este recurso (Salehi, 2022), anteriormente las zonas áridas y semiáridas eran las más perjudicadas, pero actualmente las zonas tropicales y templadas, ya están empezando a padecerlas (Cerón, y otros, 2021), frente a esta situación las poblaciones más vulnerables están recurriendo a la utilización de tecnologías renovables como: riogeneradores o ruedas Hidraulicas y bombas de ariete, debido a que estas tecnologías no requieren de alguna red eléctrica para suministrar agua domiciliaria (Vliet, y otros, 2021). El abastecimiento de agua para el consumo humano es suministrado en un 73.2% por bombas hidráulicas y el 7.14% es abastecido por bombas de ariete y bombas de ruedas hidráulicas (Zeidan, y otros, 2022). Para lo cual los países con mayor uso de bombas de ariete son: Estados Unidos, Canadá, Brasil, México, China, Australia, Japón, Alemania y Dinamarca (Kherde, y otros, 2021). El bajo uso de las bombas de ariete significa el poco interés en el suministro de agua mediante fuentes limpias, sobre todo si consideramos a América Latina con un uso del 2.6% de esta energía (Sarip, y otros, 2021).

A nivel nacional, el estado peruano ha logrado un porcentaje de abastecimiento de agua para el consumo humano del 73.30% (INEI, 2022), lo cual genera problemas de desigualdad entre áreas urbanas y rurales. Donde las zonas urbanas han alcanzado un 89.60% del suministro total, mientras las áreas rurales solo han llegado a un 75.20%. Lo cual refleja que 8 millones de peruanos no tengan servicios públicos de alcantarillado. De la misma manera solo el 61% de los peruanos indica que recibe agua de buena calidad (SUNASS, 2023). En el Perú el grupo de Apoyo al Sector Rural de la Pontificia Universidad Católica con el financiamiento de la Unión Europea, viene implementando bombas de ariete para las zonas rurales, beneficiando en promedio a 20000 pobladores, combatiendo de esta manera la pobreza y avanzar en su desarrollo del país (Celestino, 2020).

De acuerdo a lo antes expuesto, una alternativa a evaluar es el uso de bombas de ariete, aprovechando los recursos hídricos que en las poblaciones existan con

caídas de agua, y sólo requiriéndose de una corriente de agua durante todo el año (Dhaiban, 2020). En el Perú, existen ríos con grandes caídas de agua, donde podría funcionar eficientemente las bombas de ariete, las cuales no requieren de electricidad, ni combustible para funcionar, tienen un bajo costo de fabricación, de fácil mantenimiento, funcionan automáticamente ante un suministro de agua y tienen una vida de operación de hasta 30 años (Chero, 2019).

El sector Partido Alto, perteneciente al distrito de Shanao, provincia de Lamas, departamento de San Martín, el cual cuenta con una población hasta el año 2023 de 240 ciudadanos y 46 viviendas, los cuales sufren de un déficit del 55% de abastecimiento de agua para su consumo, a pesar que cuentan con una bomba de ariete, pero con una operación deficiente. La bomba de ariete suministra agua del río Mayo, donde existe una diferencia de alturas entre 30 a 150 metros respecto a la localidad, la utilización de esta tecnología tiene un costo de 0.5 a 1 soles/m³, mientras que si se utilizará motores eléctricos implica un costo de 6.00 a 10.00 soles/m³ y con motores de combustión de 8.00 a 15.00 soles/m³, por tal razón se propone el mejoramiento de la eficiencia de la bomba de ariete con la implementación de un sistema de vástago resorte para incrementar el flujo volumétrico de agua, logrando abastecer a toda la población. Asimismo, la disponibilidad del recurso hídrico del río Mayo es aceptable, debido que durante todo el año tiene en promedio un caudal de 450.3 m³/s.

Para dar respuesta a la problemática descrita, se planteó la siguiente **formulación del problema**: ¿En qué medida el rediseño de la cámara de aire de la bomba de ariete mediante un sistema de regulación vástago resorte mejorará la eficiencia - Sector Partido Alto San Martín?

Planteando la siguiente **hipótesis** de investigación: El rediseño de la cámara de aire de la bomba de ariete mediante un sistema de regulación vástago resorte mejorará la eficiencia - Sector Partido Alto, San Martín

El informe de investigación se **justificó** desde el criterio económico, porque contribuye a reducir los costos de abastecimiento de agua para los pobladores del sector Partido Alto. Desde el criterio social el diseño óptimo de la bomba de ariete permitirá que todos los pobladores tengan un suministro de agua eficiente.

Desde el criterio tecnológico el diseño de bombas de ariete con sistema vástago resorte, permitirá incrementar el caudal y reducir los desperdicios de agua. Y desde el criterio ambiental la utilización de bombas de ariete contribuye a la conservación del medio ambiente, ya que este tipo de mecanismos hidráulicos para su funcionamiento no utilizan energía eléctrica, ni combustibles.

En respuesta al problema, se planteó el siguiente **objetivo general**: Rediseñar la cámara de aire de una bomba de ariete mediante sistema de regulación vástago resorte para mejorar su eficiencia - Sector Partido Alto, San Martín. Para lograr el objetivo general se plantearon los siguientes **objetivos específicos**: (1) Identificar las necesidades de la población del sector Partido Alto, basado en aspectos de consumo de caudal, economía y rediseño de la máquina. (2) Proponer conceptos de diseños para mejorar la bomba de ariete; (3) Realizar un balance energético al actual sistema de bombeo de agua con ariete para determinar: caudales, pérdidas hidráulicas, altura energética y eficiencia; (4) Realizar un balance energético al sistema de bombeo con regulación vástago resorte para evaluar sus nuevos parámetros de operación: caudales, pérdidas hidráulicas, altura energética, eficiencia y dimensionamiento del tanque de almacenamiento; (5) Dimensionamiento del sistema de regulación vástago resorte para su viabilidad según carga estática, fatiga y pandeo; (6) Realizar un presupuesto para el rediseño de la bomba de ariete con regulación vástago resorte.

II. MARCO TEÓRICO

La investigación tiene como sustento los siguientes *trabajos previos* de artículos científicos relacionados al tema.

El autor González (2020), realizó un estudio de los parámetros de funcionamiento de un abomba de ariete. La metodología de investigación fue aplicada de diseño pre-experimental, con una muestra de 5 bombas de ariete de 25000 lt/día de agua. Utilizó como técnicas la encuesta y entrevista. El autor determinó que las bombas de ariete pueden alcanzar una eficiencia máxima del 50%, debido a la deficiencia de presión en la cámara de aire. Asimismo, indicó que las bombas de ariete pueden llegar a entregar un caudal útil de 65% del caudal total con un desperdicio del 35%. También la utilización de bombas de ariete permite tener costos de suministro de agua de 0.25 s/m³, lo cual es rentable frente a cualquier otro equipo hidráulico.

También los autores Wanchai, et al. (2020), analizaron el uso de una bomba de ariete hidráulico para aumentar la viabilidad técnica del cabezal. La metodología de la investigación fue aplicada – descriptiva, con diseño experimental. Las técnicas utilizadas fueron la observación y el análisis documental. Los autores determinaron que la deficiencia de las bombas hidráulicas se debe a la baja carga de presión en el cabezal, el cual se encuentra en el rango de 3 a 6 bar manométricos, lo cual genera que la eficiencia no supere el 60%. Pero al aumentar la presión en el cabezal en rangos de 6 a 9 bar manométricos, la eficiencia hidráulica incrementaría hasta 85%. Con estas mejoras el caudal de desperdicio de agua o de retorno, estaría por debajo del 25%.

Por otro lado, el investigador Saavedra (2020), determinó el rendimiento hidráulico de un abomba de ariete. La investigación fue aplicada – experimental. La muestra fue una bomba de 45000 lt/día de caudal útil. Aplicaron como técnica principal la observación directa. El autor indicó que la eficiencia de una bomba de ariete depende de la altura geodésica, mientras mayor sea la altura geodésica el rendimiento se verá afectado positivamente, ya que este depende de la altura de bombeo y caudal de ingreso (neto). Si la altura de bombeo está entre los rangos de 90 a 150 m.c.a, se tendrán eficiencias hidráulicas entre 50 a 60%.

El investigador Chero (2020), realizó un diseño de bombeo con ariete. La investigación fue descriptiva – transversal. Las técnicas utilizadas fue la observación y encuesta. El autor diseño una bomba de ariete con un caudal de ingreso de 12000 lt/día, caudal útil de 7800 lt/día y caudal de retorno de 4200 lt/día. La bomba fue instalada en una variación de altura geodésica de 75 m.c.a, con una tubería de succión de 1.5 pulgadas y 1 pulgada de descarga, encontrando que para tales condiciones la eficiencia máxima llegó a 58.12%. Asimismo, con un costo de 0.12 \$/m³.

Mientras los autores Kherde, et al. (2021), realizaron análisis basado en la factibilidad del uso de bombas de ariete. La metodología de investigación fue descriptiva – no experimental. La muestra fue 10 bombas de ariete de 5 KW, con caudales de 55720 lt/día. Las técnicas fueron la observación y análisis documental. Los autores encontraron una relación muy estrecha entre la potencia de caudal útil, potencia de caudal de retorno y eficiencia hidráulica, donde especificaron que, si la diferencia entre las potencias útil y de retorno es 1KW, la eficiencia hidráulica está en el rango de 45 a 51%.

De la misma manera Sarip, et al. (2021), diseñaron una bomba de ariete para zonas urbanas. La metodología fue aplicada –experimental, con una muestra de 1 bomba de ariete de 3 KW, instalada en un río con un caudal de 1.2 m³/s, con una altura de bombeo de 98.50 m. Las técnicas de investigación fueron el análisis documental, observación y entrevistas. Los autores para el diseño de la bomba de ariete utilizaron el software de simulación ANSYS, encontrando que la eficiencia de la bomba está en relación a la presión que se ejerce en la cámara de aire, donde para valores entre 1.5 bar a 3 bar, la eficiencia es de 42%.

La presente investigación se fundamenta en las siguientes **teorías relacionadas al tema**, basadas en artículos científicos, tesis y libros de ingeniería hidráulica. La bomba de ariete es un sistema de impulsión que aprovecha la energía potencial gravitatoria del agua para la elevación de una porción de la misma, mediante la transformación de la energía potencial, primero, en energía cinética y posteriormente en ondas de presión, conocidas como golpes de ariete (Saavedra , 2020).

Asimismo, una bomba de ariete es una máquina hidráulica que utiliza la energía de una cantidad de agua situada a una altura ligeramente superior (el desnivel de un río, presa, acequia u otro depósito o caudal), con el propósito de elevar una parte de esa agua hasta una altura superior, sin usar la energía eléctrica o combustibles fósiles. El agua suministrada desde la fuente de captación desciende por gravedad por la tubería de carga hasta la bomba para provocar una sobrepresión ocasionada por la apertura y cierre continuo de una válvula. Esta sobrepresión producida es el origen del fenómeno físico conocido como golpe de ariete y es el principio para su funcionamiento (Dávila , 2020).

Una bomba de ariete pertenece al grupo de bombas hidráulicas que no requieren de ningún tipo de energía, ya sea eléctrica o térmica, pues su funcionamiento es completamente mecánico, ya que se basa en el aprovechamiento que produce el fenómeno del golpe de ariete debido al cierre brusco de válvulas. Esta bomba es recomendable para lugares en donde el acceso a la energía eléctrica sea limitado. Este dispositivo se encarga de transportar y elevar el agua necesaria para cualquier tipo de actividad, haciendo desde ríos, tanques, lagos, etc. (Crisóstomo, 2020).

La eficiencia de la bomba hidráulica se considera técnicamente como una relación de potencias útil y nominal. Para el operador del equipo, la eficiencia de la bomba se considera generalmente en relación con el consumo de combustible o energía y la capacidad de respuesta del sistema (Zúñiga, 2020). La eficiencia de una bomba hidráulica se determina por la relación de potencia útil y potencia disponible (Aldossary, et al, 2021).

$$\eta_B = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{disponible}}} \quad (1)$$

Donde, η_B es el rendimiento de la bomba de ariete, $P_{\text{útil}}$ es la potencia útil en (KW) y $P_{\text{disponible}}$ es la potencia máxima entregada por la bomba en (KW)

La potencia disponible, se evalúa (Saavedra , 2020).

$$P_{\text{disponible}} = \frac{\rho * g * Q_1 * H_B}{1000} \quad (2)$$

Donde, ρ es la densidad del agua (m^3/s), g es la aceleración de la gravedad (m/s^2), Q_1 es el caudal de ingreso a la bomba de ariete (m^3/s) y H_B es la altura energética en (m).

La potencia útil, se evalúa (Saavedra , 2020):

$$P_{\text{útil}} = \frac{\rho * g * Q_2 * H_B}{1000} \quad (3)$$

Donde, ρ es la densidad del agua (m^3/s), g es la aceleración de la gravedad (m/s^2), Q_2 es el caudal útil de abastecimiento de agua (m^3/s) y H_B es la altura energética en (m).

Asimismo, la eficiencia hidráulica está severamente afectada por la configuración del paso de caudal de la máquina. Para mejorar la eficiencia hidráulica el fabricante realiza continuas mejoras en la uniformidad de las superficies por el caudal (Cerón, et al., 2021).

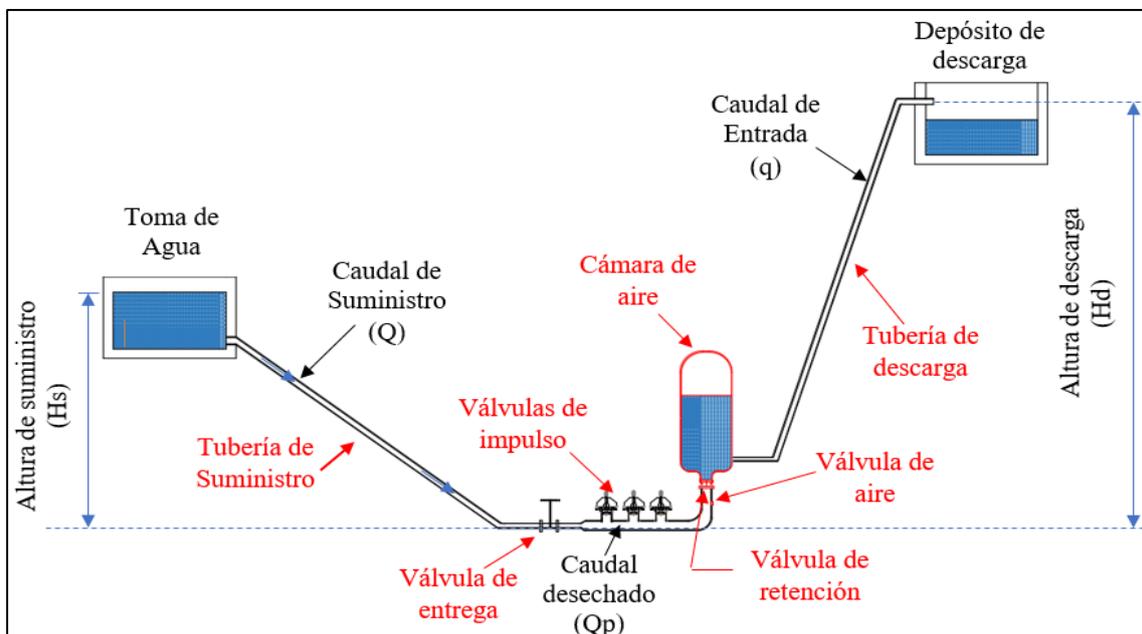


Figura 1: Esquema del principio de funcionamiento del ariete hidráulico

Fuente: (Matthias, y otros, 2020)

A continuación, se describen las partes fundamentales de un sistema de bomba de ariete (Reza, et al., 2019):

Altura de suministro: Es la altura geodésica entre el nivel superior del tanque de toma de agua y el ariete. Para arietes se recomienda una altura mínima de 20 m.

Altura de descarga: Es la altura geodésica entre el ariete y el depósito de descarga.

Tubería de suministro y descarga: Es la tubería de succión, la cual debe ser superior a la tubería de descarga (impulsión), asimismo, se recomienda utilizar tuberías de acero comercial y velocidades mínimas para evitar la erosión de las paredes internas de las tuberías.

Caudal de suministro: Es el caudal total de ingreso al ariete, el cual se divide en caudal de retorno o desperdicio y caudal útil, donde este último es el caudal aprovechado en el depósito de descarga.

Válvula de impulso: Es el mecanismo hidráulico que origina la sobrepresión instantánea en el intervalo que se cierra la válvula, originando de esta manera el ariete.

Válvula de aire: Permite ingresar el aire necesario al cabezal, el cual se pierde por la presión ejercida del agua.

Válvula de retención: Permite que el caudal útil no retorne, permitiendo el paso del flujo en una sola dirección.

La ecuación general de la energía es una extensión de la ecuación de Bernoulli, el cual posibilita resolver problemas en los que hay pérdida y ganancia de energía (Chero, 2019). Para el análisis de la bomba de ariete se hará uso específicamente de la ecuación de Bernoulli, debido a que el fluido de trabajo es incomprensible (Borgnakke, et al., 2019):

$$H_B = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{V_{2s}^2 - V_{1s}^2}{2g} + Z_2 - Z_1 + hp_{TB} \quad (4)$$

Donde, H_B es la altura energética en (m), P_1 y P_2 son las presiones de ingreso y salida en (Pa), V_1 y V_2 son las velocidades del fluido (m/s), ρ es la densidad del agua (m^3/s), g es la aceleración de la gravedad (m/s^2), Z_1 y Z_2 son las alturas geodésicas en (m) y hp_{TB} son las pérdidas totales en (m).

Las pérdidas totales en el sistema de bombeo, se determinan mediante la siguiente ecuación (White, 2019):

$$hp_{TB} = hp_P + hp_S \quad (5)$$

Dónde, hp_P son las pérdidas primarias por longitud de tubería en (m) y hp_S son las pérdidas secundarias generadas por accesorios (codos, entradas, tes, válvulas, uniones, otros) se miden en (m).

Las pérdidas primarias y secundarias se determinan haciendo uso de las siguientes expresiones (White, 2019):

$$h_{pP} = f * \frac{L}{d} * \frac{V^2}{2g} \quad (6)$$

Dónde, f es el factor de fricción del sistema de transporte, L es la longitud de las tuberías en (m), V es la velocidad del fluido en la tubería (m/s), d es el diámetro interior de la tubería en (m) y g es la aceleración de la gravedad (m/s²)

$$h_{pS} = \sum K * \frac{V^2}{2g} \quad (7)$$

Dónde, K es el coeficiente de pérdidas por accesorios, V es la velocidad del fluido en la tubería (m/s) y g es la aceleración de la gravedad (m/s²)

El factor de fricción depende del grado de rozamiento origina en las paredes internas de las tuberías debido al paso o circulación del fluido de transporte. Para el análisis de pérdidas se utilizará el factor de fricción, por la ecuación de Colebrook (White, 2019):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7 * d} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right) \quad (8)$$

Dónde, Donde, f es el factor de fricción, ε es la rugosidad absoluta del material, d es el diámetro interior de la tubería en (m) y Re es el número de Reynolds.

El número de Reynolds define el grado de régimen del fluido, a lo largo del transporte del fluido en una red de tuberías (Wanchai, 2020):

$$Re = \frac{\rho * V * d}{\mu} \quad (9)$$

Dónde, Re es el número de Reynolds, V es la velocidad del fluido en la tubería (m/s), d es el diámetro interior de la tubería en (m), ρ es la densidad del agua (m³/s) y μ es la viscosidad dinámica del agua (Pa.s).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El estudio es de tipo **aplicada** descriptiva, según (Hernández, et al., 2018) explica, que son investigaciones que se direccionan en la solución específica de una problemática, y para su determinación se debe hacer uso de las bases científicas.

La investigación es de tipo aplicada, porque busca solucionar un problema particular del Sector Partido Alto, el cual tiene déficit de abastecimiento de agua para su población, para lo cual se hará uso del sustento científico para rediseñar la bomba de ariete y de esta manera incrementar el flujo volumétrico de agua.

El estudio es de diseño **pre-experimental** (G: O₁XO₂), Para (Hernández, et al., 2018) detalla son los la primera base de la investigación académica científica, basándose en la manipulación de una de las variables (independiente), para explicar sus efectos en la variable de dependiente.

La investigación es pre-experimental, porque busca explicar como el rediseño de una bomba de ariete con vástago resorte, repercute en la mejora de la eficiencia hidráulica.

3.2. Variables, operacionalización (Anexo)

Variable independiente: Bomba de ariete mediante sistema de regulación vástago resorte.

Variable dependiente: Eficiencia

3.3 Población y muestra

Población: Sistemas de bombeo con golpe de ariete del departamento de San Martín.

Muestra: Bomba de ariete del Sector Partido Alto, Distrito de Shanao, Departamento de San Martín.

Muestreo: No probabilístico, por conveniencia.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla 1: Técnicas e instrumentos de la investigación

Técnica	Instrumento
Análisis documental	Fichas de Registro
Observación	Ficha de observación
Encuesta	Cuestionario

Fuente: Elaborado por los autores

El análisis documental y encuesta, permitió la siguiente recolección de datos del actual del sistema de bombeo con ariete:

- Capacidad nominal de la bomba de ariete (m^3)
- Caudal máximo, útil y de desperdicio (m^3/s)
- Alturas geodésicas (m)
- Longitud de la red de tuberías (m)
- Diámetros de tuberías de succión e impulsión (m)
- Número de habitantes del sector Partido Alto
- Costos de abastecimiento de agua (S/m^3)
- Costos de mano de obra y materiales (Soles).

La observación, mediante la utilización de fichas de observación permitió la siguiente recolección de datos de la bomba de ariete:

- Condiciones de operación y estado de la bomba de ariete, tuberías y accesorios.
- Estado de abastecimiento de agua para los pobladores del sector Partido Alto.

3.5. Procedimiento

- Se realizó la recolección de datos de la instalación de bombeo de ariete, mediante un cuestionario a la población y personal mantenimiento, respecto a caudales, alturas geodésicas, longitud de tuberías, tipo y cantidad de accesorios, diámetro de tuberías, capacidad nominal instalada, costos de transporte de agua y costos de fabricación
- Se procedió a justiciar el empleo de bombas de ariete con sistema de regulación vástago resorte, frente a bombas de ariete con cámaras de aire comprimido, bombas hidráulicas y riogeneradores.

- Se procedió a realizar un balance energético al sistema de bombeo con cámara de aire comprimido, para determinar la eficiencia, pérdidas hidráulicas, potencia disponible, potencia útil y altura energética
- Se procedió a estimar el consumo de agua de los pobladores del sector Partido Alto con una proyección de 10 años (hasta el año 2033), para realizar un diseño de bombeo de ariete con vástago resorte confiable y sostenible en el tiempo. Asimismo, según la capacidad de agua requerida se dimensionó el tanque de almacenamiento de agua.
- Se realizó un balance energético con la bomba de ariete con sistema de regulación vástago resorte, para obtener la nueva eficiencia, pérdidas hidráulicas, potencias y altura energética.
- Se realizó un dimensionamiento y selección del sistema vástago resorte, mediante cálculos de ingeniería de diseño, evaluando factores de seguridad por carga estática, fatiga y pandeo.
- Para el análisis económico se realizó un presupuesto para el rediseño de la cámara de aire, con activos fijos de acuerdo al mercado local.

3.6. Método de análisis de datos

Los datos recolectados en el estudio, se almacenaron en tablas de frecuencias y gráficos (barras) mediante la utilización del software Microsoft Excel, el cual también se empleó para el análisis económico (inversión, beneficio y periodo de retorno de la inversión) y financiero (valor actual neto y tasa interna de rentabilidad).

3.7. Aspectos éticos

Los autores en el desarrollo de la investigación se enfocaron en cumplir dos aspectos éticos fundamentales: La protección intelectual y protección de la información recolectada. Con respecto a la propiedad intelectual se limitó a incurrir en el plagio académico. Asimismo, se protegió la información brindada por la población del sector Partido Alto, la cual fue brindada con el único motivo de esta investigación.

IV. RESULTADOS

4.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DE LA POBLACIÓN DEL SECTOR PARTIDO ALTO

4.1.1. Resultados de la encuesta:

Para identificar las necesidades de la población del sector Partido Alto, se realizó una encuesta a las 46 viviendas (240 ciudadanos) que existen actualmente en el año 2023, para determinar el consumo de caudal actual y requerido, asimismo para saber su opinión respecto al rediseño de la bomba de ariete y costos de consumo de agua.

En la tabla 2, se muestran los resultados de la encuesta realizada a las 46 viviendas del Sector Partido Alto, los resultados encontrados se dividieron en 3 grupos de 6 familias, 9 familias y 31 familias. La familia del grupo 3, tiene 31 viviendas las cuales consumen actualmente 285 lt/día por familia, pero requieren 450 lt/día. Asimismo, se muestra que toda la población tiene un déficit de consumo de agua promedio del 55%.

Tabla 2: Consumo unitario actual y requerido por las familias del Sector Partido Alto.

Grupo	Familias (2023)	Frecuencia por grupo familiar	Consumo unitario actual por día (lt/día) por familia	Consumo unitario requerido por día (lt/día) por familia	Déficit
1	6	13%	185	280	51%
2	9	20%	225	350	56%
3	31	67%	285	450	58%
	46	100%			55%

En la tabla 3, se indica que actualmente el consumo de agua de las 46 viviendas es 11970 lt/día, pero requiere de 18780 lt/día. Es decir, se requiere de un suministro de agua adicional de 6810 lt/día. Por lo tanto, el consumo promedio requerido por habitante del sector Partido Alto es 78.25 lt/día (18780 lt/día/240 ciudadanos) y actualmente es 49.875 lt/día (11970 lt/día/240 ciudadanos).

Tabla 3: Consumo total actual y requerido por las familias del Sector Partido Alto.

Grupo	Familias (2023)	Frecuencia por grupo familiar	Consumo total por día (lt/día) por familia	Consumo total requerido por día (lt/día) por familia	Diferencia
1	6	13%	1110	1680	570
2	9	20%	2025	3150	1125
3	31	67%	8835	13950	5115
	46	100%	11970	18780	6810

En la figura 2, se consultó a las familias si están de acuerdo con el rediseño de la bomba de ariete, donde la respuesta fue contundente con un “SI” el cual representa el 96% de toda la población, con un 4% que no están de acuerdo, indicando que dichos cambios traerían gastos económicos, no entendiendo los beneficios que traería rediseño de la bomba.



Figura 2: pregunta respecto al rediseño de la bomba

En la figura 3, se muestran los resultados de la pregunta ¿Estaría de acuerdo con asumir los gastos de materiales y mano de obra, para el rediseño de la bomba de ariete?, obteniendo un SI con 97% de aprobación.

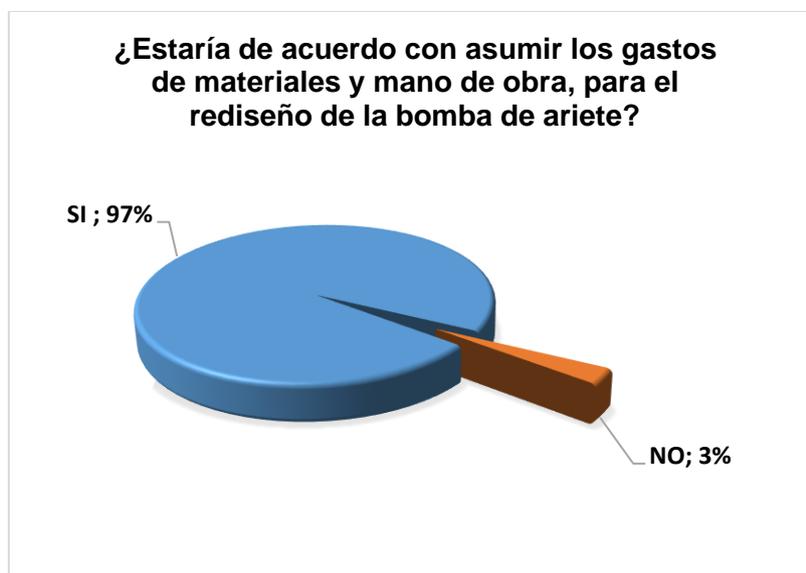


Figura 3: pregunta respecto a los costos del rediseño de la bomba

4.1.2. Proyección del consumo de agua

En esta investigación para un proyecto viable en el tiempo, se proyectará el consumo de agua de la población del sector Partido Alto, hasta el 2033 (proyección en 10 años), para tener un flujo de agua seguro y no generar desabastecimiento por incremento poblacional. Y de esta manera realizar un correcto rediseño de la bomba de ariete.

El sector poblado Partido Alto fue fundado el año 1970 con una población de 45 habitantes, pero en el transcurso del tiempo ha tenido un crecimiento significativo como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4: Número de habitantes 1980 – 2023 – Sector Partido Alto

Periodo	N° de habitantes
1980	45
1990	75
2000	108
2010	142
2016	175
2020	198
2023	240

Fuente: Comité del sector Partido Alto

En la figura 4, se muestra la proyección del crecimiento poblacional del sector Partido Alto del distrito Shanao, provincia de Lamas, departamento de San Martín

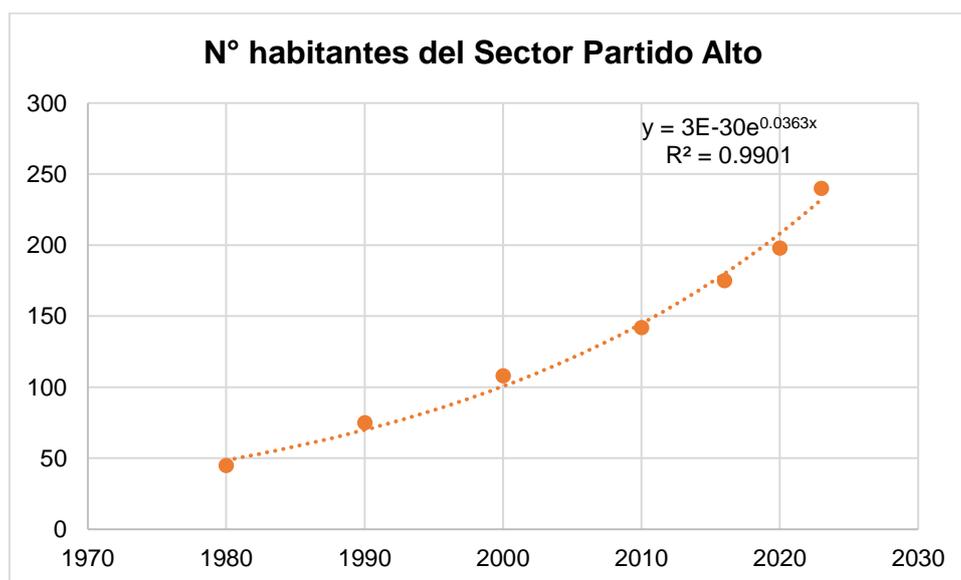


Figura 4: Distribución poblacional del sector Partido Alto

Fuente: Comité del sector Partido Alto

La ecuación de crecimiento del sector de Partido Alto tiene una confiabilidad del 99.02%. Por lo tanto, se puede estimar la población para el año 2033.

$$N^{\circ} \text{ habitantes} = 3 * 10^{-30} e^{0.0363X}$$

Donde, x es el tiempo en años.

Por lo consiguiente la proyección de la población del sector Partido Alto, para el año 2033 sería:

$$N^{\circ} \text{ habitantes} = 3 * 10^{-30} e^{0.0363*2033}$$

$$N^{\circ} \text{ habitantes} = 337$$

Una vez obtenida la cantidad proyectada de habitantes del sector Partido Alto, los multiplicamos por el consumo de agua requerido.

$$Q_{tr} = N^{\circ} \text{ habitantes} * Q_{ar}$$

Donde: Q_{tr} es el caudal de agua requerido y proyectado, mientras que Q_{ar} es el caudal requerido actualmente por la población con un valor de 78.25 lt/día.

Tenemos:

$$Q_{tr} = 337 * 78.25 \frac{\text{lt}}{\text{día}} = 26370.25 \frac{\text{lt}}{\text{día}} = 0.0183 \frac{\text{lt}}{\text{min}}$$

Por lo tanto, se va a requerir que el nuevo rediseño de la bomba de ariete, sea capaz de entregar un caudal de 26370.25 lt/día.

4.1.3. Estudio hidrológico del río Mayo

Es necesario evaluar el potencial hidráulico del caudal máximo y mínimo del río Mayo, para determinar si puede cumplir con la demanda máxima que necesita la población del sector Partido Alto.

El río Mayo se encuentra ubicado en el departamento de San Martín, posee una superficie de 9774.35 km² y una longitud de 300 Km, asimismo es una afluente del río Huallaga, y recorre las ciudades de Moyobamba, Lamas, Tarapoto y Rioja.

En la actualidad el río Mayo tiene un caudal promedio anual de **450.3 m³/s**. Pero estudios realizados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el informe “Plan de gestión de recursos hídricos del río Mayo”, proyecta para el año 2050 un caudal promedio anual estimado de **487.6 m³/s**, como se puede observar en la siguiente tabla 5.

Tabla 5: Proyección del caudal del río Mayo (m³/s) para el año 2050

Mes	Caudal (m³/s)
Enero	522.9
Febrero	611.5
Marzo	694.4
Abril	672.1
Mayo	526.1
Junio	398.1
Julio	312.4
Agosto	301.3
Septiembre	337.9
Octubre	451.8
Noviembre	525
Diciembre	497.6
Promedio	487.6

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2021)

Por lo tanto, podemos decir que el río Mayo, posee el suficiente caudal para abastecer a la población del sector Partido Alto.

4.2. CONCEPTOS DE DISEÑOS PARA MEJORAR LA BOMBA DE ARIETE

4.2.1. Funciones del diseño

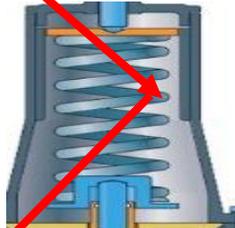
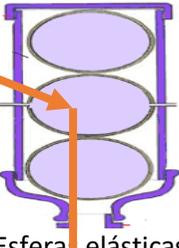
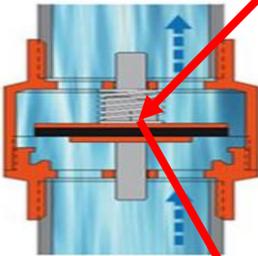
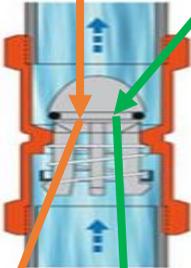
Según los requerimientos o exigencias de la población del sector Partido Alto y según las condiciones del estado de la bomba de ariete, las funciones que se tendrán en cuenta son: eficiencia, flujo volumétrico (caudal requerido), durabilidad, costos de fabricación y mantenimiento. Los cuales están ordenados como se muestra en la tabla 6, de mayor a menor jerarquía según su ponderación.

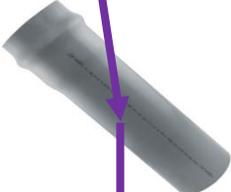
Tabla 6: Lista de exigencias

FUNCIÓN	CRITERIO DE DISEÑO	CALIFICACIÓN	PONDERACIÓN (%)
EFICIENCIA HIDRÁULICA	El concepto de diseño debe tener la mejor eficiencia hidráulica para un funcionamiento óptimo.	5.00	$(5/15)*100=33.33$
FLUJO VOLUMÉTRICO	El concepto de diseño debe asegurar un eficiente suministro de agua a la población.	4.00	$(4/15)*100=26.67$
DURABILIDAD	El concepto de diseño debe soportar las condiciones de operación y las condiciones climáticas de la zona.	3.00	$(3/15)*100=20.00$
COSTO DE FABRICACIÓN	El concepto de diseño, debe poseer un presupuesto en activos físicos de acuerdo al mercado. Asimismo, el concepto de diseño debe construirse de una manera ergonómica o simétrica.	2.00	$(2/15)*100=13.33$
MANTENIMIENTO	Los conceptos de diseño deben estar construido de elementos de fácil acceso para el mantenimiento y desmontaje, y sobre todo protegiendo la seguridad humana.	1.00	$(1/15)*100=6.67$
		15.00	100

4.2.2. Matriz morfológica

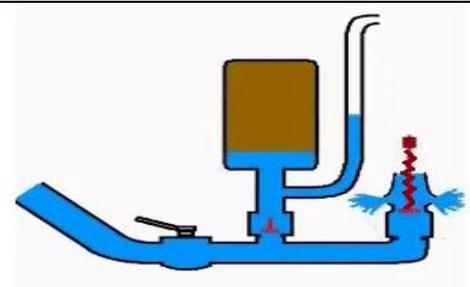
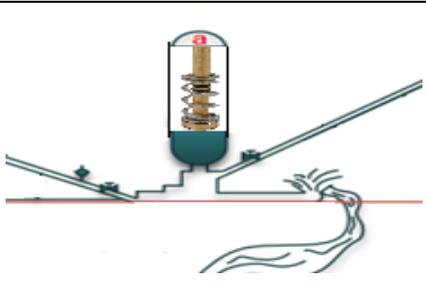
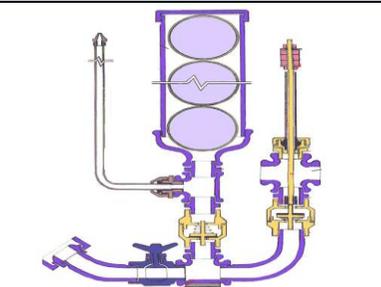
Tabla 7: Matriz morfológica para la mejora de la bomba de ariete

FUNCIONES PARCIALES	ALTERNATIVAS			
<p>Forma geométrica del cabezal</p>	 <p>Forma cilíndrica</p>	 <p>Forma de voluta</p>		
<p>Mecanismo de presión para aumentar caudal</p>	 <p>Contacto aire - agua con cámara cilíndrica aumentando su altura</p>	 <p>Por resorte – vástago en la cámara de aire</p>	 <p>Esferas elásticas deformables en la cámara de aire</p>	 <p>Contacto aire- agua con cámara esférica</p>
<p>Mecanismos de válvulas antirretorno de agua</p>	 <p>Válvula de retención por muelle</p>	 <p>Válvula clapeta</p>	 <p>Válvula por retención por émbolo</p>	

<p>Sistema de control del agua de salida útil</p>	 <p>Válvula bola</p>	 <p>Válvula esfera de regulación</p>	 <p>Válvulas global</p>	 <p>Válvula compuerta</p>
<p>Transporte de agua en succión e impulsión</p>	 <p>Tubos de PVC</p>	 <p>Tuberías de acero</p>	 <p>Mangueras de polietileno</p>	
<p>Soluciones</p>	<p>S1</p> <p>Bomba de ariete con contacto simple agua – aire en camara de aire de forma cilíndrica</p>	<p>S2</p> <p>Bomba de ariete con sistema de regulación vástago resorte en camara de aire</p>	<p>S3</p> <p>Bomba de ariete con sistema de esferas elásticas deformables en camara de aire de forma cilíndrica</p>	<p>S4</p> <p>Bomba de ariete con cabezal cilíndrico para el contacto directo agua - aire</p>

4.2.3. Descripción de los conceptos de diseño o soluciones del diseño

Tabla 8: Descripción de los conceptos de diseño o soluciones

	Bomba de ariete con contacto simple agua – aire en camara forma cilíndrica	Bomba de ariete con sistema de regulación vástago resorte en camara de aire	Bomba de ariete con sistema de esferas elásticas deformables en camara de aire de forma cilíndrica	Bomba de ariete con cabezal esférico para el contacto directo agua - aire
FUNCIÓN				
	CONCEPTO: Esta bomba de ariete tiene un cabezal de forma cilíndrica, permitiendo el libre contacto interno entre el agua y aire, para impulsar el agua a una presión específica. Este concepto se basa en incrementar la altura del cabezal en comparación a las bombas convencionales*.	CONCEPTO: Esta bomba de aire tiene un cabezal cilíndrico en el cual se ha implementado un sistema resorte vástago, para ejercer mayor presión en el flujo de agua de salida (útil).	CONCEPTO: Esta bomba de ariete posee un sistema de esferas deformables, ubicadas verticalmente en el cabezal cilíndrico, para ejercer presión sobre el agua de salida**.	CONCEPTO: Esta bomba posee un cabezal de forma esférico para regular la presión del aire y el agua de suministro***.
Eficiencia Hidráulica	La eficiencia esta limitada a una presión insuficiente en la camara, debido al contacto simple entre el agua y aire.	La eficiencia está controlada por el vástago resorte, entregando la presión necesaria para un caudal requerido.	La eficiencia está regulada por la presión que ejercen las esferas sobre el agua, pero depende de la caída de agua**.	La eficiencia en este sistema es limitada debido a los bajos caudales de descarga. Es decir, existe un caudal de desperdicio mayor.
Flujo Volumétrico (caudal)	El caudal depende completamente de caídas de agua entre 20 a 50 m para una mejor eficiencia, debido a la baja presión en su cabezal*.	Entrega grandes caudales, debido a la elevada presión que ejerce el resorte vástago sobre el agua en el cabezal, permitiendo impulsar el agua de salida con mayor caudal.	Entrega moderamos caudales útiles, superiores a la de una ariete convencional y depende de una caída de presión significativa**.	Entrega caudales pequeños, y requiere de una menor caída de presión en comparación a un bomba de ariete convencional***.
Durabilidad	Posee accesorios de corta vida útil entre 3 a 5 años. Su fabricación no es compleja*.	Posee accesorios de acero comercial con una vida en válvulas de 10 años y en tuberías de 30 años**.	Posee accesorios que requieren cambio cada 3 a 5 años, pero en tuberías cada 3 años**.	Posee accesorios de acero comercial con una vida útil de 30 años***.
Costos	Es la bomba de ariete con menor costo de construcción o diseño*.	Esta bomba requiere de costos significativos debido a las buenas características de sus accesorios. Su fabricación es moderada por el sistema vástago resorte	Esta bomba requiere de costos mas elevados debido al elevado costo de las esferas deformables. Su fabricación es compleja por el sistema de esferas en el cabezal.	Esta bomba requiere de costos medios debido a que el cabeza es el elemento más costoso. Su fabricación es compleja por el diseño del cabezal esférico.
Mantenimiento	Requiere un mantenimiento anual	Requiere un mantenimiento anual	Requiere de inspecciones periódicas para observar el estado de las esferas.	Requiere un mantenimiento anual

Fuente: Elaborado por el autor basado en argumentos de los autores *Dávila (2020), **Saavedra (2020) y ***Wanchai et al (2020).

4.2.4 Evaluación de los conceptos de diseño o soluciones de diseño

Tabla 9: Calificación de las alternativas de diseño

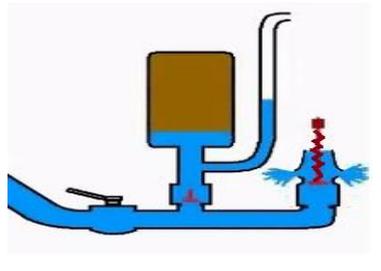
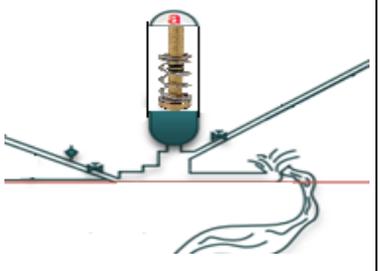
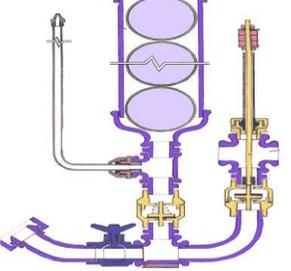
CRITERIOS		ALTERNATIVAS PARA MEJOR LA BOMBA DE ARIETE DEL SECTOR PARTIDO ALTO							
		Bomba de ariete con contacto simple agua – aire en camara de aire de forma cilíndrica		Bomba de ariete con sistema de regulación vástago resorte en camara de aire		Bomba de ariete con sistema de esferas elásticas deformables en camara de aire de forma cilíndrica		Bomba de ariete con cabezal cilíndrico para el contacto directo agua - aire	
FUNCIÓN	Ponderación								
		Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje
Eficiencia	33.33%	2	0.667	5	1.667	4	1.333	2	0.667
Caudal	26.67%	2	0.533	5	1.334	4	1.067	2	0.533
Durabilidad	20%	3	0.600	5	1.000	4	0.800	4	0.800
Costo	13.33%	5	0.667	4	0.533	1	0.133	4	0.533
Mantenimiento	6.67%	5	0.334	5	0.334	4	0.267	4	0.267
Total	100%	S1	2.800	S2	4.867	S3	3.600	S4	2.800

Tabla 10: Calificación del diseño

CALIFICACIÓN CUALITATIVA	CALIFICACIÓN CUANTITATIVA
ÓPTIMO	5
MUY BUENO	4
ACEPTABLE	3
REGULAR	2
DEFICIENTE	1

Podemos indicar que la mejor solución para mejorar la bomba de ariete es mediante la implementación de un **sistema de regulación vástago resorte** en la camara de aire.

4.3. BALANCE ENERGÉTICO AL ACTUAL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ARIETE

En la figura 5, se muestra el esquema de operación actual de la bomba de ariete con cámara de aire comprimido instalada en el sector Partido Alto.

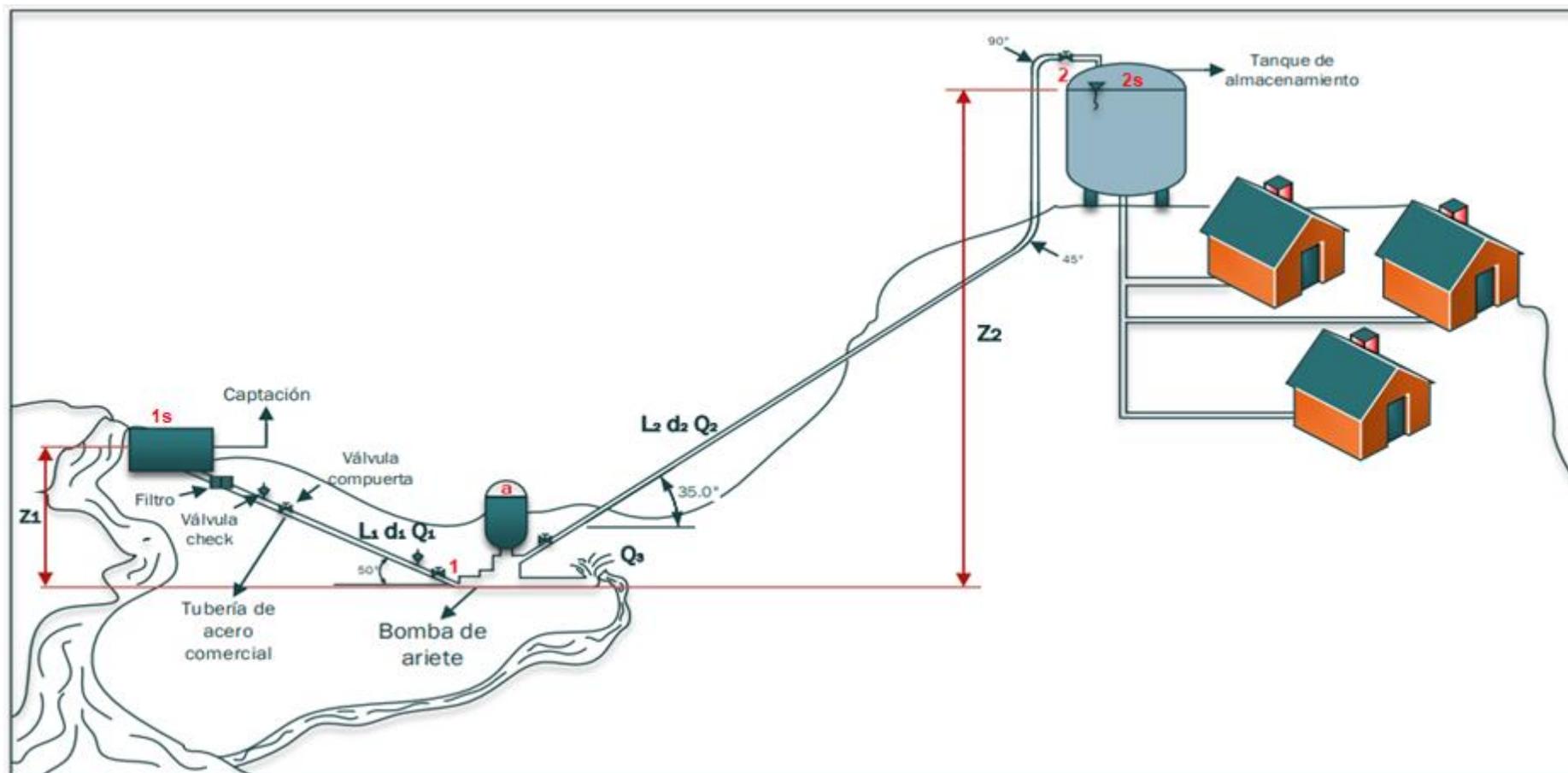


Figura 5: Instalación de la bomba de ariete en el sector Partido Alto.

En la tabla 9, se muestran los parámetros de operación de la bomba de ariete que trabaja en el sector Partido Alto.

Tabla 9: Parámetros de operación de la bomba de ariete

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR
Volumen del tanque de almacenamiento	V_t	20 m ³
Diámetro del tanque de almacenamiento	D_t	2.25 m
Altura del tanque de almacenamiento	H_t	5 m
Caudal de ingreso a la bomba de ariete (100%)	Q_1	20000 lt/día (0.0139 m ³ /min)
Caudal útil hacia el tanque de almacenamiento (60%)	Q_2	12000 lt/día (0.0083 m ³ /min)
Caudal de desperdicio o retorno (40%)	Q_3	8000 lt/día (0.0056 m ³ /min)
Longitud de tubería de succión (Material: acero comercial)	L_1	65.27 m
Longitud de tubería de descarga (Material: acero comercial)	L_2	226.65 m
Calibre de la tubería de succión	d_1	2 ½ in (0.0635 m)
Calibre de la tubería de descarga	d_2	1 ¾ in (0.04445 m)
Altura geodésica desde la bomba de ariete hasta el río	Z_1	50 m
Altura geodésica desde la bomba de ariete hasta el tanque	Z_2	135 m
Velocidad de succión	V_1	4.40 m/s
Velocidad de impulsión	V_2	5.35 m/s
Área transversal del agua en la tubería de succión	A_1	0.0816 in ²
Área transversal del agua en la tubería de descarga	A_2	0.040 in ²

Fuente: Área de mantenimiento de la bomba de ariete, 2023



Figura 6: Bomba de ariete del sector Partido Alto.

Nota: Las tuberías de succión y descarga, no están completamente llenas de agua, debido a que actualmente el sistema de tuberías tiene problemas de erosión. Debido a que fueron dimensionadas y seleccionadas sin criterios técnicos y tampoco de ingeniería. Por lo tanto, la velocidad de succión es $V_1 = Q_1/A_1 = 0.0139 / (60 \cdot 0.0816 \cdot 0.0254^2) = 4.40$ m/s, de la misma la velocidad de descarga es $V_2 = Q_2/A_2 = 0.0083 / (60 \cdot 0.040 \cdot 0.0254^2) = 5.35$ m/s.

4.3.1. Pérdidas del sistema de bombeo con cámara de aire

Para determinar las pérdidas en el sistema de bombeo es necesario calcular el número de Reynolds y factor de fricción en las tuberías de succión y descarga. Asimismo, cabe precisar que las pérdidas en una bomba de ariete solo se registran en el lado de descarga o impulsión, porque en el lado de succión el agua cae por gravedad.

a) Número de Reynolds en la descarga: El agua en la descarga tiene una temperatura promedio de 20°C, correspondiéndole una densidad de 998.20 Kg/m³ y viscosidad dinámica de 1004*10⁻⁶ Pa. s (Howel, y otros, 2018). Asimismo, la velocidad de descarga es 5.35 m/s con un diámetro de tubería de 0.04445 m.

$$Re_2 = \frac{\rho_{\text{agua}} * V_2 * d_2}{\mu_{\text{agua}}} = \frac{\left(998.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * \left(5.35 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) * (0.04445 \text{ m})}{1004 * 10^{-6} \text{ Pa. s}} = 236434$$

También es relevante calcular el factor de fricción (Para estimar las pérdidas de carga por fricción que se originan dentro de la tubería), por lo cual se utilizará la ecuación de Colebrook

a) Factor de fricción en la descarga: Donde Re_2 es el número de Reynolds en la succión con un valor de 236434 (Régimen turbulento), d_2 es el diámetro de la tubería de succión de 44.45 mm y ε es la rugosidad absoluta del acero comercial (material de la tubería), con un valor de 0.045 mm (Borgnakke, y otros, 2019)

El factor de fricción en la tubería de descarga sería:

$$\frac{1}{\sqrt{f_2}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon_2}{3.7 * d_2} + \frac{2.51}{Re_2 * \sqrt{f_2}} \right)$$
$$\frac{1}{\sqrt{f_2}} = -2 \log \left(\frac{0.045}{3.7 * 44.45} + \frac{2.51}{236434 * \sqrt{f_2}} \right) \rightarrow f_2 = 0.0209$$

Los valores encontrados nos permiten calcular las **pérdidas primarias** del sistema de bombeo se determinan mediante la siguiente expresión de Darcy – Weisbach:

$$h_p = f_2 * \frac{L_2}{d_2} * \frac{V_2^2}{2g}$$

$$h_p = 0.0209 * \frac{226.65 \text{ m}}{0.04445 \text{ m}} * \frac{(5.35 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_p = 155.5 \text{ m}$$

Se precisa que las pérdidas solo existen en el lado de descarga, porque en el lado de succión de una bomba de ariete el agua cae por gravedad. Por lo tanto, una bomba de ariete no realiza trabajo de succión, por el contrario, el agua cae por su propia gravedad.

Ahora, para calcular las **pérdidas secundarias**, es necesario determinar los coeficientes de pérdidas en accesorios. En la tabla 10, se muestran los coeficientes de pérdidas por accesorios en la succión y descarga.

Tabla 10: Coeficiente de pérdidas en la descarga 1.75 in.

Accesorios	Cantidad	Coefficiente de pérdidas (K) (White, 2019)	Coefficiente de pérdidas total en succión
Codos rectos (radio largo) 90°	1	0.25	0.25
Codos ángulo 45°	1	0.3	0.30
Válvulas compuerta	2	0.15	0.30
Válvulas de retención	1	2	2
Tubería de entrada con bordes	1	0.5	0.5
Total			K₂= 3.35

Las **pérdidas secundarias** se determinan mediante la siguiente expresión:

$$h_s = \sum K_2 * \frac{V_2^2}{2g}$$

$$h_s = \sum 3.35 * \frac{\left(5.35 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 4.88 \text{ m}$$

Las **pérdidas totales** en el sistema de bombeo, están divididas en primarias y secundarias con valores de 155.5 m y 4.88 m respectivamente.

$$h_{tt} = h_p + h_s = 155.5 \text{ m} + 4.88 \text{ m} = 160.38 \text{ m}$$

4.3.2. Altura de bombeo con cámara de aire

Para determinar la altura del sistema actual de ariete con cámara de aire, se empleará la ecuación de Bernoulli:

Se aplica entre los puntos (1) y (2), ver figura 5.

$$H_B = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + Z_2 - Z_1 + h_{tt}$$

La presión de entrada P1:

$$P_1 = \rho * g * Z_1 = 998.20 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 50 \text{ m} = 489617.1 \text{ Pa}$$

También, $P_2 = 0$ bar manométricos (expuesto al medio atmosférico), $V_1 = 4.40$ m/s, $V_2 = 5.35$ m/s (velocidad en la superficie superior del agua en el tanque y velocidad en la superficie superior del agua en la captación), $Z_1 = 0$ m (sería cero en la ecuación de Bernoulli, porque el punto 1, pasa por el nivel de referencia), $Z_2 = 135$ m (Altura geodésica desde la bomba de ariete hasta el tanque), $h_{tt} = 160.38$ m y $\rho_{\text{agua}} = 998.20 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$.

Reemplazando:

$$H_B = \frac{0 - 489617.1}{998.20 * 9.81} + \frac{5.35^2 - 4.40^2}{2 * 9.81} + 135 - 0 + 160.38$$

$$H_B = 245.85 \text{ m}$$

4.3.3. Potencias disponible y útil del sistema de bombeo con cámara de aire:

Con los valores encontrados, podemos determinar la potencia disponible y la potencia útil, donde el caudal de ingreso Q_1 a la bomba de ariete es 0.0139 m³/min, el caudal útil Q_2 es 0.0083 m³/min y la altura de bombeo neta H_B es 245.85 m.

a) Potencia disponible:

$$P_{\text{disp.}} = \rho * g * Q_1 * H_B = 998.2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \frac{0.0139 \text{ m}^3}{60 \text{ s}} * 245.85 \text{ m} = 557.73 \text{ W}$$

b) Potencia útil:

$$P_{\text{útil}} = \rho * g * Q_2 * H_B = 998.2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \frac{0.0083 \text{ m}^3}{60 \text{ s}} * 245.85 \text{ m} = 333.03 \text{ W}$$

4.3.4. Eficiencia volumétrica del sistema de bombeo con cámara de aire

Es la relación entre la potencia útil y la potencia disponible con valores de 333.03 W y 557.73 W respectivamente. Tenemos:

$$\eta_B = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{disponible}}} = \frac{333.03 \text{ W}}{557.73 \text{ W}} = 0.5971 = 59.71\%$$

4.3.5. Presión de aire en la cámara de la bomba de ariete:

Aplicando la ecuación de Bernoulli entre los puntos (a) y (2) según la figura 5, tenemos:

$$H_B = \frac{P_2 - P_a}{\rho g} + \frac{V_{2s}^2 - V_a^2}{2g} + Z_2 - Z_a + h_{tt}$$

También: $P_2 = 0$ bar manométricos, $V_2 = 5.35$ m/s, $V_a = 0$ m/s (velocidad en la superficie superior del agua en el tanque y velocidad en la superficie superior del agua en la cámara de aire comprimido), $Z_a = 0$ m (Se desprecia la altura del agua en la cámara de aire), $Z_2 = 135$ m (Altura geodésica desde la bomba de ariete hasta el tanque) y $\rho_{\text{agua}} = 998.2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$. Reemplazando:

$$245.85 \text{ m} = \frac{0 - P_a}{998.2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + \frac{5.35^2 - 0^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 135\text{m} - 0 + 160.38 \text{ m}$$

$$P_a = 5 \text{ bar manométricos}$$

Por lo consiguiente la presión de aire que se ejerce en la cámara de la bomba de ariete es 5 bar manométricos.

4.4. BALANCE ENERGÉTICO AL SISTEMA DE BOMBEO CON REGULACIÓN VÁSTAGO RESORTE

En la figura 7, se observa la inclusión de un vástago resorte en la cámara de aire de la bomba de ariete como medida de corrección para incrementar el caudal útil y la eficiencia hidráulica.

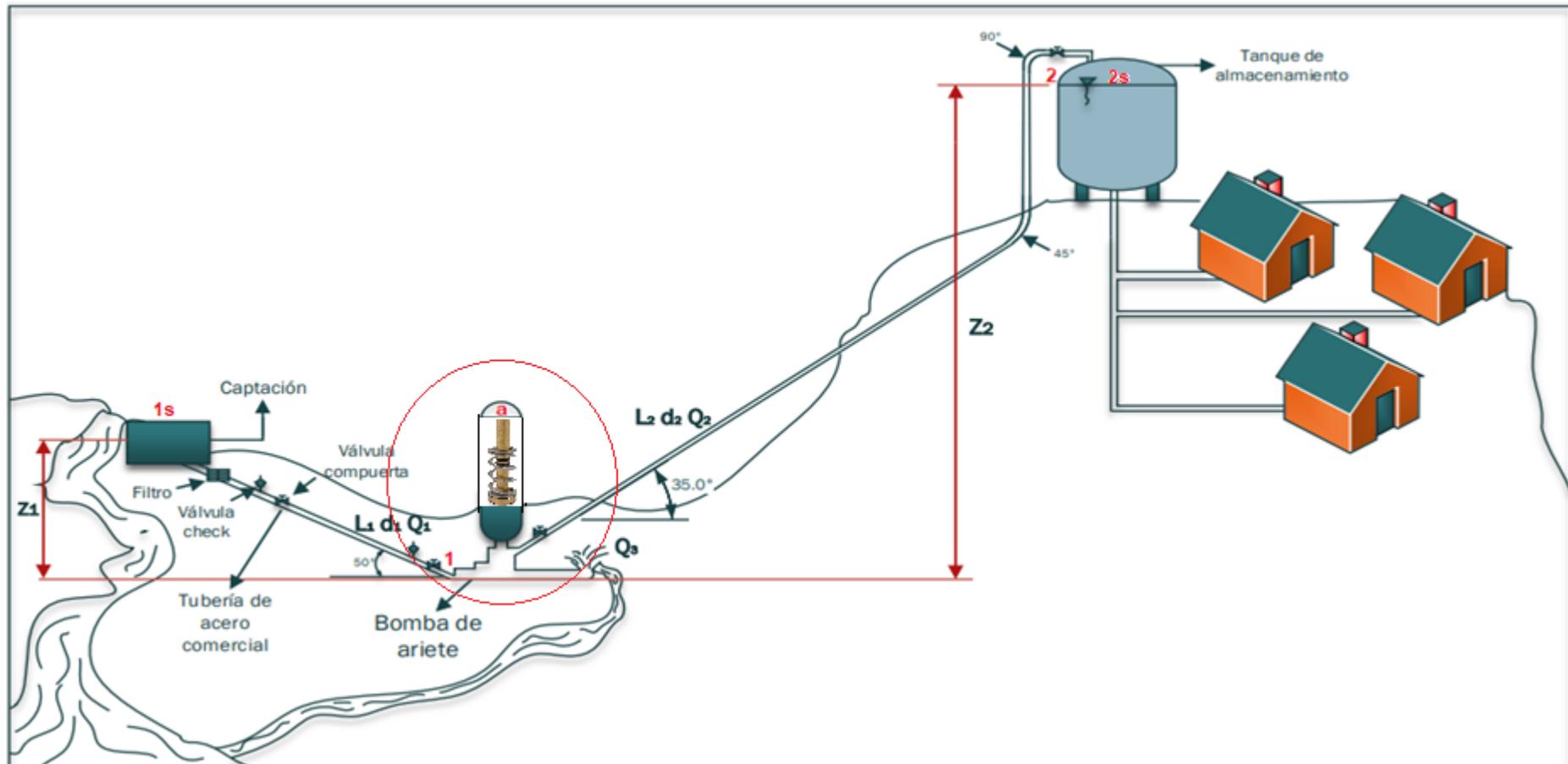


Figura 7: Sistema de bombeo con ariete regulado con vástago resorte

El nuevo rediseño de la bomba de ariete debe cumplir con entregar un caudal de 26370.25 lt/día (0.0183 m³/min), con este parámetro se procederá a determinar, pérdidas hidráulicas, altura de bombeo, eficiencia hidráulica y presión requerida por el sistema vástago resorte en el cabezal, para poder configurar su diseño.

Con el aumento del caudal, se alterará la velocidad de descarga y succión, y para ello, es necesario definir nuevos valores también para las tuberías, porque están sobredimensionadas (la red de tuberías, fueron seleccionadas sin ningún criterio de ingeniería, lo cual está generando erosión en paredes de tuberías debido a las elevadas velocidades en conjunto con el golpe de ariete).

4.4.1. Caudales en la bomba de ariete en el rediseño

a) Caudal útil (Q₂): Es el caudal suministrado a la población del sector Partido Alto, necesitando un flujo de 26370.25 lt/día.

$$Q_2 = 26370.25 \frac{\text{lt}}{\text{día}} = 0.0183 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

b) Caudal de ingreso (Q₁) y de desperdicio (Q₃): Los distintos artículos consultados, respecto al desperdicio de agua de las bombas de ariete, indican que con una velocidad de succión alrededor de 1/2 m/s, permite tener un mínimo de desperdicio del 30% en promedio (Chero, 2019) y (Aldossary, y otros, 2021), valores que serán corroborados. Por lo tanto, tenemos:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

Si:

$$Q_2 = 0.70 * Q_1 \rightarrow 26370.25 \frac{\text{lt}}{\text{día}} = 0.70 * Q_1 \rightarrow Q_1 = 37671.80 \frac{\text{lt}}{\text{día}} = 0.0262 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

También:

$$Q_3 = Q_1 * 0.30 \rightarrow Q_3 = 37671.80 \frac{\text{lt}}{\text{día}} * 0.3 \rightarrow Q_3 = 11301.54 \frac{\text{lt}}{\text{día}} = 0.0079 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

4.4.2. Calibres de las tuberías para el rediseño

a) Diámetro de succión: Los diseñadores de bombas de ariete, recomiendan a través de distintos ensayos velocidades mínimas promedio de 0.5 m/s, para de esta manera no generar erosión en las paredes de la tubería (Chero, 2019) y (Aldossary, y otros, 2021).

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 * Q_1}{\pi * V_1}} = \sqrt{\frac{4 * \frac{0.0262 \text{ m}^3}{60 \text{ s}}}{\pi * 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}} = 0.0333 \text{ m} \approx 1 \frac{1}{2} \text{ in}$$

b) Diámetro de descarga: Los diseñadores de bombas de ariete, recomiendan a través de distintos ensayos una velocidad en la descarga de 2.5 m/s (Aldossary, y otros, 2021).

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 * Q_2}{\pi * V_2}} = \sqrt{\frac{4 * \frac{0.0183 \text{ m}^3}{60 \text{ s}}}{\pi * 2.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}} = 0.0125 \text{ m} \approx \frac{1}{2} \text{ in}$$

4.4.3. Pérdidas del sistema de bombeo con vástago – resorte:

Se empleará la misma metodología de cálculo, utilizada en el balance energético en condiciones actuales, para mantener la uniformidad en los resultados, al manejar las mismas ecuaciones de mecánica de fluidos en un estado actual y de mejora.

Para determinar las pérdidas totales en el sistema de bombeo es necesario calcular el número de Reynolds, factor de fricción, pérdidas primarias y pérdidas secundarias en la tubería de descarga. Asimismo, como ya se mencionó la bomba de ariete no genera succión, por lo consiguiente no se calculan las pérdidas en ese lado.

a) Número de Reynolds en la descarga: El agua tiene una temperatura promedio de 20°C, correspondiéndole una densidad de 997.61 Kg/m³ y viscosidad dinámica de 1004*10⁻⁶ Pa. s (Howel, y otros, 2018). Asimismo, la nueva velocidad de descarga es 2.5 m/s con un diámetro de tubería de 0.01270 m.

$$Re_2 = \frac{\rho_{\text{agua}} * V_2 * d_2}{\mu_{\text{agua}}} = \frac{\left(998.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * \left(2.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) * (0.01270 \text{ m})}{1004 * 10^{-6} \text{ Pa.s}} = 31567$$

b) Factor de fricción en la descarga: Donde Re_2 es el número de Reynolds en la descarga con un valor de 31567 (Régimen turbulento), d_2 es el diámetro de la tubería de descarga de 12.70 mm y ε es la rugosidad absoluta del acero comercial (material de la tubería), con un valor de 0.045 mm (Borgnakke, y otros, 2019).

El factor de fricción en la tubería de descarga sería:

$$\frac{1}{\sqrt{f_2}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon_2}{3.7 * d_2} + \frac{2.51}{Re_2 * \sqrt{f_2}} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f_2}} = -2 \log \left(\frac{0.045}{3.7 * 12.70} + \frac{2.51}{31567 * \sqrt{f_2}} \right) \rightarrow f_2 = 0.0308$$

c) Pérdidas primarias del sistema de bombeo se determinan mediante la siguiente expresión de Darcy – Weisbach:

$$h_p = f_2 * \frac{L_2}{d_2} * \frac{V_2^2}{2g}$$

$$h_p = 0.0308 * \frac{226.65 \text{ m}}{0.01270 \text{ m}} * \frac{(2.5 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_p = 175.10 \text{ m}$$

d) Pérdidas secundarias se determinan mediante la siguiente expresión

$$h_s = \sum K_2 * \frac{V_2^2}{2g}$$

Los valores de K se detallan en la tabla 11.

Tabla 11: Coeficiente de pérdidas en la descarga para calibre 0.5 in.

Accesorios	Cantidad	Coeficiente de pérdidas (K) (White, 2019)	Coeficiente de pérdidas total en succión
Codos rectos (radio largo) 90°	1	0.30	0.30
Codos ángulo 45°	1	0.40	0.40
Válvulas compuerta	2	0.30	0.60
Válvulas de retención	1	2	2
Tubería de entrada con bordes	1	0.5	0.5
Total			K₂= 3.80

Reemplazando:

$$h_s = 3.80 * \frac{\left(2.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1.21 \text{ m}$$

Por lo tanto, las **pérdidas totales** en el sistema de bombeo, están divididas en primarias y secundarias con valores de 175.10 m y 1.21 m respectivamente.

$$h_{tt} = h_p + h_s = 175.10 \text{ m} + 1.21 \text{ m} = 176.31 \text{ m}$$

4.4.4. Altura de bombeo con vástago – resorte:

Para determinar la altura del sistema de bombeo con vástago - resorte, se empleará la ecuación de Bernoulli. Se aplica entre los puntos (1) y (2), ver figura 7.

$$H_B = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + Z_2 - Z_1 + h_{tt}$$

Datos, $P_1=489617.1$ Pa, $P_2 = 0$ bar manométricos (expuesto al medio atmosférico), $V_1 = 0.5$ m/s, $V_2 = 2.5$ m/s (velocidad en la superficie superior del agua en el tanque y velocidad en la superficie superior del agua en la captación), $Z_1 = 0$ m (sería cero en la ecuación de Bernoulli, porque el punto 1, pasa por el nivel de referencia), $Z_2 = 135$ m (Altura geodésica desde la bomba de ariete hasta el tanque), $h_{tt} = 176.31$ m y $\rho_{\text{agua}} = 998.20 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$.

$$H_B = \frac{0 - 489617.1}{998.20 * 9.81} + \frac{2.5^2 - 0.5^2}{2 * 9.81} + 135 - 0 + 176.31 \text{ m}$$

$$H_B = 261.61 \text{ m}$$

4.4.5. Potencias disponible y útil del sistema de bombeo con vástago – resorte:

Con los nuevos valores encontrados, podemos determinar la potencia disponible y la potencia útil, donde el caudal de ingreso Q_1 a la bomba de ariete es 0.0262 m³/min, el caudal útil Q_2 es 0.0183 m³/min y la altura de bombeo neta H_B es 262.02 m.

a) Potencia disponible:

$$P_{\text{disp.}} = \rho * g * Q_1 * H_B = 998.2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \frac{0.0262 \text{ m}^3}{60 \text{ s}} * 261.61 \text{ m} = 1118.64 \text{ W}$$

b) Potencia útil:

$$P_{\text{útil}} = \rho * g * Q_2 * H_B = 998.2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \frac{0.0183 \text{ m}^3}{60 \text{ s}} * 261.61 \text{ m} = 781.34 \text{ W}$$

4.4.6. Eficiencia volumétrica del sistema con vástago – resorte:

Es la relación entre la potencia útil y la potencia disponible con valores de 781.34 W y 1118.64 W respectivamente. Tenemos:

$$\eta_B = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{disponible}}} = \frac{781.34 \text{ W}}{1118.64 \text{ W}} = 0.7 = 70\%$$

4.4.7. Trabajo en la cámara de aire con vástago – resorte:

En la cámara de aire con el sistema vástago resorte, el trabajo que se necesita para bombear el flujo de agua requerido por el sector Partido alto, depende del trabajo del resorte y del trabajo de expansión del aire comprimido. Por lo tanto, tenemos:

$$W_{SB} = W_r + W_e$$

Donde, W_{SB} es el trabajo del sistema de bombeo con vástago resorte, W_r es el trabajo efectuado por el resorte y W_e es el trabajo de expansión.

El trabajo que necesita el sistema de bombeo, sería:

$$W_{SB} = \frac{P_{\text{útil}}}{\rho * Q_2} = \frac{781.34 \text{ W}}{998.2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{0.0183 \text{ m}^3}{60 \text{ s}}} = 2566.40 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Trabajo efectuado por el resorte:

$$W_r = -\frac{1}{2 * m} K * \delta^2 = -\frac{1}{2 * 1} K * (0.035)^2 = -6.125 * 10^{-4} * K$$

Mediante un proceso iterativo, se considera un resorte helicoidal con una deformación de 32 mm, asimismo, con una masa unitaria. (Ver tabla 12).

Trabajo de expansión:

$$W_e = P_a * v = 0.16604 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} * 5 * 10^5 \text{ Pa} = 83020 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

El volumen específico del aire a la temperatura de 20°C es 0.16604 m³/kg, con una presión de 5*10⁵ Pa.

Reemplazando:

$$2566.40 = -6.125 * 10^{-4} * K + 83020$$

Obteniendo K en unidades de daN/mm, tenemos:

$$K=13.13 \text{ daN/mm}$$

4.4.8. Selección del resorte

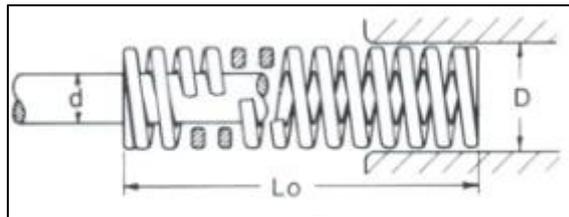


Figura 8: representación del vástago – resorte

Del proveedor de resortes DANLY MLD (empresa de marca brasileña comercial en el mercado nacional del Perú). Seleccionamos el resorte helicoidal de alambre templado en aceite ASTM 229 con un diámetro medio de la espira de 50 mm y un vástago de 25 mm de diámetro (diámetro que será corroborado mediante el análisis estático, fatiga y pandeo líneas más adelante), con una longitud natural de 64 mm, con una constante de elasticidad de 15.7 daN/mm, para soportar cargas máximas de hasta 502 daN con una deformación por compresión de 32 mm. Valores que se muestran en la tabla 12.

Tabla 12: Datos técnicos del resorte – vástago

∅ do furo mm	∅ do pino mm	Comp. libre mm	Nº DE CATÁLOGO	Const. Elast. daN para comprimir 1 mm	TABELA DE CARGAS			
					Curso máx. de trabalho (40% de Lo)		Compressão total	
					Carga daN	Curso mm	Carga daN	Curso mm
D	d	Lo						
		64	9-3210-11	15.7	393	25	502	32
		76	9-3212-11	12,6	378	30	491	39
		89	9-3214-11	10,5	368	35	473	45
		102	9-3216-11	9,0	369	41	468	52
		115	9-3218-11	7,8	359	46	455	58
		127	9-3220-11	7,0	357	51	455	65
		140	9-3222-11	6,3	353	56	446	72
		152	9-3224-11	5,7	348	61	445	78
		178	9-3228-11	4,8	341	71	441	92
		203	9-3232-11	4,2	340	81	437	104
		254	9-3240-11	3,3	337	102	429	130
		305	9-3248-11	2,7	329	122	421	156

Fuente: (Ecim, 2023)

En la figura 9, se observa que la eficiencia de la bomba de ariete solo con cámara de aire es 59.71%, pero con la implementación de un sistema de regulación vástago resorte es 70%, obtenido un incremento porcentual de 10.29%.

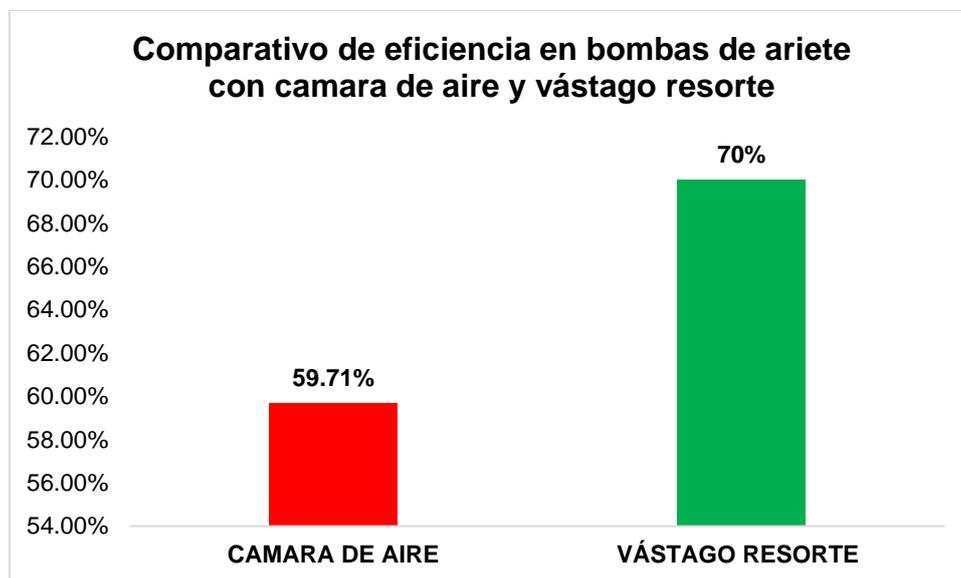


Figura 9: Comparativo de eficiencia en arietes de cámara de aire y vástago resorte.

4.4.9. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento y redes principales de agua

Es necesario dimensionar el nuevo tanque de almacenamiento, porque el actual tanque tiene una capacidad de 20 m³, no siendo suficientes para el consumo de la población de Partido Alto.

El tanque debe tener la capacidad de almacenamiento de 3 días, debido a problemas de mantenimiento que se pueden suscitar con la bomba de ariete. Por lo tanto, el volumen de almacenamiento máximo que tendrá el tanque sería:

$$V_t = Q_2 * N^\circ \text{ días}$$

$$V_t = 26370.25 \frac{\text{lt}}{\text{día}} * 3 \text{ días} = 79110.75 \text{ lt} = 79.11 \text{ m}^3$$

Cabe precisar que el volumen de 79.11 m³ es el volumen máximo de almacenamiento del tanque, pero el volumen de agua que entregará la bomba de ariete será solo el requerido por un día, es decir: 26.37 m³

Seleccionaremos una altura h_t de 5 metros para el tanque, por lo tanto, el diámetro sería:

$$D_t = \sqrt{\frac{4 * V_t}{\pi * h_t}} = \sqrt{\frac{4 * 79.11 \text{ m}^3}{\pi * 5 \text{ m}}} = 4.5 \text{ m}$$

a) La velocidad de salida del agua del tanque de almacenamiento: Aplicando la ecuación de Bernoulli, entre los extremos del tanque (Ver figura 10)

$$\frac{P_x}{\rho g} + \frac{V_x^2}{2g} + Z_x = \frac{P_y}{\rho g} + \frac{V_y^2}{2g} + Z_y$$

Dónde: $P_x \approx P_y \approx 0$ bar atmosféricos, $V_x \approx 0$, $Z_y \approx 0$ (Pasa por el nivel de referencia) y $Z_x = h_t$ (altura del tanque). Reemplazando:

$$\frac{0}{\rho g} + \frac{0^2}{2g} + Z_x = \frac{0}{\rho g} + \frac{V_y^2}{2g} + 0 \rightarrow V_y = \sqrt{2gh_t}$$

$$V_y = \sqrt{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 5 \text{ m}} \rightarrow V_y = 9.9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La velocidad de 9.9 m/s es la velocidad máxima del agua a la salida del tanque (reservorio), luego mediante un ensanchamiento, dicha velocidad se reducirá a 3.5 m/s que vendría a ser la velocidad de consumo de agua domiciliario.

b) Diametro de la tuberia de salida del tanque de almacenamiento:

De la ecuacion de la continuidad entre los puntos "x" y "y" (figura 10)

$$V_x * S_x = V_y * S_y \Rightarrow V_x = V_y * \frac{S_y}{S_x}$$

De la ecuacion de bernoulli:

$$\frac{P_x}{\rho g} + \frac{V_x^2}{2g} + Z_x = \frac{P_y}{\rho g} + \frac{V_y^2}{2g} + Z_y \rightarrow \frac{(V_y * \frac{S_y}{S_x})^2}{2g} = \frac{V_y^2}{2g} + h_t \rightarrow V_y = S_x * \sqrt{\frac{2gh_t}{S_y^2 - S_x^2}}$$

Tenemos:

$$-S_x dh = S_y V_y dt$$

$$-S_x dh = S_y * S_x * \sqrt{\frac{2gh_t}{S_y^2 - S_x^2}} \cdot dt \rightarrow \frac{-dh}{\sqrt{h_t}} = S_y * \sqrt{\frac{2g}{S_y^2 - S_x^2}} \cdot dt$$

Integrando: En el tanque cuando $h=0$, se produce el vaciado de dicho tanque.

$$-\int_H^h \frac{dh}{\sqrt{h_t}} = S_y * \sqrt{\frac{2g}{S_y^2 - S_x^2}} \int_0^t dt \rightarrow -\int_H^h h_t^{\frac{1}{2}} * dh = S_y * \sqrt{\frac{2g}{S_y^2 - S_x^2}} \int_0^t dt$$

$$-\left(2h^{\frac{1}{2}} - 2H^{\frac{1}{2}}\right) = S_y * \sqrt{\frac{2g}{S_y^2 - S_x^2}} * t \rightarrow -\left(0 - 2H^{\frac{1}{2}}\right) = S_y * \sqrt{\frac{2g}{S_y^2 - S_x^2}} * t$$

Despejando el área transversal “ S_y ”

$$S_y = \sqrt{\frac{2H * S_x^2}{t^2 * g}}$$

Donde, H es la altura del tanque con un valor de 5 m, S_x es el área transversal del tanque con un valor de 13.85 m² y t es el tiempo máximo de abastecimiento de agua para la población de 3 días. Reemplazando la sección o área de la tubería de salida del tanque sería:

$$S_y = \sqrt{\frac{2(5 \text{ m}) * (13.85 \text{ m}^2)^2}{(3 * 24 * 3600 \text{ s})^2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = 7.54 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

El diámetro de la tubería de salida sería:

$$dy = \sqrt{\frac{4 * S_y}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 7.54 * 10^{-4} \text{ m}^2}{\pi}} \rightarrow dy = 1 \frac{1}{4} \text{ pulg.}$$

c) Diámetro de la tubería de agua para los domicilios: Aplicando la ecuación de la continuidad:

$$V_y * dy^2 = V_z * dz^2$$

Dónde: V_y es la velocidad del agua de la tubería de salida del reservorio, 9.9 m/s, dy diámetro de la tubería de salida del reservorio, 1 ¼ in (31.75mm), V_z velocidad del agua para consumo domiciliario de 3.5 m/s (valor estándar en diseño de redes de tuberías para domicilios) (Sarker, 2021) y dz diámetro de la tubería de agua hacia los domicilios. Tenemos:

$$9.9 \frac{\text{m}}{\text{s}} * (31.75 * 10^{-3} \text{ m})^2 = 3.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} * dz^2 \rightarrow dz = 2 \text{ pulg}$$

Los resultados, respecto al dimensionamiento del tanque y red de tuberías se muestran en la figura 10.

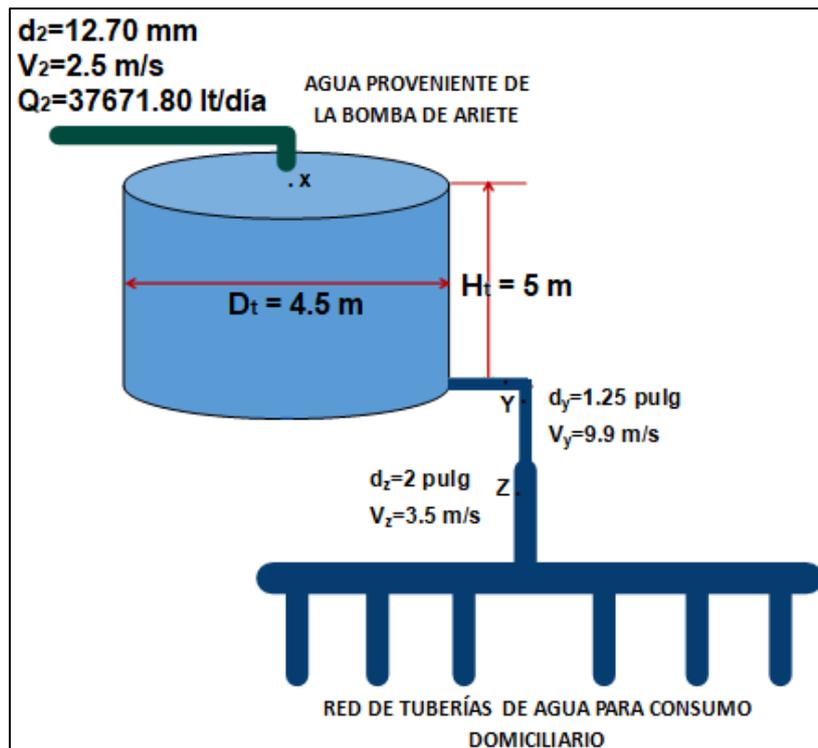


Figura 10: Dimensionamiento del tanque y red de tuberías

4.5. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE REGULACIÓN VÁSTAGO RESORTE

4.5.1. Análisis de cargas estática y fatiga en el vástago resorte:

se realizará un análisis de cargas estática y fatiga para determinar el diámetro del vástago, para que no sufra flexión o agrietamientos en su estructura. En la figura 11, se muestran las partes del sistema de regulación.

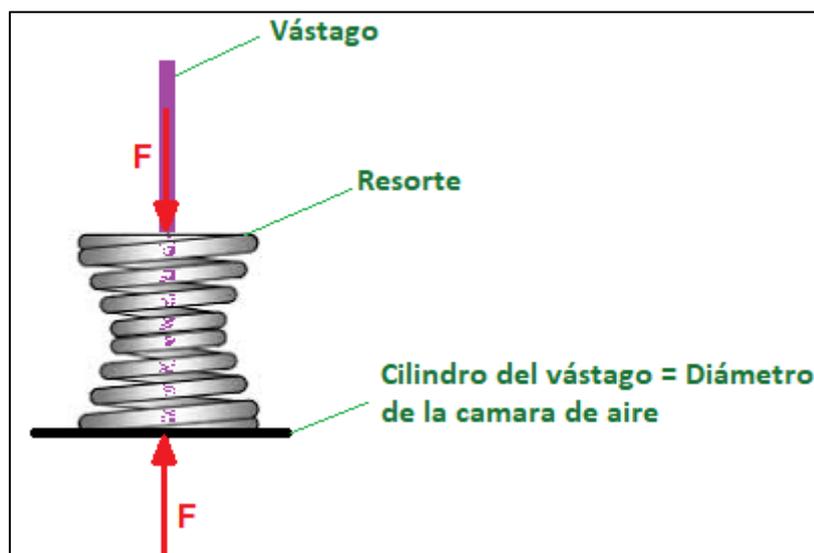


Figura 11: Fuerza de compresión aplicada en el conjunto vástago – resorte.

El diámetro de la cámara es 25 cm, entonces el área del cilindro del vástago sería:

$$A = \frac{\pi * D_c^2}{4} = \frac{\pi * (0.25 \text{ m})^2}{4} = 0.05 \text{ m}^2$$

En la cámara de aire se origina una presión máxima de 5 bar, reemplazando:

$$P_a = \frac{F}{A} \rightarrow 5 * 10^5 \text{ Pa} = \frac{F}{0.05 \text{ m}^2} \rightarrow F = 25000 \text{ N} = 25 \text{ KN}$$

Esfuerzo axial: Se expresará el esfuerzo axial en función del diámetro del vástago

$$\sigma_a = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{\pi * d_v^2}{4}} = \frac{25000 \text{ N}}{\frac{\pi * d_v^2}{4}} = \frac{31831}{d_v^2}$$

Material: El material del vástago será AISI 1045 estirado en frío, debido a su promedio nivel de resistencia, tenacidad, baja templabilidad y buena resistencia a la corrosión, utilizándose en mecanismos sometidos a húmeda (Budynas, et al., 2020). Su resistencia máxima a la tracción o última y su resistencia a la fluencia son:

$$S_{ut} = 630 \text{ MPa}$$

$$S_y = 530 \text{ MPa}$$

a) Carga estática: En un análisis por carga estática, considerando un factor de seguridad de 2.5 el cual es un valor promedio representativo para asegurar un correcto diseño, el diámetro del vástago sería:

$$N = \frac{S_y}{\sigma_{\text{máx}}} = \frac{S_y}{\sigma_a}$$

El esfuerzo máximo es igual al esfuerzo axial, debido a que es la única carga a la cual está sometido el vástago.

$$2.5 = \frac{530 * 10^6 \text{ Pa}}{\frac{31831}{d_v^2}} \rightarrow d_v = 12.25 \text{ mm} \approx \frac{1}{2} \text{ in}$$

El diámetro del vástago bajo carga estática y con un factor de seguridad de 2.5, requiere de un diámetro de ½ pulgada.

b) Carga fatiga:

Límite de resistencia de la fatiga:

$$S_e^* = \begin{cases} 0.5 S_{ut} & S_{ut} \leq 200\text{Kpsi}(1400\text{MPa}) \\ 100\text{Kpsi} & S_{ut} > 200\text{Kpsi}(1400\text{MPa}) \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1400\text{MPa} \end{cases}$$

El material del vástago tiene una resistencia máxima de 630 MPa, por lo tanto, se utilizará la formulación:

$$S_e^* = 0.5 * S_{ut} \rightarrow S_e^* = 0.5 * (630) = 315 \text{ MPa}$$

Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga:

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * S_e^*$$

Factor de superficie "K_a": El material del vástago es laminado en frío, por lo tanto, los factores serían: a = 4.51 MPa y b = -0.265 MPa (tabla 13).

$$K_a = a * S_{ut}^b$$

$$K_a = 4.51 * (630)^{-0.265} = 0.82$$

Tabla 13: Factores de superficie

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S _{utr} kpsi	S _{utr} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Fuente: (Budynas, y otros, 2020)

Factor de Tamaño "K_b": Para vástagos con diámetros entre 2.79 a 51mm, el factor de tamaño sería:

$$K_b = 1$$

El libro de diseño de máquinas de Shigley (Budynas, et al., 2020), cuando solo existe carga axial el factor de tamaño es 1.

$$K_b = 1$$

Factor de carga "K_c": En el libro de diseño de máquinas de Shigley (Budynas, et al., 2020), se especifican los siguientes criterios:

$$K_c = \begin{cases} 1 & \text{flexion} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsion} \end{cases}$$

El vástago está sometido a carga axial, por lo tanto: $K_c = 0.85$

Factor de temperatura "K_d": El vástago estará en funcionamiento continuo (24 h/día), donde el clima de la selva tiene temperaturas elevadas. Por lo tanto, se considerará temperaturas entre 20 a 50°C (tabla 14).

$$K_d = 1.01$$

Tabla 14: Factores de temperatura

Temperatura, °C	S _T /S _{RT}	Temperatura, °F	S _T /S _{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024

Fuente: (Budynas, y otros, 2020)

Factor de confiabilidad "K_e": Se seleccionará un diámetro de vástago con una probabilidad estadística del 1%, el cual indica una confiabilidad del 99% (Tabla 15).

$$K_e = 0.814$$

Tabla 15: Factores de confiabilidad

Confiabilidad, %	Variación de transformación z _α	Factor de confiabilidad k _e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702

Fuente: (Budynas, y otros, 2020)

El límite de resistencia a la fatiga real, sería:

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * S_e^*$$

$$S_e = 0.82 * 1 * 0.85 * 1.01 * 0.814 * 315 \text{ MPa}$$

$$S_e = 180.50 \text{ MPa}$$

Teoría de falla de Goodman:

$$N = \frac{1}{\frac{\sigma_m}{S_{ut}} + \frac{\sigma_a}{S_e}}$$

En el funcionamiento del sistema vástago resorte, no existe cargas por torsión por lo tanto el esfuerzo medio (σ_m) es nulo y debido a que solo existe carga axial, está es igual al esfuerzo alterno (σ_a). De la misma manera, que el análisis estático se considerará un factor de seguridad confiable de 2.5 para carga variable.

$$2.5 = \frac{1}{\frac{0}{630 * 10^6 \text{Pa}} + \frac{\frac{31831}{d_v^2}}{180.50 * 10^6 \text{Pa}}}$$

$$d_v = 21\text{mm} \approx 1\text{pulg.}$$

Por lo consiguiente, bajo carga de fatiga el diámetro del vástago debe ser de 1 pulgada de material AISI 1045 estirado en frío.

4.5.2. Análisis por pandeo en el vástago

Se determinará el diámetro óptimo del vástago por pandeo

$$\frac{P_{cr}}{A} = \frac{C * \pi^2 * E}{\left(\frac{L}{K}\right)^2}$$

Tenemos:

E: Módulo de elasticidad del acero, 207 GPa.

C: Condiciones de extremo del vástago. El vástago en uno de sus extremos será móvil y en el otro articulado, por lo cual le corresponde el valor de 2. Tal como se muestra en la figura 12.

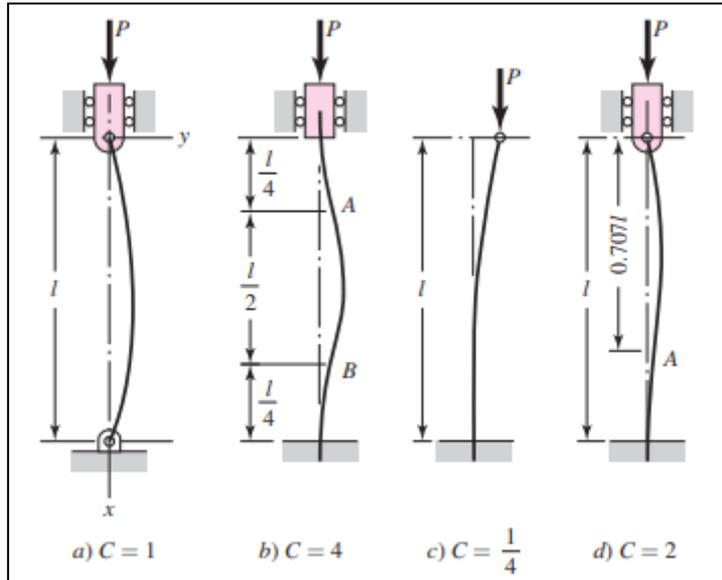


Figura 12: Condiciones de sujeciones de extremos por pandeo
 Fuente: (Budynas, y otros, 2020)

L: Es la longitud del vástago, 50 cm.

P_{cr} : Es la carga crítica, la cual sería 2.5 veces la fuerza axial de 25000 N, por lo tanto, la carga crítica sería:

$$P_{cr} = 25000 * 2.5 = 62500 \text{ N.m}$$

K: Es el radio de giro, para una sección transversal:

$$K = \frac{d_v}{4}$$

A: Es el área transversal del vástago:

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

Reemplazando las variables:

$$\frac{P_{cr}}{\frac{\pi * d_v^2}{4}} = \frac{C * \pi^2 * E}{\left(\frac{L}{0.25 * d_v}\right)^2} \rightarrow \frac{4 * P_{cr}}{\pi * d_v^2} = \frac{0.25^2 * d_v^2 * C * \pi^2 * E}{L^2}$$

Despejando el diámetro del vástago y Sustituyendo valores, tenemos:

$$d_v = \left(\frac{64 * P_{cr} * L^2}{\pi^3 * C * E}\right)^{1/4} = \left(\frac{64 * 62500 * 0.5^2}{\pi^3 * 2 * 207 * 10^9}\right)^{1/4} \rightarrow d_v = 16.7 \text{ mm} \approx \frac{3}{4} \text{ pulg}$$

Por lo tanto, el diámetro del vástago por pandeo es $\frac{3}{4}$ pulgada. En la tabla 16, se muestran los 3 diámetros encontrados para el vástago, según carga estática, fatiga y pandeo, resultando que el diámetro óptimo del vástago es 1 pulgada.

Tabla 16: Diámetros de vástago por carga estática, fatiga y pandeo

Carga estática	Carga fatiga	Pandeo
$d_v = 1/2$ pulg	$d_v = 1$ pulg	$d_v = 3/4$ pulg

Fuente: Resultados del análisis por cargas estática, fatiga y pandeo.

4.5.3. Análisis por resortes mecánicos

Este análisis se realizará para afirmar los cálculos realizados anteriormente respecto al calculo del esfuerzo y factor de seguridad que tiene el resorte helicoidal, mediante la metodología descrita en el libro de diseño en ingeniería mecánica de Shigley.

Esfuerzo máximo en el resorte helicoidal:

El esfuerzo máximo que soporta el resorte helicoidal, es la combinación del esfuerzo cortante y el esfuerzo axial (figura 13), expresado por la siguiente ecuación matemática:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{T * r}{J} + \frac{F}{A_t}$$

Donde: T es el torque (N.m), r radio del alambre (m), J momento polar (m^4), F fuerza axial (N) y A_t área transversal del alambre (m^2).

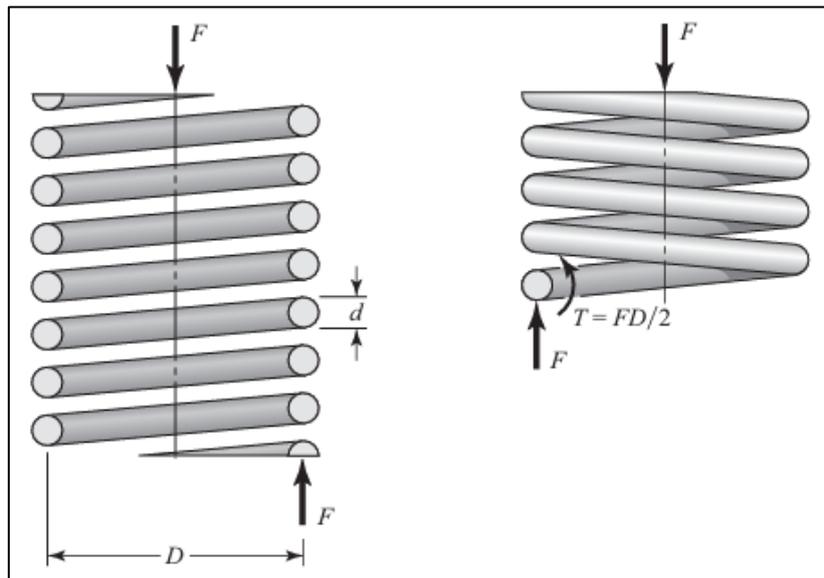


Figura 13: Diagrama de cuerpo libre del resorte helicoidal.

Reemplazando, $T = F \cdot D / 2$; $A_t = \pi \cdot d_w^2 / 4$, $r = d_w / 2$ y $J = \pi \cdot d_w^4 / 32$. Tenemos:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{\left(\frac{F \cdot D}{2}\right) \cdot \left(\frac{d_w}{2}\right)}{\frac{\pi \cdot d_w^4}{32}} + \frac{F}{\frac{\pi \cdot d_w^2}{4}} = \frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d_w^3} + \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d_w^2}$$

Donde:

- Fuerza axial: $F = 25000 \text{ N}$
- Diámetro medio de la espira: $D = 50 \text{ mm}$
- Diámetro del alambre templado en aceite: $d_w = 12.7 \text{ mm}$ (ver anexo de constantes y calibres de acero para resortes).

Reemplazando:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{8 \cdot (25000 \text{ N}) \cdot (0.050 \text{ m})}{\pi \cdot (0.0127 \text{ m})^3} + \frac{4 \cdot (25000 \text{ N})}{\pi \cdot (0.0127 \text{ m})^2}$$

$$\tau_{\text{máx}} = 1.75 \text{ GPa}$$

Esfuerzo último a la tracción:

El esfuerzo último a la tracción del material del alambre del resorte helicoidal, se determina mediante la siguiente expresión:

$$S_{\text{ut}} = \frac{A}{d_w^m}$$

Donde: A y m son constantes para la resistencia última a la tracción, cuyos valores para el alambre de piano son 1855 MPa m^m y 0.187 respectivamente (ver anexo de constantes y calibres de acero para resortes)

$$S_{\text{ut}} = \frac{1855}{(0.0127)^{0.187}} = 4.20 \text{ GPa}$$

Factor de seguridad:

El factor de seguridad del resorte helicoidal, depende del esfuerzo último a la tracción y del esfuerzo máximo de trabajo del resorte. Tenemos:

$$N = \frac{S_y}{\tau_{\text{máx}}} = \frac{0.5 \cdot S_{\text{ut}}}{\tau_{\text{máx}}} = \frac{0.5 \cdot 4.20}{1.75} = 1.20$$

Por lo consiguiente el resorte helicoidal trabajando a condiciones máximas de carga, tiene un factor de seguridad factible para el diseño.

4.6. PRESUPUESTO PARA EL REDISEÑO DE LA BOMBA DE ARIETE CON REGULACIÓN VÁSTAGO RESORTE.

4.6.1. Beneficio económico:

El sector de Partido Alto, según su ubicación geográfica paga 18.00 soles el metro cubico de agua a los camiones cisterna, si se mide desde este criterio el impacto económico, el beneficio es:

$$B_{enf} = Q * TP * C$$

Q: Es el caudal de agua, que tienen disponible los pobladores todo el año de manera constante, el cual es entregado por la bomba de ariete.

$$Q = 12000 \frac{\text{lt}}{\text{día}} = 0.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

TP: Tiempo de operación de la bomba de ariete con vástago resorte, 8760 h/año (Trabaja constantemente durante todo el año)

C: Costo del metro cubico de agua, que pagan los pobladores de Partido Alto, cuando le compran a los camiones cisterna, 18.00 soles/m³.

$$B_{enf} = 0.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 8760 \frac{\text{h}}{\text{año}} * 18.00 \frac{\text{soles}}{\text{m}^3}$$

$$B_{enf} = 78840 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

Los pobladores del sector Partido Alto, al contar con una eficiente bomba de ariete con sistema vástago resorte en su cámara de aire, se estarían ahorrando 78840 soles/año.

4.6.2. Inversión económica

En la tabla 17, se muestran todos los activos fijos (materiales y mano de obra) para el rediseño de la bomba de ariete con sistema vástago resorte en la cámara de aire.

Tabla 17: Inversión del proyecto

Material	Unidad	Cantidad	Precio unitario (soles)	Precio total (soles)
Tubería acero comercial L:65.27m, D:1½ pulg, Q=37671.80 lt/día.	m	66	26.33	1737.78
Tubería acero comercial L:226.65m, D: 1/2 pulg, Q=26370.25 lt/día.	m	230	19.42	4466.60
Tanque almacenamiento de agua, fibra de vidrio H:5m, D:4.5m, V:79.11 m ³ , Q=26370.25 lt/día.	Unid.	1	1	12000.00
Válvulas compuerta acero inoxidable, D=1½ pulg, Q=37671.80 lt/día.	Unid.	2	92.00	184.00
Válvulas compuerta acero inoxidable, D=1/2 pulg, Q=26370.25 lt/día.	Unid.	2	86.00	172.00
Válvulas retención o check acero inoxidable, D=1½pulg, Q=37671.80 lt/día	Unid.	2	122.00	244.00
Válvulas retención o check acero inoxidable, D= ½ pulg, Q=26370.25 lt/día.	Unid.	1	75.00	75.00
Filtro de impurezas	Unid.	1	240.0	240.00
Codo recto, radio largo acero inoxidable D= ½ pulg, Q=26370.25 lt/día.	Unid.	1	92.00	92.00
Codo angular 45° acero inoxidable D= ½ pulg, Q=26370.25 lt/día.	Unid.	1	63.00	63.00
Tubería acero comercial L:6m, D:1.25pulg.	m	6	17.55	105.30
Tubería acero comercial L:6m, D:2pulg.	m	6	26.33	157.98
Soldadura filete h=1/8 pulg, E7018	Kg	30	22.00	660.00
Vástago AISI 1045 CD, L:50cm, D=1pulg. (incluye maquinado para cilindro de vástago). El resorte viene incluido en el vástago K=157 N/m, con diámetro de 50 mm y longitud de 64 mm.	Unid.	1	322.00	322.00
Mano de obra (Obras civiles, instalación de rediseño de bomba de ariete)	Unid.	1	20.000	20000
Total				40519.66

Fuente: Costos y presupuestos según el mercado local y regional del departamento de San Martín.

4.6.3. Periodo de retorno de la inversión:

$$PRI = \frac{\text{Inversión}}{\text{Beneficio}} = \frac{40519.66 \text{ soles}}{78840 \frac{\text{soles}}{\text{año}}}$$

$$PRI = 0.51 \text{ años} \approx 7 \text{ meses}$$

4.6.4. Valor actual neto y tasa interna de rentabilidad:

Para determinar las herramientas financieras VAN y TIR, consideraremos una tasa de crédito promedio de 11.50% y un periodo de 5 años, valores promedios según la Superintendencia de Banca y Seguros del Perú. En la tabla 18, se muestra una hoja de cálculo en Excel, resultando el proyecto viable con un TIR de 194% y VAN de 247236.71 soles.

Tabla 18: VAN y TIR del proyecto

Periodo Préstamo	Flujos en el tiempo	Concepto
lo	S/. - 40519.66	Inversión inicial del proyecto
1	S/. 78840	Beneficio en el primer año
2	S/. 78840	Beneficio en el segundo año
3	S/. 78840	Beneficio en el tercer año
4	S/. 78840	Beneficio en el cuarto año
5	S/. 78840	Beneficio en el quinto año
BET	S/. 394200	Beneficio total en 5 años
i	11.50%	Tasa de interés
TIR	194%	Viabilidad del proyecto
VAN	S/ 247236.71	Rentabilidad del proyecto

Fuente: Hoja de cálculo en Excel

V. DISCUSIÓN

Para identificar las necesidades de la población del sector Partido Alto, se realizó una encuesta a las 46 viviendas (240 ciudadanos) que existen actualmente en el año 2023, para determinar el consumo de caudal actual y requerido, asimismo para saber su opinión respecto al rediseño de la bomba de ariete y costos de consumo de agua. Los resultados de la encuesta realizada a las 46 viviendas del Sector Partido Alto, se dividieron en 3 grupos de 6 familias, 9 familias y 31 familias. El primer grupo de 5 familias tiene un consumo actual de 1110 lt/día, pero requieren 1680 lt/día. El segundo grupo de 9 familias tienen un consumo de 2025 lt/día, requiriendo 3150 lt/día. Y el tercer grupo de 31 familias consumen actualmente 8835 lt/día por familia, pero requieren 13950 lt/día. Encontrando que toda la población tiene un déficit del 55% en consumo de agua. Es decir, el sector Partido Alto tiene un consumo actual de 11970 lt/día, pero requiere 18780 lt/día, es decir una diferencia en caudal de 6810 lt/día. Estos valores nos llevaron a encontrar que el consumo promedio requerido por habitante del sector Partido Alto es 78.25 lt/día y actualmente es 49.875 lt/día.

También se consultó a la población del Sector Partido Alto, si estarían de acuerdo con el rediseño de la bomba de ariete, resultando que el 96% aprueba el rediseño. Asimismo, el 97% estuvo también de acuerdo con asumir los gastos en materiales y mano de obra, para el rediseño de la bomba de ariete.

Por otro lado, debido al crecimiento poblacional que ha tenido el sector Partido Alto, fue necesario proyectar en 10 años el consumo de agua de los habitantes. Para lo cual se tomaron datos del número de habitantes desde el periodo 1980-2023, para luego mediante una gráfica de dispersión de puntos encontrar una ecuación exponencial que rige el comportamiento de crecimiento de la población. De esta manera se proyectó que, para el año 2033 el caudal requerido sería 26370.25 lt/día, con este valor se realizaron los cálculos de rediseño, para un análisis viable en el tiempo.

También, fue necesario evaluar el potencial hidráulico del caudal máximo y mínimo del río Mayo, para determinar si puede cumplir con la demanda máxima que necesita la población del sector Partido Alto. Encontrando que en la

actualidad el río Mayo tiene un caudal promedio anual de 450.3 m³/s. Pero estudios realizados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el informe “Plan de gestión de recursos hídricos del río Mayo”, proyecta para el año 2050 un caudal promedio anual estimado de 487.6 m³/s. Por lo tanto, el río, posee el suficiente caudal para abastecer a la población del sector Partido Alto.

Luego para definir los conceptos de diseño para mejorar la bomba de ariete, se realizó mediante los requerimientos o exigencias de la población del sector Partido Alto y según las condiciones del estado de la bomba de ariete, donde se tuvieron en cuenta las funciones como, la eficiencia hidráulica, el flujo volumétrico (caudal requerido), durabilidad, costos de fabricación y mantenimiento. Donde la eficiencia y el caudal fueron los parámetros de mayor relevancia para el estudio con porcentajes de 33.33% y 26.67% respectivamente, seguido de la durabilidad con 20%, costo 13.33% y 6.67% en mantenimiento. De esta manera se propusieron 4 conceptos de diseño: a) Bomba de ariete con contacto simple agua – aire en cámara forma cilíndrica, b) Bomba de ariete con sistema de regulación vástago resorte en cámara de aire, c) Bomba de ariete con sistema de esferas elásticas deformables en cámara de aire de forma cilíndrica y d) Bomba de ariete con cabezal esférico para el contacto directo agua – aire. Resultando como concepto óptimo el sistema de regulación vástago resorte, obteniendo el mayor puntaje de 4.867, respecto a las 5 funciones. De esta manera se reafirmó que la instalación de un vástago resorte en la cámara de ariete, es la mejor propuesta para incrementar el caudal y la eficiencia.

En el análisis energético, se tuvo presente que las tuberías de succión y descarga, no están completamente llenas de agua, debido a que actualmente el sistema de tuberías tiene problemas de erosión. Debido a que fueron dimensionadas y seleccionadas sin criterios técnicos y tampoco de ingeniería. Por lo tanto, la velocidad de succión fue $V_1 = Q_1/A_1 = 0.0139 / (60 \cdot 0.0816 \cdot 0.02542) = 4.40$ m/s, de la misma la velocidad de descarga es $V_2 = Q_2/A_2 = 0.0083 / (60 \cdot 0.040 \cdot 0.02542) = 5.35$ m/s. También para determinar las pérdidas en el sistema de bombeo fue necesario calcular el número de Reynolds y factor de fricción en las tuberías de succión y descarga. Pero se precisó que

las pérdidas en una bomba de ariete solo se registran en el lado de descarga o impulsión, porque en el lado de succión el agua cae por gravedad. Asimismo, se tuvieron las recomendaciones de los investigadores Chero (2019) y Aldossary, y otros. (2021), respecto a trabajar con velocidades de succión y descarga, con valores de 0.5 y 2.5 m/s respectivamente, cuyas velocidades son suficientes para generar el golpe de ariete, y para reducir los daños por erosión. Estos valores fueron fundamentales para determinar la eficiencia hidráulica de la bomba en condiciones actuales y en mejora con valores de 59.71% y 70% respectivamente.

Para determinar la constante elástica del resorte en la cámara de aire con el sistema vástago resorte, fue necesario realizar un balance energético, calculando el trabajo que se necesita para bombear el flujo de agua requerido por el sector Partido alto, el cual depende del trabajo del resorte y del trabajo de expansión del aire comprimido, encontrando una constante de 13.13 daN/mm. Pero se normalizó este valor a 15.70 daN/mm para un resorte helicoidal de alambre templado en aceite ASTM 229 con un diámetro medio de la espira de 50 mm, vástago de 25 mm de diámetro y longitud natural de 64 mm, para soportar cargas máximas de hasta 502 daN con una deformación por compresión de 32 mm.

También, fue necesario dimensionar el nuevo tanque de almacenamiento, porque el actual tanque tiene una capacidad de 20 m³, no siendo suficientes para el consumo de la población de Partido Alto. El nuevo tanque se diseñó para una capacidad de almacenamiento de 3 días, debido a problemas de mantenimiento que se pueden suscitar con la bomba de ariete. Por lo tanto, el volumen de almacenamiento máximo que tendrá el tanque resultó 79.11 m³. Para lo cual el diámetro es 4.5 m con una altura de 5 m.

El autor González (2020) analizó 5 bombas de ariete de 25000 lt/día de agua, determinando que las bombas de ariete con cabezal cilíndrico de contacto simple, pueden alcanzar una eficiencia máxima del 50%, debido a la deficiencia de presión en la cámara de aire. Asimismo, indicó que las bombas de ariete pueden llegar a entregar un caudal útil de 65% del caudal total con un desperdicio del 35%. La presente investigación encuentra similitud con lo

encontrado por el autor Gonzáles, porque la bomba de ariete en estudio tiene una eficiencia hidráulica de 59.71% con cámara de aire, entregando un caudal útil del 60% respecto al total y un desperdicio del 40%.

También los autores Wanchai, et al. (2020) determinaron que la deficiencia de las bombas hidráulicas se debe a la baja carga de presión en el cabezal, el cual se encuentra en el rango de 3 a 6 bar manométricos, lo cual genera que la eficiencia no supere el 60%. Pero al aumentar la presión en el cabezal en rangos de 6 a 9 bar manométricos, la eficiencia hidráulica incrementaría hasta 85%. Con estas mejoras el caudal de desperdicio de agua o de retorno, estaría por debajo del 25%. La presente investigación encuentra similitud con lo encontrado por el autor Wanchai, et al., porque la bomba de ariete tiene una presión de 5 bar en la cámara de aire, con una eficiencia del 59.71%, pero con un sistema de regulación vástago resorte incrementa a 70%, reduciendo el caudal de desperdicio a 30%.

El investigador Chero (2020) diseñó una bomba de ariete con un caudal de ingreso de 12000 lt/día, caudal útil de 7800 lt/día y caudal de retorno de 4200 lt/día. La bomba fue instalada en una variación de altura geodésica de 75 m.c.a, con una tubería de succión de 1.5 pulgadas y 1 pulgada de descarga, encontrando que para tales condiciones la eficiencia máxima llegó a 58.12%. La presente investigación encuentra similitud con lo encontrado por el autor Chero, porque la bomba de ariete instalada actualmente tiene un caudal de ingreso de 20000 lt/día, caudal útil de 12000 lt/día y caudal de retorno de 8000 lt/día, con una variación de altura geodésica de 85 m.c.a, para lo cual la eficiencia encontrada fue de 59.71%. Pero cabe resaltar que respecto a los diámetros de succión y descarga se encuentran diferencias ya que la bomba de ariete tiene calibres de 2.5 y 1.75 pulgadas respectivamente.

Por otro lado, el investigador Saavedra (2020), indicó que para alturas geodésicas entre 90 a 150 m.c.a, se tendrán eficiencias hidráulicas entre 50 a 60%. Encontrando una similitud con esta investigación donde para una altura geodésica máxima de 125 m, la eficiencia hidráulica fue de 59.71%.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1. Se identificaron las necesidades del sector Partido Alto, encontrando que tienen un déficit del 55% en consumo de agua, requiriendo 18780 lt/día para abastecer a 240 ciudadanos. Asimismo, mediante la encuesta realizada, el 96% de los ciudadanos está a favor del rediseño y el 97% está de acuerdo con asumir los gastos para el mejoramiento de la bomba de ariete. Para un estudio confiable se proyectó el caudal requerido a un periodo de 10 años, obteniendo un flujo volumétrico de 26370.25 lt/día.
- 6.2. Se propusieron 4 conceptos de rediseño de bomba de ariete: a) con contacto simple en cámara cilíndrica, b) con sistema de regulación vástago resorte en cámara de aire, c) con sistemas de esferas elásticas deformables y d) con cabezal esférico en contacto directo de agua y aire. Obteniendo como concepto óptimo, al sistema de regulación vástago resorte, según las funciones de eficiencia, caudal, durabilidad, costo y mantenimiento.
- 6.3. Se realizó un balance energético al sistema de bombeo actual, obteniendo un caudal útil de 20000 lt/día, con pérdidas de 160.38 m, altura energética de 245.85 m y una eficiencia hidráulica de 59.71%.
- 6.4. Se realizó un balance energético al sistema de bombeo con regulación vástago resorte para evaluar sus nuevos parámetros de operación, obteniendo un caudal útil de 26370.25 lt/día, con pérdidas de 176.31 m, altura energética de 261.61 m, eficiencia energética de 70%. Asimismo, se dimensionó el tanque de almacenamiento para un volumen de 79.11 m³, con un diámetro de 4.5 m y una altura de 5 m.
- 6.5. Se dimensionó el sistema de regulación, con un resorte helicoidal de alambre templado en aceite ASTM 229 de 15.7 daN/mm de constante elástica, 50 mm de diámetro medio de la espira y 32 mm de deformación máxima por compresión. El análisis por carga estática, fatiga y pandeo, concluyeron que el diámetro del vástago es 1 pulgada, bajo estas condiciones el factor de seguridad del sistema de regulación es 1.20.
- 6.6. El proyecto para el rediseño de la bomba de ariete tiene una inversión de 40519.66 soles, beneficio de 78840 soles/año, retorno operacional de 7 meses, VAN de 247236.71 soles y TIR de 194%, concluyendo que el proyecto es viable técnico y económicamente.

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1. Se recomienda un plan de mantenimiento de actividades correctivas y preventivas para el control, seguimiento y evaluación del comportamiento del sistema de regulación vástago resorte.
- 7.2. Se recomienda cambiar el sistema de red de tuberías, ya que las que están actualmente instaladas, no fueron dimensionadas por criterios técnicos, ni de ingeniería. Es decir, se recomienda un diámetro de succión mínimo de ½ pulgada y en la descarga 1 ½ pulgada, para de esta manera evitar los problemas de erosión que actualmente se están originando en las paredes internas de las tuberías.
- 7.3. Se recomienda seleccionar como material para el resorte el alambre templado en aceite ASTM 229, el cual tiene las mejores propiedades respecto a resistir grandes cargas de compresión y tensión. Así como buen comportamiento frente a factores ambientales de húmeda, oponiendo alta resistencia a la corrosión.
- 7.4. Se recomienda un análisis comparativo de la eficiencia hidráulica y costos, de la bomba de ariete con sistema de regulación vástago resorte, frente a una electrobomba y riogenerador.

REFERENCIAS

ALDOSSARY, Sarah, Alnowaiser, Malak y Almuslim, Ghadeer. 2021. Design of Water Hammer Shock Absorber. India: Prince Mohammad Bin Fahd University, 2021. 66 pp, Tesis doctoral.

ISBN: 7856-5511.

ALSHAARI, H y Nor, M. 2021. Reliability Analysis on Water Pumps in Water Supply System in Johor. Batu Pahat, Malasia: Journal of Physics: Conference Series, 2021. 8 pp.

ISSN: 1874 - 0120.

ANA. 2021. PLAN DE GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA DEL RÍO MAYO. Informe Técnico Etapa 2: Situación en el largo plazo 2050. [En línea] TYSA, 22 de febrero de 2021. [Citado el: 10 de mayo de 2023.] <https://crhc.ana.gob.pe/mayo/sites/default/files/HY5971-MY-Vol2-RP-HY-LP2050-D01V01.pdf>.

BORGNAKKE, Claus y Sonntag, Richard. 2019. Fundamentals of Thermodynamic. Estados Unidos: Wiley, 2019. 912 pp. Vol. VII.

ISBN: 978-0470041925.

BUDYNAS, Richard y Nisbett, Keith. 2020. Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. México : McGraw-Hill, 2020.

ISBN 978-607-15-0771-6.

CELESTINO, Kelly. 2020. Planeamiento Estratégico del Sistema de Agua y Saneamiento en el Perú. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2020. 150 pp.

CERÓN, Lina, y otros. 2021. Agua subterránea: tendencias y desarrollo científico. Colombia: Elsevier, 2021.

ISSN: 0718-0764.

CHERO, Alexander. 2019. Diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico. Piura: Repositorio de la Universidad de Piura, 2019. 133 pp.

CORLEY, J. 2020. Vibrational problems of large vertical pumps and motors. Saudi Arabia, Dhahran: Aramco's, 2020.

ISSN: 1895-1121.

CRISÓSTOMO, Elvis. 2020. Eficiencia en el Abastecimiento de Agua por Bomba de Ariete al Predio de Utcucucho - Uchusquillo, distrito de San Luis - Ancash. Huaraz: Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo, 2020. 91 pp.

DÁVILA, Percy. 2020. Evaluación de la eficiencia de una bomba de ariete hidráulico para mejorar el caudal de bombeo. Lima: Repositorio de la Universidad Peruana Unión, 2020. 98 pp.

DHAIBAN, Hussein. 2020. Estudio experimental el rendimiento de la bomba de agua RAM. Irak: Physics and Engineering, 2020. 110 pp.

ISSN: 2461-4262.

ECIM. 2023. Resortes para Matricería y Gran Fatiga. Tabla de Dimensiones y Cargas. [En línea] DANLY MLD, 5 de enero de 2023. [Citado el: 20 de mayo de 2023.] <https://ecimfix.com/productos/resortes/>.

GONZÁLEZ, Antonio. 2020. Estudio paramétrico de la bomba de ariete. Colombia: Repositorio de la Universidad Politécnica de Cartagena, 2020. 59 pp.

HASSAN, Abdelrahman, y otros. 2020. Thermodynamic analysis of high-temperature pumped thermal energy storage systems: Refrigerant selection, performance and limitations. Valencia, España: Elsevier Energy Reports, 2020. 13 pp.

ISSN: 147–159.

HERNÁNDEZ, Roberto, Fernández, Carlos y Baptista, Pilar. 2018. Metodología de la Investigación. Buenos Aires: McGraw-Hill, 2018. 490 pp.

ISBN 968-422-931-3.

HOWEL, John y Buckius, Richard. 2018. Principios de Termodinámica para Ingenieros. México : McGraw Hill, 2018.

ISBN: 988-422-571-7.

INEI. 2022. Formas de acceso al agua y saneamiento básico. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2022. 70 pp.

KHERDE, Akshay y Kadaskar, Ankush. 2021. Research Paper on Hydraulic Ram Pump. India: Elsevier, 2021.

ISSN: 2456-8880.

MATTHIAS, Inthachot y Suchard, Saehaeng. 2020. Hydraulic Ram Pumps for Irrigation in Northern Thailand. Tailandia: Agriculture and Agricultural Science Procedia, 2020. 107 pp. Vol. V.

ISSN: 3568-3652.

REZA, Fatahi, Babak, Lashkar y Alireza, Keramat. 2019. On the measurement of ram-pump power by changing in water hammer pressure wave energy. Iran: Ain Shams Engineering Journal, 2019. 38 pp.

SAAVEDRA, Alberto. 2020. Evaluación del rendimiento de la bomba de ariete hidráulico multi-impulsor de Breur. Lima: Repositorio de la Universidad Nacional de Ingeniería, 2020. 114 pp.

SALEHI, Maryam. 2022. Escasez mundial de agua y seguridad del agua potable; La preocupación de hoy y la crisis de mañana. Estados Unidos: Elsevier, 2022. págs. 56-88.

ISSN: 1060-9360.

SARIP, S, Radz, Mohd y Mohammad, Hong. 2021. Diseño, análisis y fabricación de bomba hidráulica de ariete UTM para abastecimiento de agua en zonas remotas. Indonesia: Revista indonesia de ingeniería eléctrica y ciencias de la computación, 2021. 221 pp.

ISSN: 2130-2210.

SARKER, Shiblu. 2021. Diseño y análisis de redes de tuberías: un ejemplo con WaterCAD. India : Engrxiv, 2021. 59 pp.

SUNAS. 2023. Marco regulatorio para los servicios de abastecimiento de agua y saneamiento en Perú. Lima: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, 2023.

VLIET, Michelle, y otros. 2021. Escasez mundial de agua, incluida la calidad del agua superficial y la expansión de tecnologías de agua limpia. Japón: IOPSCIENCE, 2021. 117 pp.

ISSN: 1748-9326.

WANCHAI, A y Rattanasuwan, Nimitpaitoon. 2020. The use of hydraulic ram pump for increasing pump head-technical feasibility. Tailandia: Elsevier, 2020. ISSN: 7858-2562.

WHITE, Frank. 2019. Mecánica de Fluidos. Octava. Madrid: McGraw Hill, 2019. 850 pp. ISBN: 8448140761.

ZEIDAN, Mohamad y Ostfeld, Avi. 2022. Hydraulic Ram Pump Integration into Water Distribution Systems for Energy Recovery Application. Israel: Israel Institute of Technology, 2022. 19 pp. ISSN: 1401-0021.

ZHENIS, Yusupov, y otros. 2022. Results of the study of the hydraulic ram technology of water lifting from watercourses. Kazajistán: International Journal of Engineering Science, 2022. 33 pp. ISSN: 1030-7130.

ZÚÑIGA, José. 2020. Diseño e instalación de una bomba de ariete hidráulico con partes de material reciclado para la captación y almacenamiento de agua Calango-Cañete. Lima: Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo, 2020. 95 pp.

ANEXOS:

Anexo.1. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Escala de medición
V. Independiente: Bomba de ariete mediante sistema de regulación vástago resorte.	Son bombas que requieren de caídas de caudal menores, para generar un golpe de ariete mediante un vástago resorte, para dar una presión significativa al agua de transporte, es decir debido al aumento de la presión del aire en la cámara por la acción del vástago resorte (Zhenis, et al., 2022).	El rediseño de la bomba de ariete mediante un sistema vástago resorte, depende de la altura geodésica, flujo volumétrico, velocidad del flujo, calibres de tuberías, longitud de tuberías, demanda de consumo de agua y presión de aire.	Altura geodésica	Altura de succión y descarga (m.c.a)	De razón
			Flujo volumétrico	Caudal neto, útil y de retorno (lt/día)	
			Velocidad del flujo	Velocidad de succión y descarga (m/s)	
			Calibres de tuberías	Diámetro de succión y descarga (mm)	
			Longitud de tuberías	Longitud de succión y descarga (m)	
			Demanda de consumo de agua	Caudal consumido por la población (lt/día)	
			Presión de aire	Fuerza axial (N)	
V. Dependiente Eficiencia	La eficiencia hidráulica de una bomba ariete se considera técnicamente como una relación de potencias útil y nominal (Zúñiga, 2020).	La eficiencia hidráulica de una bomba de ariete depende de la potencia útil y la potencia neta, las cuales correlativamente están relacionadas con el flujo volumétrico requerido por la población y la altura de bombeo.	Potencia útil	Caudal útil (lt/día)	De razón
				Altura de bombeo (m.c.a)	
			Potencia disponible	Caudal de ingreso o disponible (lt/día)	
				Altura de bombeo (m.c.a)	

Anexo 2. Instrumento: Cuestionario

 <p>UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO</p>	<p>REDISEÑO DE CAMARA DE AIRE DE BOMBA DE ARIETE MEDIANTE SISTEMA DE REGULACIÓN VÁSTAGO RESORTE PARA MEJOR SU EFICIENCIA - SECTOR PARTIDO ALTO, SAN MARTIN</p>
<p>OBJETIVO: Conocer el consumo actual de agua y requerido por la población Partido Alto. También conocer la opinión respecto al rediseño de la bomba de ariete y costos.</p>	
<p>INSTRUCCIONES: En cada pregunta, responda según el criterio que usted crea conveniente, tratando de ser preciso y claro en su respuesta. .</p>	
<p>DATOS PERSONALES DEL POBLADOR DE PARTIDO ALTO</p>	
<p>Apellidos, Nombres</p>	
<p>1. ¿Cuánta es la cantidad de agua en litros por día que consume su familia?, con el actual suministro por la bomba de ariete</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>2. ¿Cuánta es la cantidad de agua que requiere su familia en litros por día, para satisfacer completamente sus necesidades?</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>3. ¿Está de acuerdo con el rediseño de la bomba de ariete?</p> <p>a) SI</p> <p>b) NO</p> <p>4. ¿Estaría de acuerdo con asumir los gastos de materiales y mano de obra, para el rediseño de la bomba de ariete?</p> <p>a) SI</p> <p>b) NO</p>	

Anexo 3. Instrumento: Ficha de observación

 <p>UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO</p>	<p>REDISEÑO DE CAMARA DE AIRE DE BOMBA DE ARIETE MEDIANTE SISTEMA DE REGULACIÓN VÁSTAGO RESORTE PARA MEJOR SU EFICIENCIA - SECTOR PARTIDO ALTO, SAN MARTIN</p>
<p>OBJETIVO: Verificar el estado actual de la bomba de ariete</p>	
<p>CRITERIOS</p>	<p>OBSERVACIONES</p>
<p>¿Cuál es el estado de las tuberías de succión y descarga?</p>	
<p>¿Cuál es el estado actual de las válvulas, codos, filtros y demás accesorios del sistema de bombeo?</p>	
<p>¿El actual sistema de bombeo, cumple con el abastecimiento de agua requerido por la población de Partido Alto?</p>	
<p>¿Cuándo la bomba de ariete se daña o ingresa en mantenimiento, como se abastece la población de Partido Alto?</p>	
<p>¿Cuánto paga la población de Partido Alto, con bomba de ariete y con abastecimiento por cisterna?</p>	
<p>¿Cuál es el estado del cabezal de la bomba de ariete?</p>	
<p>¿Los desniveles de toma de agua y descarga, son correctos para la bomba de ariete?</p>	

Anexo 4. Intrumento: Ficha de registro

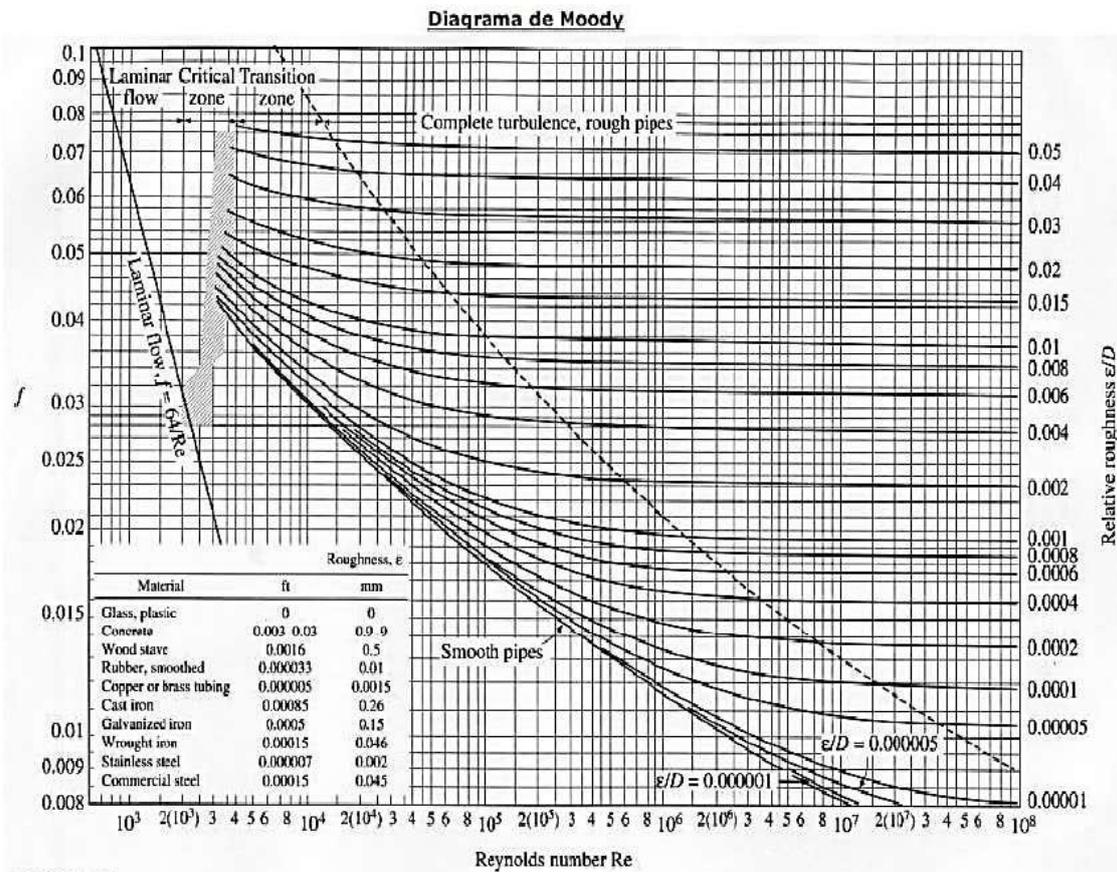
REDISEÑO DE CAMARA DE AIRE DE BOMBA DE ARIETE MEDIANTE SISTEMA DE REGULACIÓN VÁSTAGO RESORTE PARA MEJOR SU EFICIENCIA - SECTOR PARTIDO ALTO, SAN MARTIN		
OBJETIVO: Recolectar información técnica del actual sistema de bombeo de ariete.		
RESPONSABLE:		FECHA:
PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR
Volumen del tanque de almacenamiento	V_t	
Diámetro del tanque de almacenamiento	D_t	
Altura del tanque de almacenamiento	H_t	
Caudal de ingreso a la bomba de ariete (100%)	Q_1	
Caudal útil hacia el tanque de almacenamiento (60%)	Q_2	
Caudal de desperdicio o retorno (40%)	Q_3	
Longitud de tubería de succión (Material: acero comercial)	L_1	
Longitud de tubería de descarga (Material: acero comercial)	L_2	
Calibre de la tubería de succión	d_1	
Calibre de la tubería de descarga	d_2	
Altura geodésica desde la bomba de ariete hasta el rio	Z_1	
Altura geodésica desde la bomba de ariete hasta el tanque	Z_2	
Velocidad de succión	V_1	
Velocidad de impulsión	V_2	
Costos de abastecimiento de agua	C	

Anexo 5. Propiedades termodinámicas del agua

AGUA

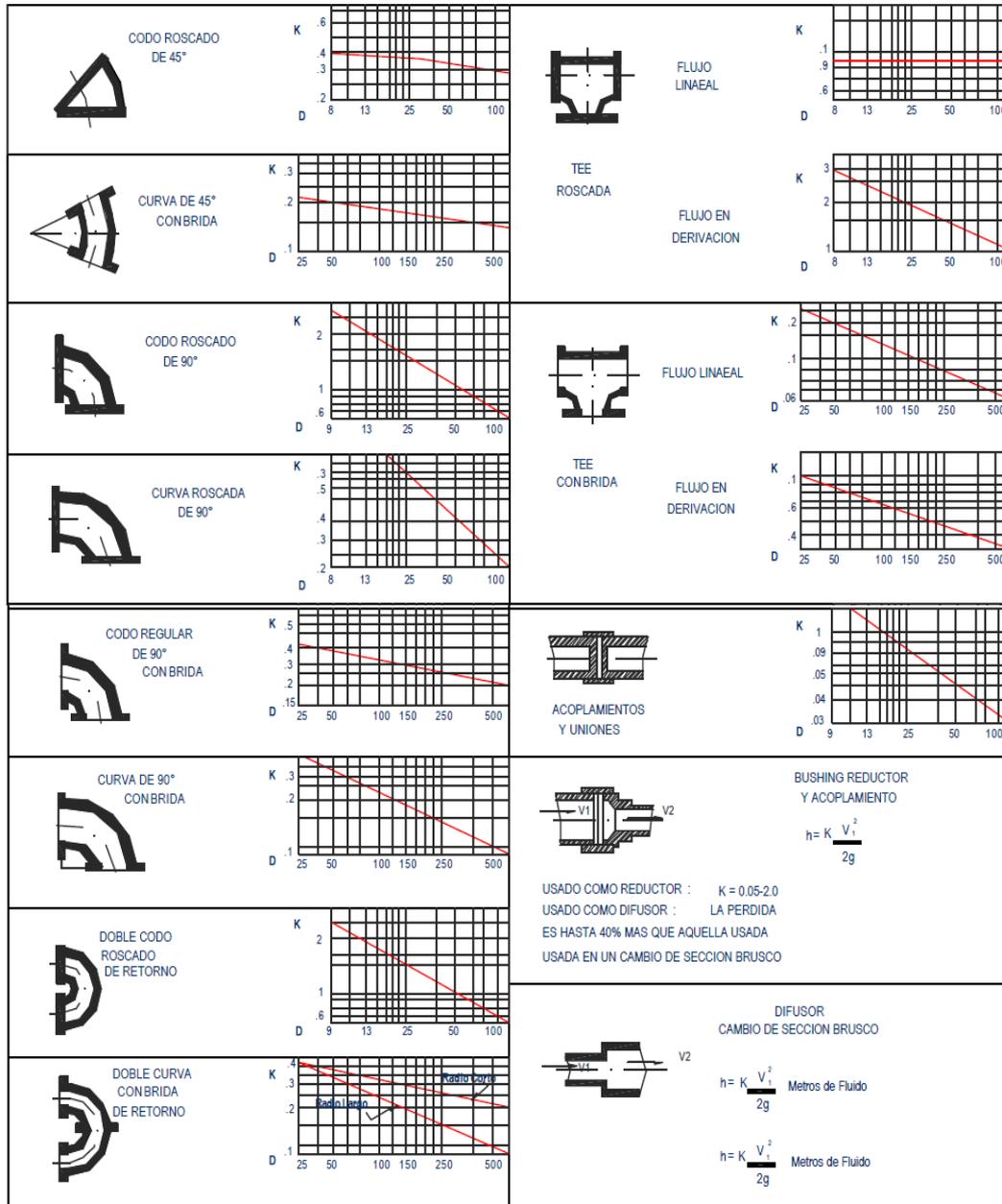
Temperat. °C	Densidad ρ (kg/m ³)	Calor específico c_p (J/kg ² K)	Cond. térmica W/m ² K	Difus. térmica $\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Visc. dinámica $\eta \cdot 10^6$ (N/s.m ²)	Visc. cinemática $\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr	$\frac{g\beta}{\nu^2} \cdot 10^9$
0	999,9	4226	0,558	0,131	1794	1,789	13,7	
20	998,2	4182	0,597	0,143	1004	1,006	7,02	2,035
40	992,3	4178	0,633	0,151	653,0	0,658	4,34	8,833
60	983,2	4181	0,658	0,155	470,0	0,478	3,02	22,75
80	971,8	4194	0,673	0,165	353,7	0,364	2,22	46,68
100	958,4	4211	0,682	0,169	281,0	0,294	1,75	85,09
120	943,1	4245	0,685	0,171	233,0	0,247	1,45	
140	926,1	4279	0,687	0,172	198,2	0,214	1,24	
160	907,6	4338	0,682	0,173	171,5	0,189	1,10	
180	887,0	4413	0,678	0,172	153,5	0,173	1,00	
200	864,8	4501	0,665	0,170	129,0	0,160	0,94	517,2
220	840,5	4606	0,656	0,168	126,0	0,150	0,89	
240	812,2	4752	0,639	0,164	116,0	0,143	0,87	
260	784,0	4944	0,614	0,157	107,5	0,137	0,87	
280	750,8	5204	0,583	0,150	101,4	0,135	0,92	
300	712,5	6594	0,543	0,132	94,1	0,132	1,02	1766

Anexo 6. Diagrama de Moody – Factores de rugosidad absoluta



Anexo 7. Coeficientes de pérdidas secundarias

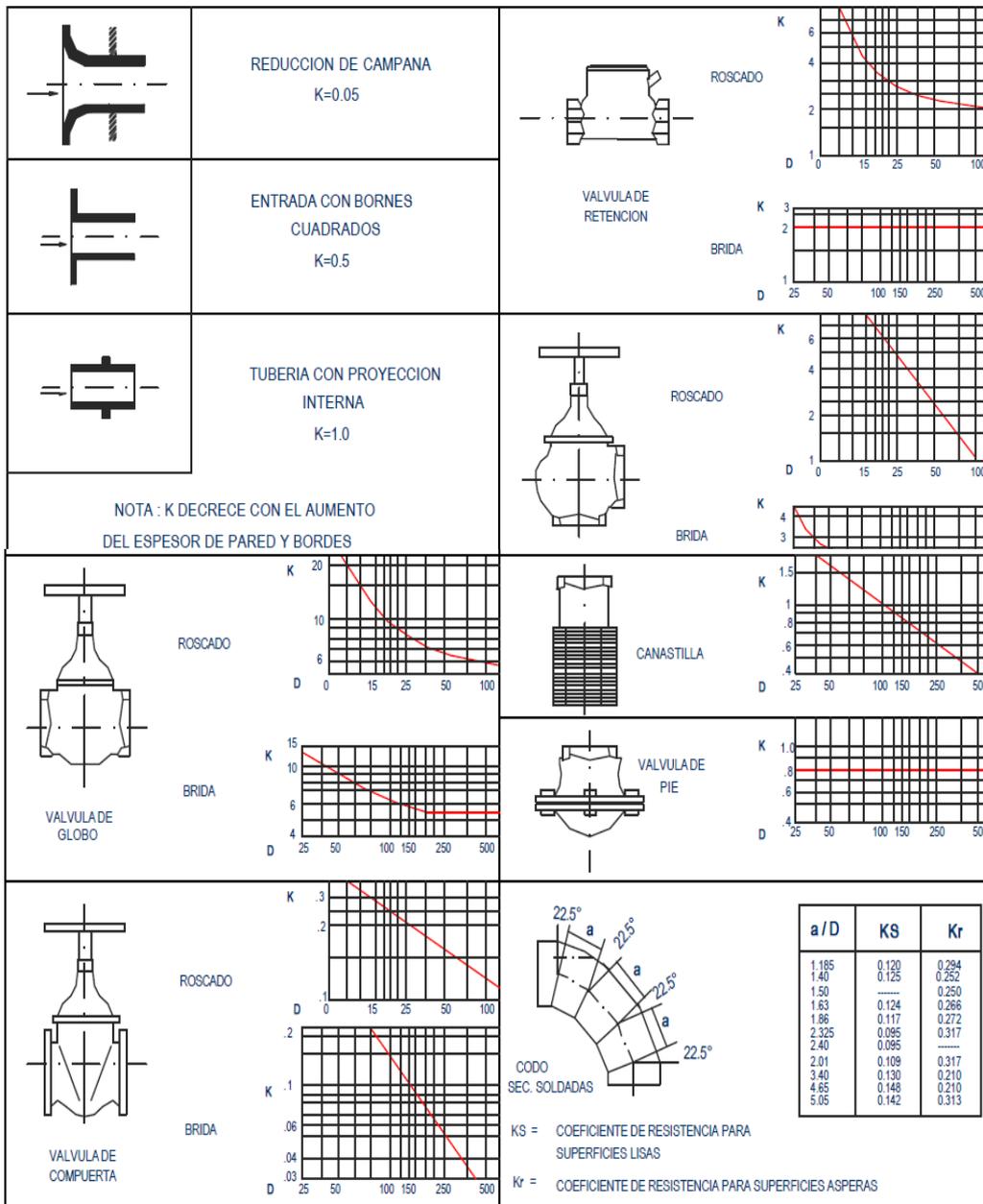
COEFICIENTES DE RESISTENCIA PARA VALVULAS Y UNIONES



D = mm.

$$h = K \frac{V^2}{2g} \text{ Metros de Fluido}$$

COEFICIENTES DE RESISTENCIA PARA VALVULAS Y UNIONES



D = mm.

$$h = K \frac{V^2}{2g} \text{ Metros de Fluido}$$

Anexo 8. Propiedades mecánicas en aceros laminados en caliente y estirados en frío

Resistencias determinísticas mínimas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros laminados en caliente (HR) y estirados en frío (CD). [Las resistencias listadas son valores ASTM mínimos estimados en el intervalo de tamaños de 18 a 32 mm ($\frac{3}{4}$ a $1\frac{1}{4}$ pulg). Estas resistencias resultan adecuadas para usarse con el factor de diseño definido en la sección 1-10, a condición que los materiales se ajusten a los requisitos ASTM A6 o A568 o que se requieran en las especificaciones de compra. Recuerde que un sistema de numeración no es una especificación.] Fuente: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Proce- samiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197

Anexo 9. Calibres de alambres de acero

Nombre del calibre:	Americano o Brown & Sharpe	Birmingham o Stubs Iron Wire Tubos, tira alambre plano ferrosos, y acero para resortes	Norma de Estados Unidos †	Alambre de acero o				
				Norma de fabricantes	Washburn & Moen	Alambre de piano	Stubs Steel Wire	Broca común
Uso principal:	Lámina, alambre y varilla no ferrosos		Lámina y placa ferrosas, 480 lbf/ft ³	Lámina de acero	Alambre ferroso, excepto para alambre de piano	Alambre de piano	Barrena de acero	Brocas comunes y acero para brocas
18	0.040 30	0.049	0.05	0.047 8	0.047 5	0.041	0.168	0.169 5
19	0.035 89	0.042	0.043 75	0.041 8	0.041 0	0.043	0.164	0.166 0
20	0.031 96	0.035	0.037 5	0.035 9	0.034 8	0.045	0.161	0.161 0
21	0.028 46	0.032	0.034 375	0.032 9	0.031 7	0.047	0.157	0.159 0
22	0.025 35	0.028	0.031 25	0.029 9	0.028 6	0.049	0.155	0.157 0
23	0.022 57	0.025	0.028 125	0.026 9	0.025 8	0.051	0.153	0.154 0
24	0.020 10	0.022	0.025	0.023 9	0.023 0	0.055	0.151	0.152 0
25	0.017 90	0.020	0.021 875	0.020 9	0.020 4	0.059	0.148	0.149 5
26	0.015 94	0.018	0.018 75	0.017 9	0.018 1	0.063	0.146	0.147 0
27	0.014 20	0.016	0.017 187 5	0.016 4	0.017 3	0.067	0.143	0.144 0
28	0.012 64	0.014	0.015 625	0.014 9	0.016 2	0.071	0.139	0.140 5
29	0.011 26	0.013	0.014 062 5	0.013 5	0.015 0	0.075	0.134	0.136 0
30	0.010 03	0.012	0.012 5	0.012 0	0.014 0	0.080	0.127	0.128 5
31	0.008 928	0.010	0.010 937 5	0.010 5	0.013 2	0.085	0.120	0.120 0
32	0.007 950	0.009	0.010 156 25	0.009 7	0.012 8	0.090	0.115	0.116 0
33	0.007 080	0.008	0.009 375	0.009 0	0.011 8	0.095	0.112	0.113 0
34	0.006 305	0.007	0.008 593 75	0.008 2	0.010 4		0.110	0.111 0
35	0.005 615	0.005	0.007 812 5	0.007 5	0.009 5		0.108	0.110 0
36	0.005 000	0.004	0.007 031 25	0.006 7	0.009 0		0.106	0.106 5
37	0.004 453		0.006 640 625	0.006 4	0.008 5		0.103	0.104 0
38	0.003 965		0.006 25	0.006 0	0.008 0		0.101	0.101 5
39	0.003 531				0.007 5		0.099	0.099 5
40	0.003 145				0.007 0		0.097	0.098 0

* Se especifica lámina, alambre y placa que indican el número de calibre y el equivalente decimal entre paréntesis.

† Refleja el promedio presente y los pesos de la lámina de acero.

Anexo 10. Constantes y calibres de acero para resortes

Constantes A y m de $S_{ut} = A/d^m$ para estimar la resistencia de tensión mínima de alambres para fabricar resortes comunes.
(Fuente: De Design Handbook, 1987, p. 19. Cortesía de Associated Spring.)

Material	ASTM núm.	Exponente m	Diámetro, pulg	A , kpsi · pulg ^{m}	Diámetro, mm	A , Mpa · mm ^{m}	Costo relativo del alambre
Alambre de piano [*]	A228	0.145	0.004-0.256	201	0.10-6.5	2 211	2.6
Alambre T y R en aceite [†]	A229	0.187	0.020-0.500	147	0.5-12.7	1 855	1.3
Alambre estirado duro [‡]	A227	0.190	0.028-0.500	140	0.7-12.7	1 783	1.0
Alambre al cromo- vanadio [§]	A232	0.168	0.032-0.437	169	0.8-11.1	2 005	3.1
Alambre al cromo- silicio	A401	0.108	0.063-0.375	202	1.6-9.5	1 974	4.0
Alambre inoxidable 302 [#]	A313	0.146	0.013-0.10	169	0.3-2.5	1 867	7.6-11
		0.263	0.10-0.20	128	2.5-5	2 065	
		0.478	0.20-0.40	90	5-10	2 911	
Alambre de bronce fosforado ^{**}	B159	0	0.004-0.022	145	0.1-0.6	1 000	8.0
		0.028	0.022-0.075	121	0.6-2	913	
		0.064	0.075-0.30	110	2-7.5	932	

^{*} La superficie es lisa, sin defectos y tiene un acabado brillante y lustroso.

[†] Tiene escamas ligeras debido al tratamiento térmico, que se deben remover antes del galvanizado.

[‡] La superficie es lisa y brillante sin marcas visibles.

[§] Alambre revenido de calidad aeronáutica; también se obtiene recocido.

^{||} Revenido a Rockwell C49, pero se puede obtener sin revenir.

[#] Acero inoxidable tipo 302.

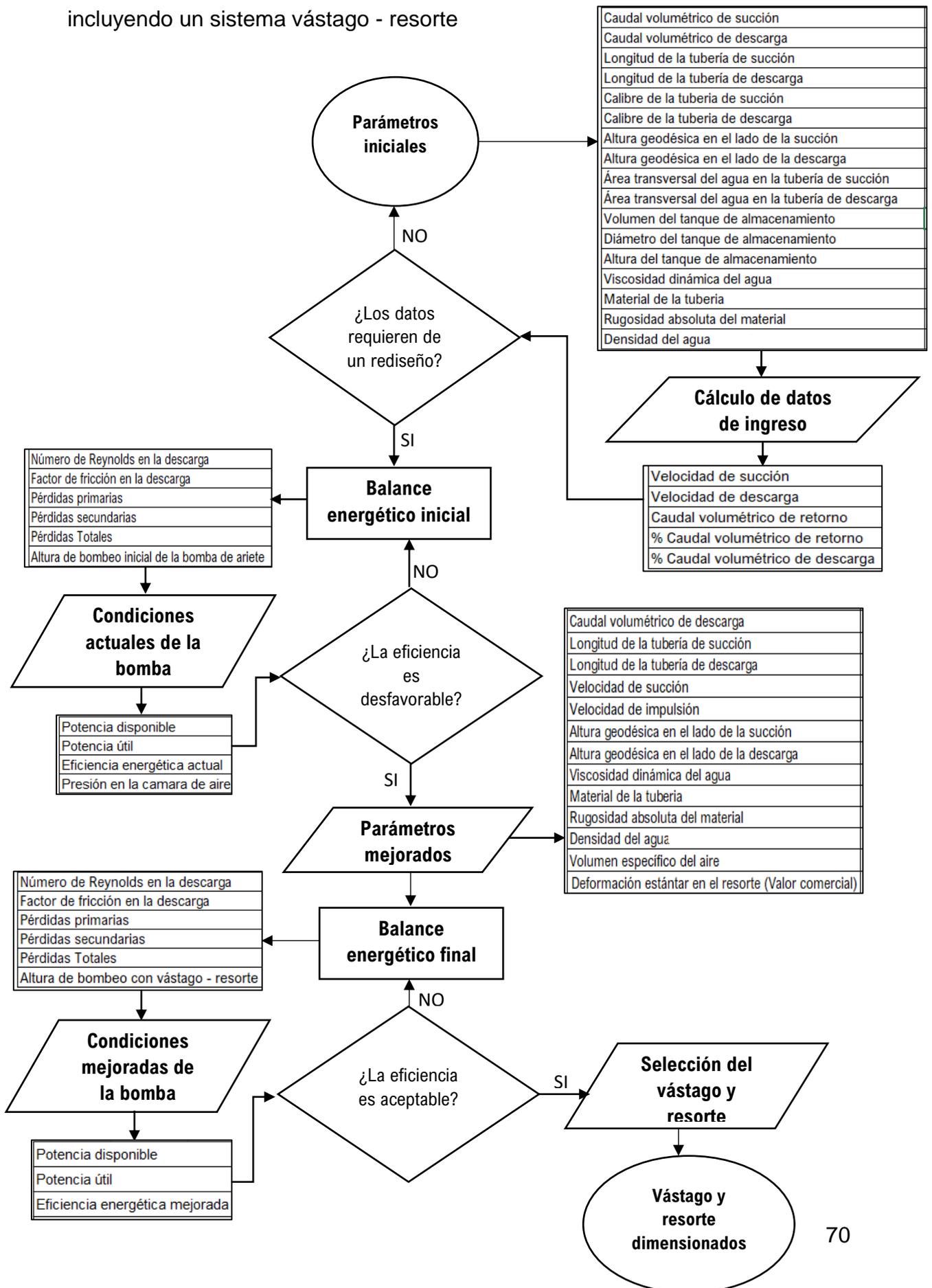
^{**} Temple CA510.

Anexo 11. Propiedades del aire a 1 bar.

TEMP. °C	Volumen Específico	Densidad	Entalpia
	(m ³ /kg)	(kg/m ³)	(kcal/kg)
18	0.8244	1.2130	8.6372
19	0.8274	1.2086	8.8772
20	0.8302	1.2044	9.1228
21	0.8329	1.2006	9.3628
22	0.8360	1.1961	9.6028
23	0.8389	1.1920	9.8484
24	0.8418	1.1880	10.0706
25	0.8446	1.1839	10.3284
26	0.8474	1.1800	10.5740
27	0.8501	1.1763	10.7640
28	0.8529	1.1725	11.0540
29	0.8556	1.1687	11.2996
30	0.8583	1.1650	11.5396
31	0.8612	1.1611	11.7796
32	0.8645	1.1567	12.0252
33	0.8672	1.1531	12.2652

Nota: la densidad del aire a 20°C a una presión de 5 bar, sería: $0.8302/5 = 0.16604$ m³/kg.

Anexo 12. Diagrama de flujo para el rediseño de una bomba de ariete, incluyendo un sistema vástago - resorte



Anexo 13. Algoritmo de cálculo para la selección del vástago – resorte, mediante el proceso del diagrama de flujo.

ALGORÍTMO DE CÁLCULO PARA EL REDISEÑO DE UNA BOMBA DE ARIETE CON SISTEMA VÁSTAGO - RESORTE EN SU CAMARA DE AIRE



Título de tesis:

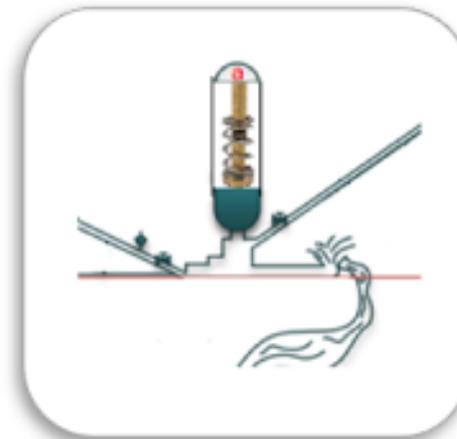
Rediseño de cámara de aire de bomba de ariete mediante sistema de regulación vástago resorte para mejorar su eficiencia - Sector Partido Alto, San Martín

Elaborado Por:

Huaca Quispe, Cristhofer Jean Carlos

Carrera:

Ingeniería Mecánica Eléctrica



1) DATOS DE INGRESO**1) CONDICIONES ACTUALES DE LA BOMBA DE ARIETE**

PARÁMETROS ACTUALES	VALOR	UNIDAD
Caudal volumétrico de succión	20000	lt/día
Caudal volumétrico de descarga	12000	lt/día
Longitud de la tubería de succión	65.27	m
Longitud de la tubería de descarga	226.65	m
Calibre de la tubería de succión	2.5	pulg
Calibre de la tubería de descarga	1.75	pulg
Altura geodésica en el lado de la succión	50	m
Altura geodésica en el lado de la descarga	125	m
Área transversal del agua en la tubería de succión	0.0816	pulg ²
Área transversal del agua en la tubería de descarga	0.04024	pulg ²
Volumen del tanque de almacenamiento	20	m ³
Diámetro del tanque de almacenamiento	2.25	m
Altura del tanque de almacenamiento	5	m
Viscosidad dinámica del agua a 20°C	1004	10 ⁻⁶ Pa.s
Material de la tubería	Acero comercial	
Rugosidad absoluta del material	0.045	mm
Densidad del agua a 20°C	998.2	Kg/m ³

*(Ingrese el caudal que ingresa a la bomba de ariete)**(Ingrese el caudal útil que necesita la población)**(Ingrese la altura vertical entre la bomba y el río)**(Ingrese la altura vertical entre la bomba y tanque de almacenamiento)**(Ingrese el área transversal de contacto entre el agua y la superficie interna de la tubería de succión)**(Ingrese el área transversal de contacto entre el agua y la superficie interna de la tubería de succión)**(Busque en tablas de propiedades del agua, la viscosidad dinámica a una determinada temperatura)**(Ingrese el valor de la rugosidad absoluta dependiendo del tipo de material)**(Ingrese el valor de la densidad respecto a una determinada temperatura)***2) CÁLCULOS DE DATOS DE INGRESO**

Velocidad de succión	4.40	m/s
Velocidad de descarga	5.35	m/s
Caudal volumétrico de retorno	8000	lt/día
% Caudal volumétrico de retorno	40	%
% Caudal volumétrico de descarga	60	%

3) CÁLCULOS DEL BALANCE ENERGÉTICO INICIAL

(En este apartado se determinará el estado actual de la bomba de ariete)

a) PÉRDIDAS DEL SISTEMA DE BOMBEO CON CAMARA DE AIRE

Nota: Para determinar las pérdidas en el sistema de bombeo es necesario calcular el número de Reynolds y factor de fricción en la tubería de descarga. Asimismo, cabe precisar que las pérdidas en una bomba de ariete solo se registran en el lado de descarga o impulsión, porque en el lado de succión el agua cae por gravedad.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Número de Reynolds en la descarga	236427.351	Adimensional
Factor de fricción en la descarga	0.021	Adimensional
Pérdidas primarias	155.459	m.c.a
Pérdidas secundarias	4.887	m.c.a
Pérdidas Totales	160.346	m.c.a
Altura de bombeo inicial de la bomba de ariete	261.678	m.c.a

$$Re_2 = \frac{\rho_{\text{agua}} * V_2 * d_2}{\mu_{\text{agua}}}$$

(Agregue el factor de fricción)

$$h_p = f_2 * \frac{L_2}{d_2} * \frac{V_2^2}{2g}$$

$$h_s = \sum K_2 * \frac{V_2^2}{2g}$$

$$h_{tt} = h_p + h_s$$

$$H_B = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + Z_2 - Z_1 + h_{tt}$$

P2 = 0 bar manométricos (sí, el tanque está expuesto a la atmósfera, es decir abierto), Z1 = 0 m (Trazar el nivel de referencia en la línea de acción de la bomba)

Tabla 1: Valores del coeficiente de pérdidas en la descarga (Ingrese los valores de los coeficientes de los accesorios, según el calibre de descarga)

Accesorios	Cantidad	Coficiente de pérdidas (K)	Coficiente de pérdidas total en descarga
Codos rectos (radio largo) 90°	1	0.25	0.25
Codos ángulo 45°	1	0.3	0.3
Válvulas compuerta	2	0.15	0.3
Válvulas de retención	1	2	2
Tubería de entrada con bordes	1	0.5	0.5
Total			3.35

4) CÁLCULOS DE POTENCIA - EFICIENCIA ENERGÉTICA ACTUAL Y PRESIÓN DEL AIRE EN LA CAMARA DE LA BOMBA DE ARIETE

Potencia disponible	593.1578	W
Potencia útil	355.8947	W
Eficiencia energética actual	60.0	%
Presión en la cámara de aire	4.92	bar(g)

$$P_{\text{disp.}} = \rho * g * Q_1 * H_B$$

$$P_{\text{útil}} = \rho * g * Q_2 * H_B$$

$$\eta_B = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{disponible}}}$$

$P_2 = 0$ bar manométricos (Tanque abierto expuesto a la atmósfera, $V_a = 0$ m/s (velocidad en la superficie superior del agua en la cámara de aire comprimido), $Z_a = 0$ m (Se desprecia la altura del agua en la cámara de aire))

$$H_B = \frac{P_2 - P_a}{\rho g} + \frac{V_{2s}^2 - V_a^2}{2g} + Z_2 - Z_a + h_{tt}$$

2) PARÁMETROS PARA EL REDISEÑO

1) CONDICIONES EN MEJORA DE LA BOMBA DE ARIETE

PARÁMETROS ACTUALES	VALOR	UNIDAD
Caudal volumétrico de descarga	26370.25	lt/día
Longitud de la tubería de succión	65.27	m
Longitud de la tubería de descarga	226.65	m
Velocidad de succión	0.5	m/s
Velocidad de impulsión	2.5	m/s
Altura geodésica en el lado de la succión	50	m
Altura geodésica en el lado de la descarga	125	m
Viscosidad dinámica del agua a 20°C	1004	10 ⁻⁶ Pa.s
Material de la tubería	Acero comercial	
Rugosidad absoluta del material	0.045	mm
Densidad del agua a 20°C	998.2	Kg/m ³
Volumen específico del aire	0.16604	m ³ /Kg
Deformación estántar en el resorte (Valor comercial)	0.035	m

(Ingrese el flujo volumétrico que desea o requiere la población)

Los diseñadores de bombas de ariete, recomiendan a través de distintos ensayos velocidades mínimas promedio de 0.5 y 2.5 m/s para succión y descarga, para de esta manera no generar erosionar en las paredes de la tubería

2) CÁLCULOS NUEVOS PARA EL REDISEÑO

Caudal volumétrico de succión	37671.7857	lt/día
Caudal volumétrico de retorno	11301.5357	lt/día
% Caudal volumétrico de descarga	30	%
% Caudal volumétrico de retorno	70	%
Calibre de la tubería de succión	0.03332125	m
Calibre de la tubería de descarga	0.01246767	m
Área transversal del agua en la tubería de succión	1.7671	pulg ²
Área transversal del agua en la tubería de descarga	0.1963	pulg ²

(Normalice el calibre de succión)

1.5	pulg
0.5	pulg

(Normalice el calibre de impulsión)

(Determine el volumen específico del aire en la siguiente tabla a una determinada presión)

TEMP. °C	Volumen Especifico (m ³ /kg)	Densidad (kg/m ³)	Entalpia (kcal/kg)
18	0.8244	1.2130	8.6372
19	0.8274	1.2086	8.8772
20	0.8302	1.2044	9.1228
21	0.8329	1.2006	9.3628
22	0.8360	1.1961	9.6028
23	0.8389	1.1920	9.8484
24	0.8418	1.1880	10.0706
25	0.8446	1.1839	10.3284
26	0.8474	1.1800	10.5740
27	0.8501	1.1763	10.7640
28	0.8529	1.1725	11.0540
29	0.8556	1.1687	11.2996

3) CÁLCULOS DEL BALANCE ENERGÉTICO EN MEJORA

a) PÉRDIDAS DEL SISTEMA DE BOMBEO PARA INCLUIR UN VÁSTAGO - RESORTE

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Número de Reynolds en la descarga	31566.584	Adimensional
Factor de fricción en la descarga	0.031	Adimensional
Pérdidas primarias	175.099	m.c.a
Pérdidas secundarias	1.210	m.c.a
Pérdidas Totales	176.310	m.c.a
Altura de bombeo con vástago - resorte	263.083	m.c.a

(Agregue el factor de fricción, este puede determinarse por la ecuación de Colebrook, o por el diagrama de Moody, de preferencia utilicé este último)
 (Ver gráfico de Moody en hoja de cálculo anterior)

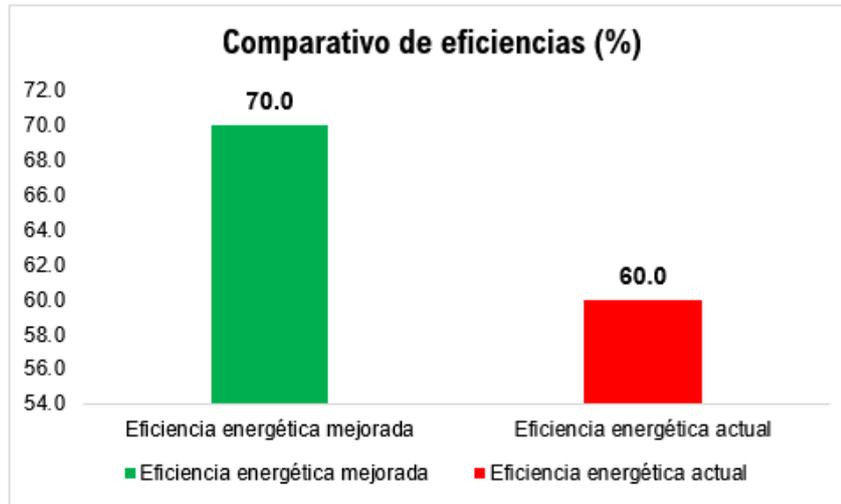
Tabla 2: Valores del coeficiente de pérdidas en la descarga para el nuevo calibre

(Ingrese los valores de los coeficientes de los accesorios, según el calibre de descarga, utilice las tablas anteriores)

Accesorios	Cantidad	Coeficiente de pérdidas (K)	Coeficiente de pérdidas total en succión
Codos rectos (radio largo) 90°	1	0.3	0.3
Codos ángulo 45°	1	0.4	0.4
Válvulas compuerta	2	0.3	0.6
Válvulas de retención	1	2	2
Tubería de entrada con bordes	1	0.5	0.5
Total			3.8

4) CÁLCULOS DE POTENCIA - EFICIENCIA ENERGÉTICA ACTUAL CON VÁSTAGO -RESORTE

Potencia disponible	1123.3	W
Potencia útil	786.29	W
Eficiencia energética mejorada	70.0	%
Eficiencia energética actual	60.0	%



SELECCIÓN DEL VÁSTAGO - RESORTE PARA EL REDISEÑO DE LA BOMBA DE ARIETE

5) CÁLCULOS DE TRABAJOS EFECTUADOS EN EL RESORTE

Trabajo que requiere el sistema de bombeo	2580.846457	JKg
Trabajo efectuado por el resorte	-0.000613	En función de K (Constante Elástica)
Trabajo de expansión	81706.852	JKg

$$W_{SB} = \frac{P_{\text{útil}}}{\rho * Q_2}$$

$$W_r = -\frac{1}{2 * m} K * \delta^2$$

$$W_e = P_a * v$$

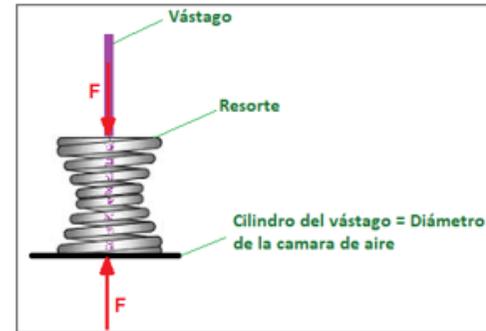
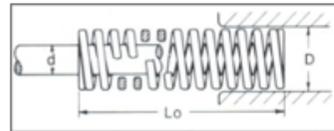
6) CÁLCULO DE LA CONSTANTE ELÁSTICA PARA LA SELECCIÓN DEL RESORTE

BALANCE EN CÁMARA DE AIRE CON SISTEMA VÁSTAGO - RESORTE

$$W_{SB} = W_r + W_e$$

CONSTANTE ELÁSTICA DEL RESORTE	13	daN/mm
---------------------------------------	-----------	--------

(Este valor lo debe aproximar a un valor comercial, según el proveedor de resortes. Como se muestra en la siguiente tabla de resortes, del proveedor DANLY MLD el coeficiente elástico lo aproximamos a 15.70 daN/mm)



(Una vez obtenida la constante elástica del resorte, seleccione el diámetro de la espira, diámetro de vástago y longitud natural del

Ø do furo mm	Ø do pino mm	Comp. libre mm	Nº DE CATÁLOGO	Const. Elást. daN para comprese 1 mm	TABELA DE CARGAS			
					Curso máx. de trabalho (40% de Lo)		Compresão total	
					Carga daN	Curso mm	Carga daN	Curso mm
		100	9-3210-11	15,7	393	25	502	32
		16	9-3212-11	12,6	378	30	491	39
		89	9-3214-11	10,5	368	35	473	45
		102	9-3216-11	9,0	369	41	468	52
		115	9-3218-11	7,8	359	46	455	58
		127	9-3220-11	7,0	357	51	455	65
		140	9-3222-11	6,3	353	56	446	72
		152	9-3224-11	5,7	348	61	445	78
		178	9-3228-11	4,8	341	71	441	92
		203	9-3232-11	4,2	340	81	437	104
		254	9-3240-11	3,3	337	102	429	130
		305	9-3248-11	2,7	329	122	421	156

Del proveedor de resortes DANLY MLD (empresa de marca brasileña comercial en el mercado nacional del Perú). Seleccionamos el resorte helicoidal de alambre templado en aceite ASTM 229 con un diámetro medio de la espira de 50 mm y un vástago de 25 mm de diámetro (diámetro que será corroborado mediante el análisis estático, fatiga y pandeo líneas más adelante), con una longitud natural de 64 mm, con una constante de elasticidad de 15.7 daN/mm, para soportar cargas máximas de hasta 502 daN con una deformación por compresión de 32 mm.

Anexo 14.

Fotos del lugar y escaneo del cuestionario, ficha de registro y ficha de observación.

Cuestionario: 1)

 UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	REDISEÑO DE CAMARA DE AIRE DE BOMBA DE ARIETE MEDIANTE SISTEMA DE REGULACIÓN VÁSTAGO RESORTE PARA MEJOR SU EFICIENCIA - SECTOR PARTIDO ALTO, SAN MARTIN
OBJETIVO: Conocer el consumo actual de agua y requerido por la población Partido Alto. También conocer la opinión respecto al rediseño de la bomba de ariete y costos.	
INSTRUCCIONES: En cada pregunta, responda según el criterio que usted crea conveniente, tratando de ser preciso y claro en su respuesta. .	
DATOS PERSONALES DEL POBLADOR DE PARTIDO ALTO	
Apellidos, Nombres	Lopez Páindo, Edith
5. ¿Cuánta es la cantidad de agua en litros por día que consume su familia?, con el actual suministro por la bomba de ariete Consumen 225 Lt / día	
6. ¿Cuánta es la cantidad de agua que requiere su familia en litros por día, para satisfacer completamente sus necesidades? Requieren 350 Lt / día	
7. ¿Está de acuerdo con el rediseño de la bomba de ariete? <input checked="" type="checkbox"/> SI d) NO	
8. ¿Estaría de acuerdo con asumir los gastos de materiales y mano de obra, para el rediseño de la bomba de ariete? <input checked="" type="checkbox"/> SI d) NO	

2)

 <p>UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO</p>	<p>REDISEÑO DE CAMARA DE AIRE DE BOMBA DE ARIETE MEDIANTE SISTEMA DE REGULACIÓN VÁSTAGO RESORTE PARA MEJOR SU EFICIENCIA - SECTOR PARTIDO ALTO, SAN MARTIN</p>
<p>OBJETIVO: Conocer el consumo actual de agua y requerido por la población Partido Alto. También conocer la opinión respecto al rediseño de la bomba de ariete y costos.</p>	
<p>INSTRUCCIONES: En cada pregunta, responda según el criterio que usted crea conveniente, tratando de ser preciso y claro en su respuesta. .</p>	
<p>DATOS PERSONALES DEL POBLADOR DE PARTIDO ALTO</p>	
Apellidos, Nombres	Florita Salas Shapiama
<p>9. ¿Cuánta es la cantidad de agua en litros por día que consume su familia?, con el actual suministro por la bomba de ariete</p> <p>Consumo 185 Lt./día</p>	
<p>10. ¿Cuánta es la cantidad de agua que requiere su familia en litros por día, para satisfacer completamente sus necesidades?</p> <p>Requiere 280 Lt./día</p>	
<p>11. ¿Está de acuerdo con el rediseño de la bomba de ariete?</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> SI</p> <p><input type="checkbox"/> NO</p>	
<p>12. ¿Estaría de acuerdo con asumir los gastos de materiales y mano de obra, para el rediseño de la bomba de ariete?</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> SI</p> <p><input type="checkbox"/> NO</p>	

3)

 <p>UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO</p>	<p>REDISEÑO DE CAMARA DE AIRE DE BOMBA DE ARIETE MEDIANTE SISTEMA DE REGULACIÓN VÁSTAGO RESORTE PARA MEJOR SU EFICIENCIA - SECTOR PARTIDO ALTO, SAN MARTIN</p>
<p>OBJETIVO: Conocer el consumo actual de agua y requerido por la población Partido Alto. También conocer la opinión respecto al rediseño de la bomba de ariete y costos.</p>	
<p>INSTRUCCIONES: En cada pregunta, responda según el criterio que usted crea conveniente, tratando de ser preciso y claro en su respuesta. .</p>	
<p>DATOS PERSONALES DEL POBLADOR DE PARTIDO ALTO</p>	
<p>Apellidos, Nombres</p>	<p>Shimara Mozombite, Beatriz</p>
<p>1. ¿Cuánta es la cantidad de agua en litros por día que consume su familia?, con el actual suministro por la bomba de ariete</p> <p>..... Consumen 285 Lt./día.</p> <p>.....</p> <p>.....</p>	
<p>2. ¿Cuánta es la cantidad de agua que requiere su familia en litros por día, para satisfacer completamente sus necesidades?</p> <p>..... Requieren 450 Lt./día.</p> <p>.....</p> <p>.....</p>	
<p>3. ¿Está de acuerdo con el rediseño de la bomba de ariete?</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> a) SI</p> <p>b) NO</p>	
<p>4. ¿Estaría de acuerdo con asumir los gastos de materiales y mano de obra, para el rediseño de la bomba de ariete?</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> a) SI</p> <p>b) NO</p>	

Ficha de registro:

REDISEÑO DE CAMARA DE AIRE DE BOMBA DE ARIETE MEDIANTE SISTEMA DE REGULACIÓN VÁSTAGO RESORTE PARA MEJOR SU EFICIENCIA - SECTOR PARTIDO ALTO, SAN MARTIN		
OBJETIVO: Recolectar información técnica del actual sistema de bombeo de ariete.		
RESPONSABLE:		FECHA:
PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR
Volumen del tanque de almacenamiento	V_t	20 m ³
Diámetro del tanque de almacenamiento	D_t	2,25 m
Altura del tanque de almacenamiento	H_t	5 m
Caudal de ingreso a la bomba de ariete (100%)	Q_1	20 000 Lt/día
Caudal útil hacia el tanque de almacenamiento (60%)	Q_2	12 000 Lt/día
Caudal de desperdicio o retorno (40%)	Q_3	8 000 Lt/día
Longitud de tubería de succión (Material: acero comercial)	L_1	65,27 m
Longitud de tubería de descarga (Material: acero comercial)	L_2	226,65 m
Calibre de la tubería de succión	d_1	2 1/2 "
Calibre de la tubería de descarga	d_2	1 3/4 "
Altura geodésica desde la bomba de ariete hasta el rio	Z_1	50 m
Altura geodésica desde la bomba de ariete hasta el tanque	Z_2	135 m
Velocidad de succión	V_1	4,40 m/s
Velocidad de impulsión	V_2	5,35 m/s
Costos de abastecimiento de agua	C	18,00 Soles/m ³

Ficha de observación:

 <p>UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO</p>	<p>REDISEÑO DE CAMARA DE AIRE DE BOMBA DE ARIETE MEDIANTE SISTEMA DE REGULACIÓN VÁSTAGO RESORTE PARA MEJOR SU EFICIENCIA - SECTOR PARTIDO ALTO, SAN MARTIN</p>
<p>OBJETIVO: Verificar el estado actual de la bomba de ariete</p>	
CRITERIOS	OBSERVACIONES
<p>¿Cuál es el estado de las tuberías de succión y descarga?</p>	<p>los Tuberías Estan con Erosión</p>
<p>¿Cuál es el estado actual de las válvulas, codos, filtros y demás accesorios del sistema de bombeo?</p>	<p>Deficiente</p>
<p>¿El actual sistema de bombeo, cumple con el abastecimiento de agua requerido por la población de Partido Alto?</p>	<p>No.</p>
<p>¿Cuándo la bomba de ariete se daña o ingresa en mantenimiento, como se abastece la población de Partido Alto?</p>	<p>Por El Tangu de almacenamiento.</p>
<p>¿Cuánto paga la población de Partido Alto, con bomba de ariete y con abastecimiento por cisterna?</p>	<p>Con Bomba de ariete 0,5 a 1 sol/m³ Con Sistema 18 sol/m³</p>
<p>¿Cuál es el estado del cabezal de la bomba de ariete?</p>	<p>Deficiente</p>
<p>¿Los desniveles de toma de agua y descarga, son correctos para la bomba de ariete?</p>	<p>Si.</p>

Fotos del lugar:







UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, SALAS RUIZ JORGE ADRIAN, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Rediseño de cámara de aire de bomba de ariete mediante sistema de regulación vástago resorte para mejorar su eficiencia - Sector Partido Alto, San Martín", cuyos autores son ISLA GUZMAN JOAR OSMER, HUACA QUISPE CRISTHOFER JEAN CARLOS, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 14.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 06 de Julio del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
SALAS RUIZ JORGE ADRIAN DNI: 17834309 ORCID: 0000-0003-3146-3510	Firmado electrónicamente por: JSALAS el 03-08- 2023 17:34:20

Código documento Trilce: TRI - 0575136