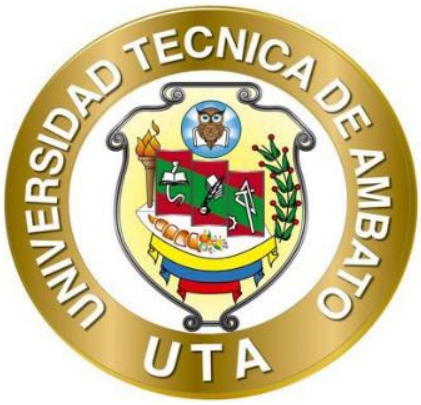


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA

PROYECTO TÉCNICO

PREVIO A LA OBTENCIÓN TÍTULO INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO PARA SUMINISTRO DE AGUA PARA UN SECTOR DE LA COMUNIDAD SAN LUIS, PARROQUIA JUAN BENIGNO VELA DEL CANTÓN AMBATO"

AUTOR: Dennis Alexander Bustillos Medina

Vicente David Vargas Arcos

TUTOR: Ing. Alex Santiago Mayorga Pardo, Mg.

AMBATO – ECUADOR

Febrero-2025

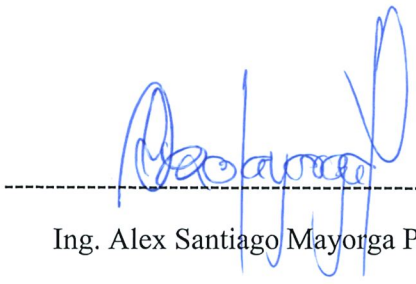
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO PARA SUMINISTRO DE AGUA PARA UN SECTOR DE LA COMUNIDAD SAN LUIS, PARROQUIA JUAN BENIGNO VELA DEL CANTÓN AMBATO",** elaborado por los Sres. Dennis Alexander Bustillos Medina, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1805327788 y Vicente David Vargas Arcos, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 0503542730, estudiantes de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, febrero 2025



Ing. Alex Santiago Mayorga Pardo, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Dennis Alexander Bustillos Medina, con C.I. 1805327788 y Vicente David Vargas Arcos, con C.I. 0503542730, declaramos que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente proyecto técnico con el tema: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO PARA SUMINISTRO DE AGUA PARA UN SECTOR DE LA COMUNIDAD SAN LUIS, PARROQUIA JUAN BENIGNO VELA DEL CANTÓN AMBATO"**, así como también los análisis, gráficos, diseños, conclusiones y recomendaciones son de nuestra exclusiva responsabilidad como autores del proyecto a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2025

Dennis Alexander Bustillos Medina

C.I. 1805327788

AUTOR

Vicente David Vargas Arcos

C.I. 0503542730

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, febrero 2025



Dennis Alexander Bustillos Medina

C.I. 1805327788

AUTOR



Vicente David Vargas Arcos

C.I. 0503542730

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por los estudiantes Dennis Alexander Bustillos Medina y Vicente David Vargas Arcos, de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO PARA SUMINISTRO DE AGUA PARA UN SECTOR DE LA COMUNIDAD SAN LUIS, PARROQUIA JUAN BENIGNO VELA DEL CANTÓN AMBATO".**

Ambato, febrero 2025

Para constancia firman:

Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, Phd.	Ing. Edwin Leonardo Sánchez Almeida, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR	**MIEMBRO CALIFICADOR**

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi querida madre y abuela, Elvia Arcos y Delia Campaña, además de tíos y primos por ser mi mayor inspiración, mi guía inquebrantable y mi apoyo en los momentos difíciles. A ustedes dedico mi proyecto de titulación, como una pequeña muestra de gratitud por todo lo que han hecho por mí.

David Vargas

DEDICATORIA

Dedico primeramente a Dios que con su protección siempre guio mi vida estudiantil, a mis padres por confiar y apoyarme en las decisiones tomadas. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y perseverancia. Sus actos han sido mi refugio en los momentos difíciles y su apoyo incondicional, mi mayor fortaleza. Este logro no sería posible sin ustedes.

A mi familia y enamorada, por ser mi sustento emocional y mi inspiración constante.

A mis compañeros y amigos de clase por las risas compartidas y el apoyo incondicional que siempre he sentido.

A mis profesores y mentores, por su paciencia, dedicación y por compartir conmigo su conocimiento y experiencia. Sus enseñanzas no solo han moldeado mi formación profesional, sino también mi forma de ver el mundo y enfrentar los desafíos.

Y finalmente, me dedico esta tesis a mí mismo. Por el esfuerzo y dedicación, por las dudas superadas y el sacrificio día a día. Este logro es un escalón superado.

A todos ustedes, les agradezco desde el fondo de mi corazón.

Dennis Bustillos

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, por la vida y salud, y la oportunidad de poder alcanzar nuestras metas, aunque existieron inconvenientes en transcurso de lograr nuestro objetivo él nunca nos abandonó, y siempre nos brindó sabiduría y fuerzas para que siguiéramos adelante.

Agradecemos a nuestras familias por ser un apoyo incondicional y brindar su confianza ante nosotros.

Agradecemos a la Universidad Técnica de Ambato y a los docentes de la Carrera de Ingeniería Mecánica ya que los conocimientos impartidos contribuyeron a nuestra formación profesional. Gracias por aconsejarnos e impulsarnos a mejorar a través de sus lecciones de vida.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR ii

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii

DERECHOS DE AUTOR iv

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTOS viii

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO ix

ÍNDICE DE TABLAS xv

ÍNDICE DE FIGURAS xvi

RESUMEN EJECUTIVO xviii

ABSTRACT xix

CAPÍTULO 1 1

MARCO TEÓRICO 1

1.1TEMA DE INVESTIGACIÓN 1

1.2 Antecedente investigativos 1

1.3 Justificación 2

1.4 Objetivos 3

1.4.1 Objetivo General 3

1.4.2 Objetivos Específicos 3

1.5 Marco teórico 3

1.5.1Bomba hidráulica. 3

1.5.1.1 Bombas de émbolo o pistón 3

1.5.1.2 Bombas de diafragma 4

1.5.1.3 Bombas rotativas 5

1.5.1.4 Bombas centrifugas 5

1.5.2 Golpe de ariete 5
1.5.2.1 Causa del golpe de ariete 6
1.5.2.2 Consecuencias del golpe de ariete 7
1.5.3 Bomba de ariete hidráulico. 7
1.5.3.1 Reseña Histórica 8
1.5.4 Funcionamiento y componentes de la bomba de ariete hidráulico. 8
1.5.4.1 Funcionamiento. 8
1.5.4.2 Componentes de la bomba de ariete hidráulico. 9
CAPÍTULO 2 11
METODOLOGÍA 11
2.1 Materiales 11
2.2 Métodos 15
2.2.1 Método Cuantitativo 15
2.3 Tipo de investigación 16
2.3.1 Investigación bibliográfica 16
2.3.2 Investigación descriptiva 16
2.3.3 Investigación correlacional 16
2.3.4 Investigación explicativa 16
2.4 Recolección de datos 16
2.5 Etapas del proyecto 16
2.6 Parámetros de diseño de una bomba de ariete Hidráulico 17
2.6.1 Elección del sitio de instalación 17
2.6.2 Caudal de suministro 17
2.6.3 Altura de descarga 18
2.6.4 Altura de suministro 19
2.6.5 Longitud y diámetro de tubería de suministro 19
2.6.6 Diámetro de la tubería de descarga 21

2.6.7 Caudal de descarga..... 21
2.6.7.1 Velocidad de cierre de la válvula de impulso 21
2.6.7.2 Coeficiente de descarga..... 22
2.6.7.3 Caudal libre 22
2.6.7.3 Pérdidas por fricción 23
2.6.7.3 Pérdidas por accesorios 23
2.6.7.3 Factor de fricción 24
2.6.7.3 Número de Reynolds..... 24
2.6.8 Caudal desechado..... 24
2.6.9 Válvula de impulsión 25
2.6.9.1 Planteamiento de alternativas y tipos de válvulas de impulso 25
2.6.9.2 Criterios de valoración para el planteamiento de alternativas. 27
2.6.9.3 Parámetros de diseño de la válvula de impulso 28
2.6.10 Válvula de descarga 30
2.6.10.1 Planteamiento de alternativas y tipos de Válvulas de descarga. 30
2.6.10.2 Criterios de valoración para el planteamiento de alternativas. 32
2.6.10.2 Parámetros para la selección de la válvula de descarga 33
2.6.11 Cámara de aire..... 33
2.6.11.1 Pérdida de carga en el período de retardación 35
2.6.11.2 Altura máxima alcanzada por la subida de presión por el golpe de ariete35
2.6.11.3 Velocidad necesaria para el cierre de la válvula de impulso 35
2.6.11.4 Pérdidas de carga en la tubería de suministro 35
2.6.11.5 Velocidad de propagación de onda de presión..... 36
2.6.11.6 Caudal bombeado por ciclo..... 36
2.6.11.7 Período del ciclo del golpe de ariete 36
2.6.11 Cuerpo de la bomba 36
2.6.12 Modelos matemáticos del ariete hidráulico..... 37

2.6.12.1 Modelo de Iversen 37
2.6.12.2 Modelo de Lansford y Dugan 37
2.6.12.3 Modelo de Schiller 38
2.6.12.4 Modelo de Krol 38
2.6. 13 Análisis de esfuerzos 42
2.6. 13.1 Análisis de esfuerzos del Cuerpo de la bomba 42
2.6. 13.2 Análisis de esfuerzos de la Cámara de aire 45
2.6.14 Dimensionamiento del tanque de almacenamiento 46
2.6.15 Soportes de sujeción del cuerpo de la bomba de ariete. 47
CAPÍTULO III 49
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 49
3.1 Análisis y discusión de resultados 49
3.1.1 Determinación del caudal de suministro 49
3.1.2 Determinación de la altura de descarga 50
3.1.3 Determinación de la altura de suministro 51
3.1.4 Dimensionamiento de la tubería de suministro 51
3.1.4.1 Longitud de la tubería de suministro 51
3.1.4.2 Diámetro de la tubería de suministro 52
Diámetro mínim 52
3.1.5 Dimensionamiento de la tubería de descarga 53
3.1.6 Dimensionamiento de la válvula de impulso 54
3.1.6.1 Diámetro de disco o base de la válvula 54
3.1.6.2 Carrera de la válvula de impulso 54
3.1.6.3 Velocidad de cierre de la válvula de impulso 54
3.1.6.4 Diámetro del orificio del asiento de la válvula de impulso 54
3.1.6.5 Espesor de la base de la válvula impulso 55
3.1.6.6 Diámetro del vástago 55

3.1.7 Velocidad de salida en la tubería de impulsión 55
3.1.7.1 Pérdidas por accesorios 56
3.1.8 Caudal libre 59
3.1.8.1 Área de asiento de la válvula($\boldsymbol{Aov}$) 59
3.1.8.2 Área del vástago de la válvula ($\boldsymbol{Ava}$) 59
3.1.8.3 Área de la tubería de suministro y cuerpo de la bomba 59
3.1.8.4 Velocidad en la tubería de suministro y cuerpo de la bomba 60
3.1.9 Resorte de la válvula de impulso 61
3.1.9.2 Longitud del vástago 61
3.1.10 Coeficiente de descarga 62
3.1.11 Caudal de descarga 62
3.1.12 Eficiencia teórica del ariete hidráulico 63
3.1.13 Cámara de aire 63
3.1.13.1 Pérdidas de carga en la tubería de suministro 63
3.1.13.2 Velocidad necesaria para el cierre de la válvula de impulso 63
3.1.13.3 Velocidad de propagación de onda de presión 64
3.1.13.4 Altura máxima alcanzada por el aumento de presión debido al golpe de ariete 64
3.1.13.5 Pérdida de carga en el periodo de retardación 64
3.1.13.6 Período del ciclo del golpe de ariete 64
3.1.13.7 Caudal bombeado por ciclo 65
3.1.14 Ciclo de operación de la bomba de ariete hidráulico 67
3.1.15.1 Períodos del ciclo de operación 67
3.1. 16 Análisis de esfuerzos 72
3.1. 16.1 Análisis de esfuerzos del Cuerpo de la bomba 72
3.6. 16.2 Análisis de esfuerzos de la Cámara de aire 74
3.1. 17 Dimensionamiento del tanque de almacenamiento 77

3.1.18 Soportes de sujeción del cuerpo de la bomba. 77
3.2 Determinación de Tolerancias..... 79
3.3 Análisis de soldadura 79
3.3.1 Selección del proceso de soldadura y material de aporte..... 79
3.3.2 Análisis de soldabilidad 80
3.3.3 Análisis de soldadura utilizando software de simulación 82
3.4 Construcción de la bomba de ariete 86
3.4.1 Análisis de costos..... 86
3.4.2 Montaje e instalación. 88
3.5 Recopilación de resultados..... 93
CAPÍTULO IV 96
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 96
4.1 Conclusiones 96
4.2 Recomendaciones..... 97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 98
ANEXOS..... 105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Lista de materiales para la construcción de una bomba de ariete hidráulico. 11
Tabla 2 Lista de equipos para el diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico..... 13
Tabla 3 Lista de herramientas para la construcción de una bomba de ariete hidráulico..... 14
Tabla 4 Rendimiento de acuerdo a la relación entre la altura de elevación y abastecimiento 19
Tabla 5 Diámetro de tubería de impulsión de acuerdo al caudal de impulsión. 20
Tabla 6 Evaluación de alternativas de válvulas de impulso vs criterios ponderados. 27
Tabla 7 Evaluación de alternativas de válvulas de retención vs criterios ponderados válvula de descarga 32
Tabla 8 Datos para la determinación del caudal de suministro. 49
Tabla 9 Iteración de factor de fricción. 60
Tabla 10 Selección del proceso de soldadura 79
Tabla 11 Costos de materia prima. 86
Tabla 12 Costo de accesorio y materiales normalizados..... 87
Tabla 13 Costos de mano de obra. 88
Tabla 14 Costo Total 88
Tabla 15 Datos para la determinación del caudal de descarga. 94
Tabla 16 Comparación del caudal de descarga teórico vs real. 94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de una bomba de ariete hidráulico 1
Figura 2 Bomba de émbolo de efecto simple y doble 4
Figura 3 Esquema de una bomba de diafragma 4
Figura 4 Esquema de una bomba rotativa 5
Figura 5 Esquema de una bomba centrifuga 5
Figura 6 Esquema del golpe de ariete hidráulico 6
Figura 7 Mecanismo del golpe de ariete hidráulico 6
Figura 8 Diagrama de la bomba de ariete hidráulico 7
Figura 9 Componentes de una bomba de ariete hidráulico 10
Figura 10 Diagrama de flujo para la construcción de la bomba de ariete. 17
Figura 11 Ángulo de inclinación de la tubería de abastecimiento y descarga 20
Figura 12 Representación del punto 1 y 2 en la bomba de ariete. 23
Figura 13 Válvula de impulso de resorte. 25
Figura 14 Válvula de impulso de pesas 25
Figura 15 Válvula de pie de pozo.. 26
Figura 16 Válvula de impulso de pistón 26
Figura 17 Válvula de columpio u oscilante. 30
Figura 18 Válvula de retención de bola 30
Figura 19 Válvula de retención de disco 31
Figura 20 Válvula de retención de resorte. 31
Figura 21 Cuerpo de la bomba de ariete hidráulico. 37
Figura 22 Abrazadera de tubería omega 47
Figura 23 Medición del caudal de impulsión. 49
Figura 24 Determinación de la distancia hasta el lugar de descarga deseado 50
Figura 25 Esquema para el cálculo de altura de descarga 50
Figura 26 Accesorios del sistema del ariete hidráulico 57
Figura 27 Esquematización de la cámara de aire 66
Figura 28 Representación del vástago, disco y tuerca de la válvula de impulso 68
Figura 29 Diagrama de cuerpo libre del codo del cuerpo de la bomba 78
Figura 30 Diagrama de Schaeffler. 81
Figura 31 Modelación de la cámara de aire como superficie. 82
Figura 32 Asignación de espesores. 82

Figura 33 Fijación de geometría. 83
Figura 34 Asignación de cordones de soldadura. 83
Figura 35 Aplicación de la presión de la cámara de aire. 83
Figura 36 Mallado del componente. 84
Figura 37 Tamaño de soldadura unión 1. 84
Figura 38 Tamaño de soldadura unión 2. 84
Figura 39 Tamaño de soldadura unión 3. 85
Figura 40 Tamaño de soldadura unión 4. 85
Figura 41 Tamaño de soldadura unión 5. 85
Figura 42 Tamaño de soldadura unión 6. 85
Figura 43 Esquematización de Parámetros obtenidos. 89
Figura 44 Diagrama real de la instalación de la bomba de ariete hidráulico. 89
Figura 45 Construcción de la válvula de impulso. 90
Figura 46 Construcción Cámara de aire. 90
Figura 47 Ensamblaje de piezas y componentes 90
Figura 48 Ensamblaje del cuerpo, válvula de impulso y cámara de aire. 91
Figura 49 Anclaje de la bomba a placa de cemento. 91
Figura 50 Instalación de la bomba de ariete hidráulico. 92
Figura 51 Instalación de la tubería de suministro. 92
Figura 52 Instalación de la tubería de descarga. 93
Figura 53 Recolección de datos. 93
Figura 54 Presión en la cámara de aire. 95
Figura 55 Presión en el cuerpo de la bomba. 95

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de investigación aborda el diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico como una solución sostenible y eficiente para el suministro de agua en la comunidad de San Luis. Este dispositivo mecánico opera aprovechando el fenómeno del golpe de ariete, el cual en muchas instalaciones hidráulicas es perjudicial, ya que puede ocasionar la rotura, el funcionamiento de este tipo de bomba aprovecha el incremento de la energía cinética del flujo de agua generada por este fenómeno para impulsar el líquido hacia niveles más altos sin la necesidad de utilizar fuentes externas de energía, como electricidad o combustibles fósiles.

El proyecto se desarrolla en respuesta a la problemática del acceso limitado al agua de riego o para abrevaderos de animales en el sector donde las infraestructuras convencionales son inviables por su elevado costo o por condiciones geográficas adversas, además de ser una solución ecológica y económica respecto a otras alternativas. La metodología incluye un análisis técnico para determinar los parámetros de diseño y un proceso de construcción que prioriza materiales accesibles y resistentes, además de que analiza la relación entre los parámetros de diseño en el funcionamiento y eficiencia.

El modelo propuesto tiene el diseño optimizado según los parámetros consultados los cuales con una caída vertical de 5 metros puede elevar el agua a una altura de 20 metros, con una eficiencia del 26 por ciento, utilizando uniones roscadas de acero galvanizado para soportar efectos de la corrosión y las cargas generadas por el golpe de ariete.

Palabras claves: Golpe de ariete, Hidráulica, Válvula de impulso, Cámara de aire, Energía Cinética.

ABSTRACT

The research project addresses the design and construction of a hydraulic ram pump as a sustainable and efficient solution for hydraulic ram pump as a sustainable and efficient solution for the water supply in the water supply in the community of San Luis. This mechanical device operates the phenomenon of water hammer, which in many hydraulic installations is detrimental, since it is hydraulic installations is detrimental, since it can cause breakage. This type of pump takes advantage of the increase in the kinetic energy of the water flow generated by this phenomenon to generated by this phenomenon to propel the liquid to higher levels without the need to use external without the need to use external energy sources, such as electricity or fossil fuels. electricity or fossil fuels.

The project is developed in response to the problem of limited access to water for irrigation or animal watering in the sector where conventional infrastructures are unfeasible due to their high cost or adverse geographical conditions, in addition to being an ecological and economical solution compared to other alternatives. The methodology includes a technical analysis to determine the design parameters and a construction process that prioritizes accessible and resistant materials, in addition to analyzing the relationship between the design parameters in operation and efficiency. The proposed model has the optimized design according to the consulted parameters which with a vertical drop of 5 meters can lift the water to a height of 20 meters, with an efficiency of 26 percent, using galvanized steel threaded joints to withstand corrosion effects and the loads generated by the water hammer.

Keywords: Waterhammer, Hydraulics, Impulse Valve, Air Chamber, Kinetic Energy,

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1TEMA DE INVESTIGACIÓN

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO PARA SUMINISTRO DE AGUA PARA UN SECTOR DE LA COMUNIDAD SAN LUIS, PARROQUIA JUAN BENIGNO VELA DEL CANTÓN AMBATO"

1.2 Antecedente investigativos

Menciona [1] que la bomba de ariete surge por la necesidad de obtener agua en zonas remotas en donde es muy difícil o no existe energías convencionales, lo cual al ser la bomba de ariete un dispositivo que no usa este tipo de energía, hace factible la instalación en este tipo de zonas. Además, esta bomba posee mecanismos simples y garantiza una confiabilidad, esta bomba aprovecha la energía cinética proporcionada por fuentes hídricas como ríos, lagos, canales y arroyos, lo que permite que por medio del fenómeno del golpe de ariete aumentar la presión del fluido y así poder elevarlo.

La bomba de ariete hidráulica fue creada en el año de 1796 por el francés Joseph Michel Montgolfier. Esta bomba funciona por las sobrepresiones generada por golpe de ariete, el cual es un fenómeno que en muchas ocasiones es dañino para instalaciones hidráulicas debido que se generan variaciones bruscas de presión, generalmente producidas por la interrupción del fluido o una diminución brusca de la velocidad, pero la bomba de ariete utiliza este fenómeno como principio funcionamiento, creando el golpe de ariete por medio de válvulas que se cierran y se abren continuamente, permitiendo la interrupción brusca del flujo del fluido, lo cual generará las sobrepresiones que permitirán elevar el flujo [2].

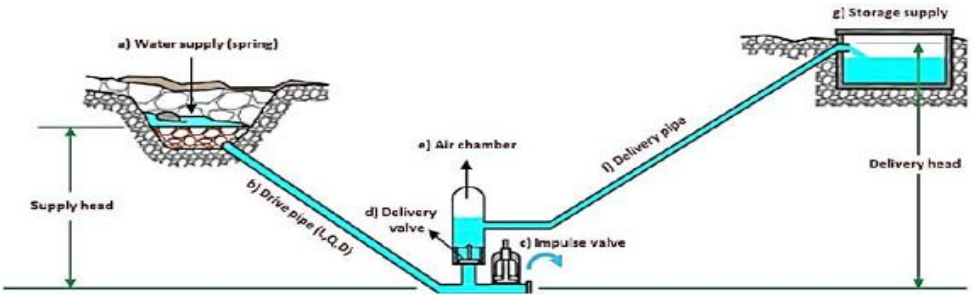


Figura 1 *Esquema de una bomba de ariete hidráulico [1].*

Menciona [3] que en Ecuador el sector agrícola y ganadero a través del tiempo han presentado diversos problemas para obtener un suministro de agua para sus actividades, siendo el principal problema los altos costes de equipos de bombeo, por lo cual la bomba de ariete es una alternativa factible y sostenible, gracias a que esta bomba no posee mecanismos complejos, lo cual facilita su instalación y simple mantenimiento, además de un funcionamiento autónomo.

Según [4] los principales problemas que se presentan en la bomba de ariete hidráulico son el alto ruido producido por la válvula de impulso, el desgate de los sellos de caucho de la válvula de impulso y la corrosión de la estructura de la bomba, lo cual se busca mitigar al usar como material estructural una aleación de aluminio y optimizar el peso de la válvula de impulso. La optimización del peso de la válvula de impulso garantizará entregar un mayor caudal, lo cual permitirá mejorar la eficiencia de la bomba. La determinación del peso óptimo se verá influenciado por el desnivel que tendrá la bomba de ariete [4].

1.3 Justificación

La necesidad de las personas por satisfacer un acceso a un recurso tan importante como el agua, ha permitido el desarrollo de bombas hidráulicas, las cuales son máquinas que por medio de la transferencia de energía hacia el fluido permite trasladarlo de un lugar a otro [5].

Existen distintas bombas hidráulicas las cuales se clasifican por el sentido de intercambio de energía, la compresibilidad del fluido de trabajo y por el principio de funcionamiento [5]. Muchas de las bombas hidráulicas funcionan con energía eléctrica o de combustibles, pero debido a que estas bombas demandan un gran cuidado, hace que utilizarlas en zonas alejadas o lugares en donde no exista la accesibilidad a la energía de accionamiento de las bombas, por la dificultad que implicaría la implementación de estas bombas es necesario utilizar otros tipos de sistemas de bombeo los cuales sean eficientes dentro de este entorno[6].

La bomba de ariete es un modelo que no necesita fuentes de energía como electricidad o de combustibles, esta bomba solamente funciona con el flujo de agua, aprovechando el fenómeno de golpe de ariete, siendo muy eficiente para lugares en donde no exista el acceso a energía eléctrica [7].

La aplicación de la bomba de ariete es muy factible en un sector de la comunidad San Luis de parroquia Juan Benigno Bela del cantón Ambato, ya que esta zona es montañosa y con varios desniveles, lo cual permite utilizar la bomba de ariete con gran facilidad ya que uno de los requerimientos para el funcionamiento de estas bombas es que exista un desnivel y una corriente libre de agua, para de esta manera generar el fenómeno de golpe de ariete, el cual es el principio de funcionamiento.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar y construir una bomba de ariete hidráulico para suministro de agua para un sector de la comunidad San Luis, parroquia Juan Benigno Vela del cantón Ambato.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Investigar los parámetros necesarios para realizar el diseño de la bomba de ariete hidráulico.
- Realizar el diseño hidráulico y dinámico de la bomba de ariete para garantizar su funcionalidad.
- Construir la bomba de ariete y realizar el análisis para verificar su comportamiento hidráulico.

1.5 Marco teórico

1.5.1Bomba hidráulica.

La bomba hidráulica es una máquina que trabaja con un fluido, esta máquina permite impulsar un líquido en cierta dirección convirtiendo así la energía mecánica en hidráulica, al aumentar la energía del fluido también incrementa su altura, velocidad o presión. Las bombas hidráulicas se emplean para desplazar un fluido que necesite ser elevado a una mayor altitud o que su descarga sea con mayor presión. [8].

Existen varios tipos de bombas hidráulicas como: De émbolo, diafragma, rotativas y centrifugas.

1.5.1.1 Bombas de émbolo o pistón

La bomba de émbolo tiene como principal elemento de trabajo un pistón que se mueve dentro de un cilindro, el agua es aspirada por el pistón y el mismo que envía el agua con menos presión por la tubería de descarga [5]. También se necesita válvulas que cierren o abran las salidas.

La bomba de embolo puede ser de efecto simple o de doble efecto, depende si aspira por una cara o ambas caras del pistón, dicha bomba no necesita ser cebada [5].

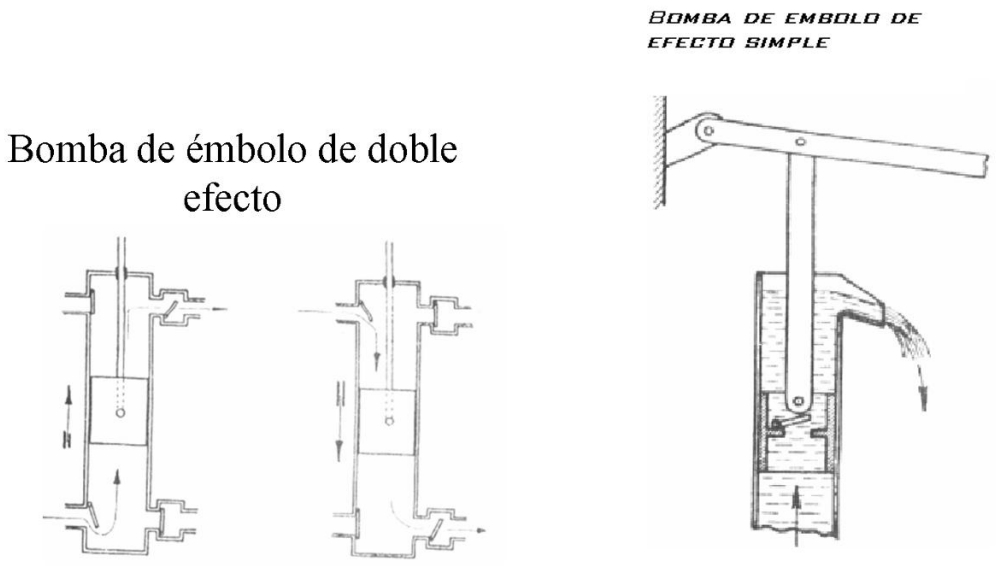


Figura 2 *Bomba de émbolo de efecto simple y doble [9].*

1.5.1.2 Bombas de diafragma

La bomba de diafragma trabaja solo por una de sus caras, la aspiración e impulsión se produce por un diafragma deformable, que generalmente es un círculo de goma que se encuentra fuertemente sujeto a su periferia y empujado por su centro [5].

Un par de válvulas abren y cierran la entrada y salida, dicha bomba generalmente está construida con hierro, estaño y goma o caucho [5]. La bomba se ceba por sí misma.

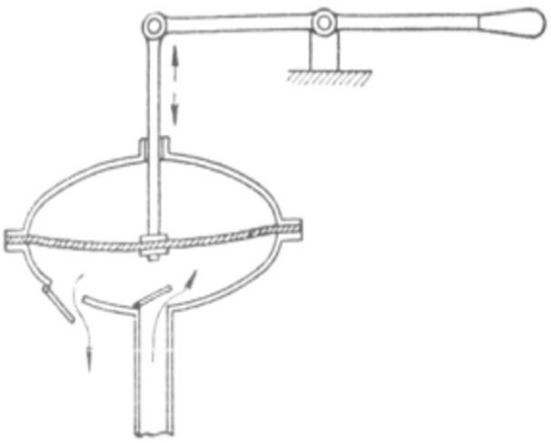


Figura 3 *Esquema de una bomba de diafragma [9].*

1.5.1.3 Bombas rotativas

Las bombas rotativas se componen de dos anillos giratorios, tienen distintos centro, cuando la bomba se va llenando empuja el agua [5]. No contiene válvulas y se ceba por sí misma.

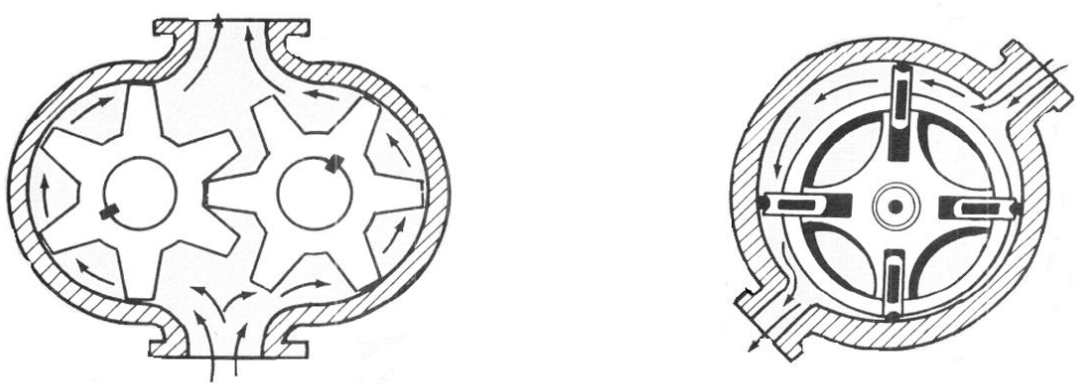


Figura 4 *Esquema de una bomba rotativa [9].*

1.5.1.4 Bombas centrifugas

Las bombas centrifugas funcionan por la gran velocidad de rotación, Conta de un disco con aletas conocidos como rodete y alabes. Los mismos que giran por un tubo circular, dicho tubo su diámetro es más estrecho al inicio que al final [5].

El fluido ingresa al tubo de aspiración donde es empujado fuertemente por los alabes hacia las paredes de este, y el empuje de varias partes del fluido hace subir por el tubo de impulsión [5].

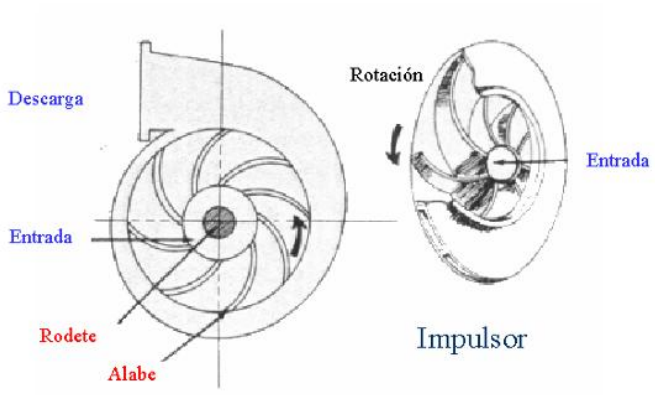


Figura 5 *Esquema de una bomba centrifuga [9].*

1.5.2 Golpe de ariete

Se denomina Golpe de Ariete al efecto hidráulico que se produce por variaciones de velocidad en el fluido transitorio. Este fenómeno consiste en la propagación de ondas

de presión y depresión a lo largo de las conducciones, debido a la transformación de energía cinética en energía elástica [10].

Este cambio de velocidad genera cambios de presión dentro de la tubería, que se propagaran a todo el sistema a la velocidad del sonido, El golpe de ariete también depende de la elasticidad del agua, de las paredes de la tubería y del suelo.

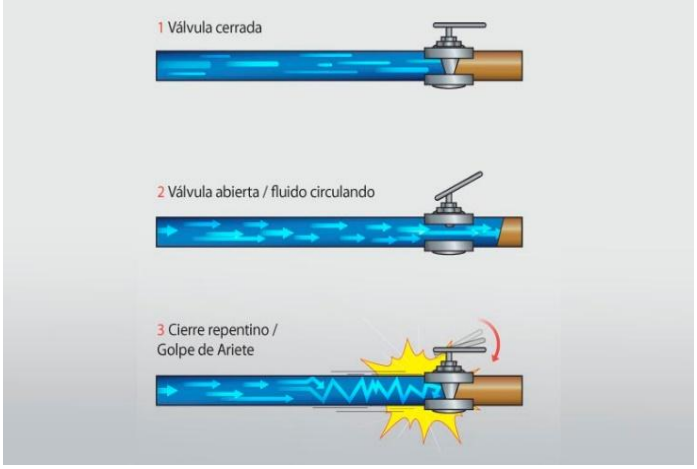


Figura 6 *Esquema del golpe de ariete hidráulico [10]*

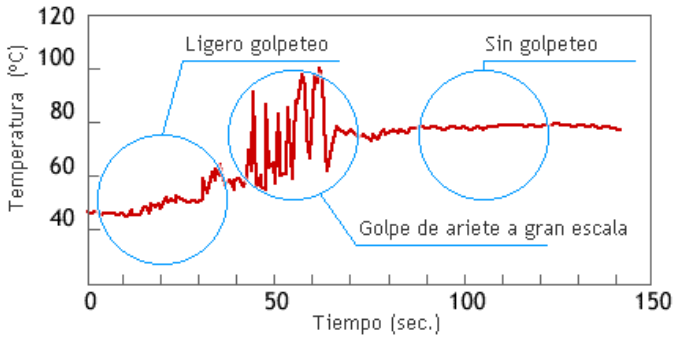


Figura 7 Mecanismo del golpe de ariete hidráulico [10]

1.5.2.1 Causa del golpe de ariete

El agua transita por una tubería de manera uniforme a cierta velocidad determinada si se le corta el paso mediante una llave o válvula se genera presión, esto porque detrás llega más agua entonces en la tubería se empezará a comprimir el fluido generando así el golpe de ariete hidráulico. El golpe de ariete hidráulico se produce cuando existe un cambio brusco de velocidad en el fluido [11].

Causas generales que producen el fenómeno del golpe de ariete en sistemas hidráulicos son los siguientes:

- Apertura y cierre rápido de válvulas.
- Arranque o desconexión rápido de bombas.

- Cierre rápido de las válvulas de retención.
- Retención interrumpida del fluido.

1.5.2.2 Consecuencias del golpe de ariete

Si el Golpe de Ariete no es efectivamente controlado puede producir la rotura de la tubería por sobrepresión o por depresión, así como generar serios problemas de operación. Las consecuencias de los transitorios hidráulicos son: altas presiones, presiones negativas, separación de la columna de agua llegando inclusive a valores de cavitación, riesgo sanitario asociado a la intrusión de contaminantes como consecuencia de las presiones negativas [11].

1.5.3 Bomba de ariete hidráulico.

La bomba de ariete hidráulico es una máquina sencilla que aprovecha la energía hidráulica para aumentar la altura, velocidad o presión del agua, mediante la transformación de energía potencial en energía cinética y posteriormente en ondas de presión también conocidas como golpe de ariete, usa la fuerza de caída del agua para ayudar a potenciar la salida del flujo o elevar con menor cantidad, pero mayor altura [12].

Esta bomba es muy útil ya que puede ser usada en zonas donde es complicado obtener energía eléctrica, energía solar o combustibles fósiles, también porque el costo no es muy elevado como la instalación de otras bombas hidráulicas [12].

La bomba puede elevar hasta 200 metros de altura, pero considerando que debe haber abundante agua y un desnivel de por lo menos 1.2 metros [12].

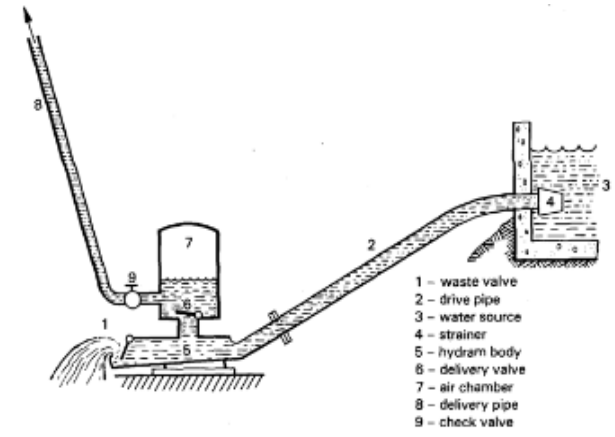


Figura 8 *Diagrama de la bomba de ariete hidráulico [13].*

1.5.3.1 Reseña Histórica

Desde que se empezó a transportar agua por tuberías se encontró un problema al cerrar el paso del agua rápidamente, el cual era que las tuberías se deterioraban o rompían rápidamente, esto porque se producía el golpe de martillo o más conocido como golpe de ariete hidráulico [14].

En 1772 el inglés John Whitehurst construyó un invento basado en el principio del golpe de ariete hidráulico. Cerrando manualmente un grifo que estaba conectado a una tubería y a un depósito de agua consiguiendo elevar cierta cantidad de agua a un nivel superior y lo llamo máquina pulsante o motor de pulsación [14].

En 1796 el francés Joseh Montgolfier mejoro el invento, aumentando una válvula de impacto o válvula de ariete y una campana de hierro fundido que estaba sujeta a la base para soportar la presión de la cámara de aire, también incluyo dos válvulas de bronce y dos entradas de agua, nombrándolo como belier hydraulique [14].

En 1857 el francés Ernest Sylvain Bollée lo mejora y lo patenta, en 1885 el suizo Johann Georg Schlumpf mejora la abertura de entrada de aire que permite aspirar el aire automáticamente hacia la cámara, esta parte fue fundamental ya que permite amortiguar el golpe de martillo o también conocido como golpe de ariete [14].

Desde allí existen una gran cantidad de fabricantes y modelos, con la intervención de la bomba centrífuga y bajos precios del combustible y electricidad la bomba de ariete hidráulico dejo de usarse, pero es una buena solución para lugares donde se carece de electricidad o combustibles fósiles.

1.5.4 Funcionamiento y componentes de la bomba de ariete hidráulico.

1.5.4.1 Funcionamiento.

El agua se encuentra en un depósito, acequia o río que tenga desnivel esto permite que el agua ingrese a la tubería de alimentación por efecto de la gravedad, después el agua llega hasta el cuerpo o caja de válvulas con cierta velocidad esto para que la presión dinámica pueda cerrar la válvula de impulso. El cierre agresivo de dicha válvula produce el efecto de golpe de ariete, ocasionando obtener sobrepresión en la tubería de alimentación permitiendo así abrir la válvula de retención, luego el agua se dirige hacia el interior de una cámara de aire que se encuentra en el cuerpo de la bomba. Esta agua provoca compresión del aire existente y cierta cantidad de agua asciende por la tubería de descarga hacia el depósito [12].

El ciclo se repite una y otra vez a un ritmo de entre 60 y 90 golpes por minuto y cuanto más lento sea el funcionamiento, más agua utiliza y bombea [12].

1.5.4.2 Componentes de la bomba de ariete hidráulico.

Válvula de impulsión.

La válvula de impulso permite que se genere el golpe de ariete cuando se cierra esto debido a que se genera la presión del agua, para la válvula de choque existen diversas formas para escoger una se debe guiar en los parámetros de diseño[15].

Tubería.

La tubería se encarga de suministrar el fluido a la bomba y conducir el fluido hacia el depósito, La tubería para la alimentación y de descarga del fluido es recomendable usar tubería acero galvanizado para la primera, mientras que para la segunda generalmente se utiliza tubería de polietileno de baja densidad [15].

Cuerpo de la bomba.

El cuerpo de la bomba recibe el fluido procedente de la fuente de alimentación, a partir del tubo de la válvula de choque, el cuerpo de la bomba de ariete debe ser de un material resistente a diversas presiones y un posible ataque químico del fluido [15].

Válvula de entrega o descarga.

La válvula de descarga permanece abierta durante la fase de sobrepresiones permitiendo así el paso del fluido desde el cuerpo de la bomba hacia el depósito neumático o cámara de aire [15].

Cámara de aire.

El depósito neumático o cámara de aire recibe el fluido en los periodos de sobrepresión y es liberado al tubo de descarga, el depósito es fundamental para un buen funcionamiento de la bomba ya que permite incrementar el rendimiento y evitar que el cuerpo de la bomba tenga fallas debido al golpe de ariete [15].

Respiradero.

Pequeño orificio acondicionado por debajo de la válvula de descarga, permite alimentar de aire el depósito neumático, es necesario que ingrese aire para liberar el fluido a través de la tubería de descarga [15].

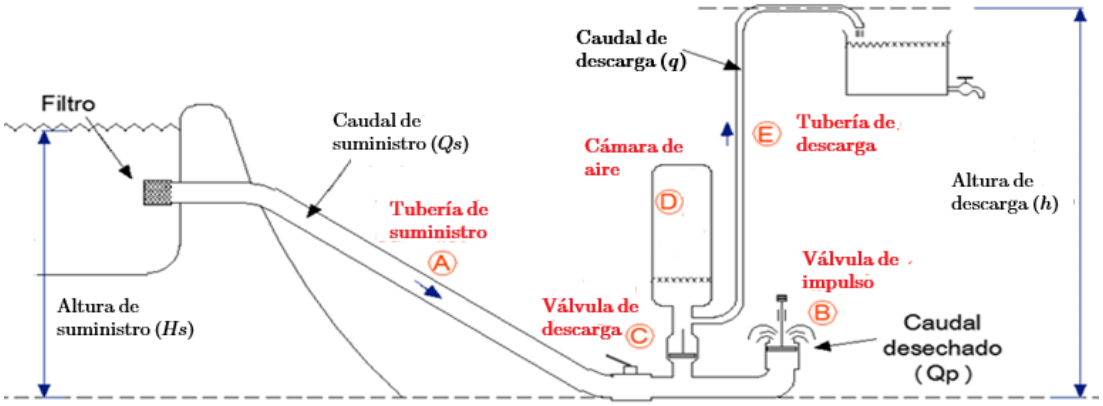


Figura 9 *Componentes de una bomba de ariete hidráulico [15].*

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

2.1 Materiales

En las siguientes tablas, se realiza una descripción corta de los materiales, equipos y herramientas necesarias para la construcción y diseño de una bomba de ariete Hidráulico.

Tabla 1 *Lista de materiales para la construcción de una bomba de ariete hidráulico.*

Denominación	Descripción	Gráfico
Tubería de acero	La tubería de acero son conductos que permiten el traslado de un fluido, las se caracterizan por soportar mayores presiones de trabajo.	
Tubería de polietileno de baja densidad	Conductos por la que se traslada agua, las cuales son fabricadas con polietileno, entre sus principales características es su resistencia a la corrosión, larga vida útil y una gran adaptabilidad.	
Eje de acero inoxidable	Barra solida de acero, generalmente utilizada para la transmisión de movimiento.	
Resorte	Elemento elástico, el cual puede almacenar y liberar energía sin sufrir deformación.	

Plancha de acero inoxidable	Placa metálica de acero inoxidable, la cual es una materia prima muy utilizada en la industria de la construcción.	
Codos	Conductos que ayuda a cambiar la dirección del fluido.	
Uniones roscadas (Neplos)	Elementos roscados que permiten la unión de dos o más elementos en instalaciones hidráulicas.	
Válvula tipo bola	Elemento que permite ingresar o cortar el paso al fluido, la cual se caracteriza por tener una bola hueca la cual al girarla permitirá o no el paso del fluido.	
Junta Te	Son elementos que permiten conducir un fluido por dos diferentes direcciones.	

Válvula de retención	Permite que el fluido presurizado en el sistema hidráulico fluya en una sola dirección.	
Tanques de almacenamiento	Recipientes plásticos de gran capacidad volumétrica que permite el almacenamiento de un fluido.	

Tabla 2 *Lista de equipos para el diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico.*

Máquinas de soldadura	Permite unir fijamente dos o más materiales metálicos, por medio de la fundición de los dos materiales más un material de aporte.	
Torno	Máquina que se utiliza para dar forma a una pieza de madera o metálicas, por medio del arranque de viruta al girar la pieza a altas revoluciones.	
Flexómetro	Ayuda a determinar grandes distancias ya sean estas rectas o curvas.	

Calibrador o pie de rey	Instrumento que permite determinar distancias pequeñas con gran precisión.	
Manómetro	Instrumento que permite medir la presión del tanque o vaso de expansión.	
Amoladora	Maquina eléctrica que permite realizar cortes, desbastes y pulido de diferentes materiales.	
Computador portátil	Equipo para la búsqueda de información y la utilización de softwares de diseño.	

Tabla 3 *Lista de herramientas para la construcción de una bomba de ariete hidráulico.*

Llave de tipo Stillson	La principal funcionalidad es ajustar o aflojar elementos cilíndricos, es muy útil ya que podemos regular la medida	

Llave de ajuste	Herramienta que permite el ajuste y desajuste de tuecas y tornillos.	
Electrodos de soldadura	Material de aporte en el proceso de soldadura.	
Disco de corte	Herramienta abrasiva de gran dureza que ayuda en el corte de materiales metálicos.	
Teflón	Permite sellar de manera efectiva las uniones en la tubería.	

2.2 Métodos

2.2.1 Método Cuantitativo

Este método es aplicable en este proyecto técnico, debido que es necesario medir y analizar datos, los cuales serán de utilidad para el diseño y construcción de la bomba de ariete hidráulico, además de que se realizarán pruebas de funcionamiento para el análisis de la eficiencia de la bomba.

2.3 Tipo de investigación

2.3.1 Investigación bibliográfica

Este tipo de investigación abarca la búsqueda y análisis de información bibliográfica que se encuentran en libros, artículos científicos, proyectos de investigación, etc. Siendo este tipo de investigación muy importante para investigar y analizar las características de una bomba de ariete hidráulico, así como también los parámetros de diseño.

2.3.2 Investigación descriptiva

La investigación descriptiva consiste en investigar las características de una bomba de ariete hidráulico, al detallar sus componentes y estudiar la función de cada uno de ellos, comprender el funcionamiento, además de que es necesario examinar los factores que son beneficiosos o perjudiciales al funcionamiento lo que permitirá identificar como influyen en el comportamiento de la bomba, del mismo modo se describe las características del entorno en donde se instalará.

2.3.3 Investigación correlacional

Este tipo de investigación permite analizar la relación de distintas variables que influyen en el funcionamiento de la bomba de ariete, las principales variables que se analizan son el diámetro y longitud de tubería, el caudal que entra en la bomba, el caudal de descarga, la disposición de las válvulas, la caída de agua.

2.3.4 Investigación explicativa

Este tipo de investigación complementa a la correlacional al analizar las causas y consecuencias de cómo afectan al relacionarse diferentes factores en el funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico, lo que posibilita que el diseño sea eficiente y brinda una confiabilidad en el funcionamiento y la vida útil de la bomba.

2.4 Recolección de datos

Los datos que se recopilan en este proyecto técnico servirán para la toma de decisiones las cuales influirán directamente en el diseño de la bomba de ariete, los datos permitirán que el diseño sea eficiente y funcional para el sector en donde se instalará.

2.5 Etapas del proyecto

El proyecto se lo elaborará en seis etapas las cuales se detallan en el siguiente diagrama de flujo:

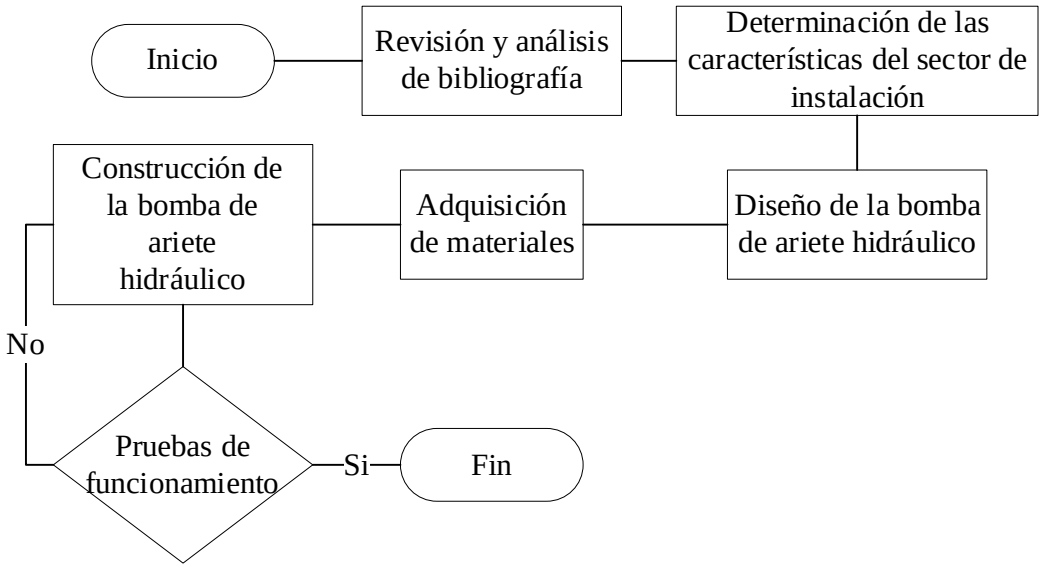


Figura 10 *Diagrama de flujo para la construcción de la bomba de ariete.*

2.6 Parámetros de diseño de una bomba de ariete Hidráulico

El diseño es el proceso con el cual seguimos un procedimiento para resolver una necesidad o la solución de un problema, a través de la toma decisiones, lo cual garantizará que el objeto a diseñar sea funcional, confiable y que sea posible su fabricación.

Mencionan [3], [16] que los principales parámetros de diseño que influyen en el funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico son la caída vertical entre la fuente y la bomba, el caudal disponible, el caudal necesario, la longitud de la tubería de impulsión, peso de las válvulas, carrera de la válvula, diámetros y espesor de la tubería de impulsión y descarga, pérdidas por fricción en válvulas y tubería, y el tamaño de la cámara de aire.

2.6.1 Elección del sitio de instalación

La selección del lugar de instalación de la bomba de ariete es el aspecto más importante correspondiente al funcionamiento y configuración, debido a que la bomba debe adaptarse a las necesidades del sitio [17]. Para lo cual en la zona elegida se valoran ciertas características geográficas como son, la disponibilidad de agua y la topografía del terreno.

2.6.2 Caudal de suministro

Hace referencia a la cantidad de agua disponible de la fuente hídrica, el cual es un factor muy importante en el diseño, ya que influye en las características y funcionamiento de la bomba de ariete [18]. Hay que tomar en consideración el flujo

de agua disponible dependiendo de la estación, ya que en épocas de verano este disminuirá.

La determinación del caudal de una fuente hídrica va a depender de la cantidad que estas tengan, ya que lo puede determinar por diferentes modos los cuales se analizan la factibilidad de su aplicación.

Al utilizar en este proyecto el agua de un canal de riego el método más factible a utilizar es el volumétrico, el cual consiste en medir el tiempo de llenado de un recipiente, para tener una mayor exactitud de los datos la medición se la realiza 5 veces [19]. Los datos recopilados servirán para determinar el caudal de la siguiente manera:

$$Q_s = \frac{V_{ta}}{t_l} \quad (1)$$

Donde

Q_s: Caudal de suministro ($\frac{m^3}{s} o\ \frac{Lt}{s}$)

V_{ta}: Volumen del recipiente de medición ($m^3\ o\ Lt$)

t_l: Tiempo de llenado del recipiente (s)

Menciona [20] que el caudal de suministro es el que permitirá el accionamiento de la bomba, y lograr la altura de entrega deseada con un flujo de entrega determinado, al desperdiciar agua en la generación del golpe de ariete, pérdidas por fricción y accesorios el rendimiento varia de 20% al 90%.

2.6.3 Altura de descarga

Es la altura que se necesita elevar el agua, para lo cual de acuerdo con [21] podemos determinar la altitud por medio de la nivelación geométrica o por alturas en el que se utilizan técnicas de nivelación, también la nivelación trigonométrica o por pendientes en el que se utiliza la estación total, además se puede utilizar la nivelación barométrica en la que se utiliza el altímetro, adicionalmente se lo puede determinar por GPS (Sistema de posicionamiento Global).

El altímetro y GPS son los sistemas más precisos, pero su coste para adquirirlo y hasta de alquiler son altos, mientras que la nivelación trigonométrica también se utilizan equipos, pero siendo menos precisa que los anteriores, por último, la nivelación geométrica específicamente un método sencillo el consiste en determinar la longitud y el ángulo de inclinación para mediante expresiones trigonométricas determinar la altitud.

2.6.4 Altura de suministro

Menciona [20] la altura de suministro o abastecimiento es uno de los factores más importantes ya este influirá en alcanzar la altura de descarga deseada y el rendimiento de la bomba , por lo cual [22] recomienda que la relación entre la altura de descarga y abastecimiento no sea mayor a 12, ya que con valores mayores el rendimiento de la bomba será muy bajo, lo cual se evidencia en la siguiente tabla:

Tabla 4 *Rendimiento de acuerdo a la relación entre la altura de elevación y abastecimiento [22].*

h/H_s	2	3	4	6	8	10	12
n	0.85	0.81	0.76	0.67	0.57	0.43	0.23

De acuerdo a [23] es recomendable utilizar la siguiente relación, siempre y cuando la condiciones del lugar de instalación lo permita.

$$\frac{h}{H_s} = 4 \qquad (2)$$

Donde:

H_s: Altura de suministro (m)

h: Altura de descarga (m)

2.6.5 Longitud y diámetro de tubería de suministro

Según [20] es el elemento encargado de conducir el flujo de agua desde el suministro hacia el cuerpo de la bomba, además debe aumentar la energía cinética del fluido para generar el golpe de ariete y soportar los efectos de este fenómeno, para garantizar su resistencia es recomendable usar como material el acero galvanizado o inoxidable, para así también soportar los efectos de la corrosión.

El diámetro de la tubería influirá en la viscosidad y la fricción del agua sobre las paredes, lo cual al ser el diámetro muy pequeño produce una desaceleración en el fluido, influyendo en la eficiencia de la bomba [24]. La longitud influye en la producción del golpe de ariete, debido a que el volumen de expansión y contracción puede verse afectado al tener la fuerza necesaria para el correcto funcionamiento de la válvula de impulso, ya que si la longitud es poca la válvula tendrá un cierre rápido no se generará la suficiente presión, por el contrario, si la longitud es muy extensa abran más pérdidas por fricción, lo cual producirá desaceleración en el fluido [24].

El dimensionamiento del diámetro y longitud de la tubería de abastecimiento o impulsión influyen en funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico, por lo cual

para garantizar el correcto trabajo se debe cumplir la siguiente relación entre el diámetro(D) y la longitud (L) [24]:

$$150 \leq \frac{L_s}{D_{is}} \leq 1000 \qquad (3)$$

La longitud de la tubería la podremos hallar al utilizar la siguiente expresión trigonométrica:

$$L_s = \frac{h}{sen\,\theta_s} \qquad (4)$$

Donde:

L_s: Longitud de tubería de suministro(m)

θ_s: Ángulo de la inclinación del terreno para la tubería de suministro (°)

D_{is}: Diámetro interno de la tubería de suministro(m)

El ángulo θ se representa en la siguiente figura:

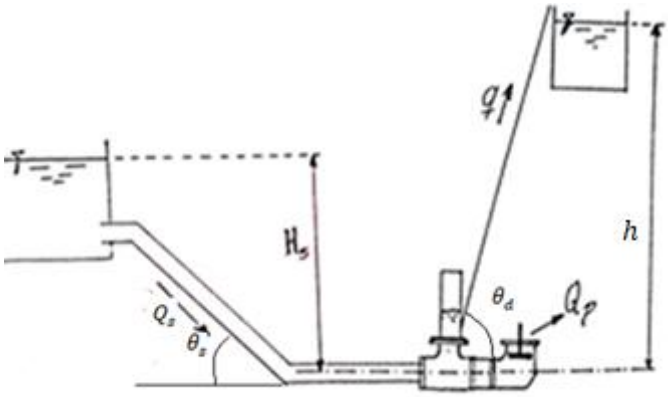


Figura 11 *Ángulo de inclinación de la tubería de abastecimiento y descarga [20].*

El diámetro se lo podrá hallar al remplazar el valor de la longitud y despejarlo de las relaciones antes mencionadas. Indica [25] que el diámetro de la tubería puede determinarse mediante la ecuación de Bondschú.

$$D_{is} = 1.27 * \frac{{Q_s}^{0.4268}}{(H_s+h)^{0.1423}} \qquad (5)$$

Además también [22] menciona que el diámetro de la tubería puede ser determinado por medio del caudal de alimentación, utilizando la siguiente tabla:

Tabla 5 *Diámetro de tubería de impulsión de acuerdo al caudal de impulsión [22].*

Qs(lt/min)	10	15	20	30	60	90	120	250	500	1000
∅(in)	0.5	0.75	1	1.25	1.5	2	2.5	3	5	8

2.6.6 Diámetro de la tubería de descarga

Esta tubería es la encargada de transportar el fluido desde la cámara de aire hacia el lugar deseado, se puede utilizar cualquier material siempre y cuando este soporte la presión del agua, además de que se debe garantizar que la tubería sea de paredes lisas para reducir pérdidas por fricción. Menciona [20] que para la determinación del diámetro se utilice la mitad del de la tubería de suministro.

$$d_{id} = \frac{D_{is}}{2} \quad (6)$$

Donde:

d_{id}: Diámetro interno de la tubería de descarga (mm)

2.6.7 Caudal de descarga

Es el caudal de agua que suministrará la bomba, este dependerá de varios factores como la altura de suministro, el diámetro y longitud de la tubería de impulsión, el caudal de impulso y las pérdidas por accesorios y por fricción, de acuerdo a [20] la expresión con la cual podemos determinar el caudal de entrega considerando los factores antes mencionados es la siguiente:

$$\frac{q*h}{H_s*{D_{is}}^2*v_c} = \frac{\pi*C_d}{10} \quad (7)$$

Al despejar la ecuación, obtenemos:

$$q = \frac{H_s*{D_{is}}^2*v_c*\pi*C_d}{10*h} \quad (8)$$

Donde:

q: Caudal de descarga ($\frac{m^3}{s}$)

v_c: Velocidad de cierre de la válvula de impulso ($\frac{m}{s}$)

C_d: Coeficiente de descarga

2.6.7.1 Velocidad de cierre de la válvula de impulso

Explica [20] que la velocidad de cierre de la válvula de impulso influye en el caudal de descarga y la eficiencia, dicha velocidad se determina por medio de la siguiente ecuación.

$$v_c = 0.135 * C_{vim} \quad (9)$$

Donde:

C_{vim}: Carrera de la válvula de impulso (mm)

2.6.7.2 Coeficiente de descarga

Manifiesta [20] que el coeficiente de descarga es un factor adimensional el cual analiza la relación entre el caudal transportado por la tubería y la raíz del doble de la gravedad y de la diferencia de altitudes, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Q_l = C_d\left(\sqrt{2 * g * H_s}\right) * A \quad (10)$$

Al despejar la anterior ecuación optemos:

$$C_d = \frac{Q_l}{\left(\sqrt{2 * H_s *}\right) * A} \quad (11)$$

Donde:

Q_l: Caudal libre ($\frac{m^3}{s}$)

g: Aceleración por Gravedad ($\frac{m}{s^2}$)

A: Área de salida del fluido (m^2)

2.6.7.3 Caudal libre

De acuerdo a [20] el caudal libre hace referencia al flujo de agua que transita por la tubería de suministro y el cuerpo de la bomba hacia la válvula de impulso, en la cual se considera que la válvula está totalmente abierta. Determinado este caudal por medio de la siguiente ecuación:

$$Q_l = v_2 * A_2 \quad (12)$$

Donde:

v_2: Velocidad a la salida del fluido en válvula de impulso($\frac{m}{s}$)

A_2: Área transversal de la válvula de impulso (m^2)

Para la determinación de la velocidad a la salida de la válvula de impulso se recurrirá a la utilización de la ecuación de la energía, la cual es la que se presenta a continuación:

$$\frac{P_1}{\gamma_{H2O}} + Z_1 + \frac{{v_1}^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma_{H2O}} + Z_2 + \frac{{v_2}^2}{2g} \quad (13)$$

Donde el punto 1 y 2 se pueden observar en la siguiente figura, siendo el punto 1 la entrada del fluido a la tubería de suministro y el punto 2 es en la salida de la válvula de impulso, en donde se la considera totalmente abierta.

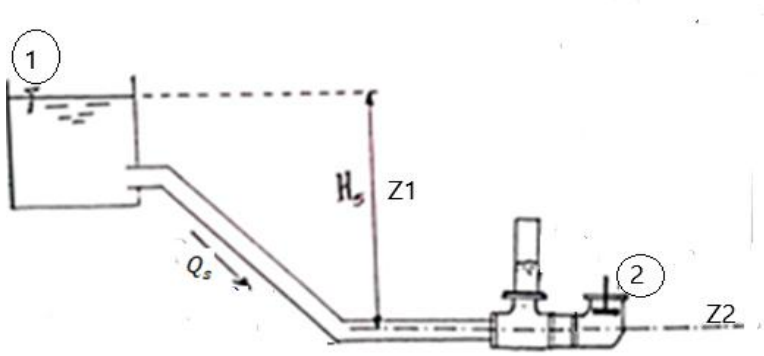


Figura 12 *Representación del punto 1 y 2 en la bomba de ariete.*

Donde:

P_1: Presión en el punto 1 (Pa)

γ_{H2O}: Peso específico del agua ($\frac{N}{m^3}$)

Z_1: Altura 1 sobre un nivel de referencia (m)

v_1: Velocidad en el punto 1 ($\frac{m}{s}$)

h_A: Energía adicionada por medio de un dispositivo mecánico (m)

h_R: Energía retirada por medio de un dispositivo mecánico (m)

h_L: Pérdidas de energía por fricción y accesorios (m)

P_2: Presión en el punto 2 (Pa)

Z_2: Altura 2 sobre un nivel de referencia (m)

v_2: Velocidad en el punto 2 ($\frac{m}{s}$)

2.6.7.3 Pérdidas por fricción

Son pérdidas de energía ocurridos en sistemas hidráulicos debido a la resistencia por fricción que ofrece un conducto al fluido, dichas pérdidas se determinan por medio de la siguiente ecuación:

$$h_l = f * \frac{L_s}{D_{is}} * \frac{{v_2}^2}{2g} \qquad (14)$$

Donde:

h_l: Pérdidas por fricción (m)

f: Factor de fricción

2.6.7.3 Pérdidas por accesorios

Son las pérdidas de energía producidas por alteraciones en el flujo, las cuales son generadas por accesorios como codos, válvulas, tees, expansiones o contracciones de

diámetro, los cuales generarán turbulencia en el flujo, estas pérdidas se determinan con la siguiente fórmula:

$$h_{lm} = k * \frac{{v_2}^2}{2g} \quad (15)$$

Donde:

h_{lm}: Pérdidas por accesorios (m)

k: Coeficiente de resistencia por accesorios

2.6.7.3 Factor de fricción

Es un parámetro usado para determinar las pérdidas de energía a causa de la fricción, la cual se representa con la siguiente expresión:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7*\left(\frac{D_{is}}{\epsilon}\right)} + \frac{5.74}{{N_R}^{0.9}}\right)\right]^2} \quad (16)$$

Donde:

ϵ: Rugosidad Absoluta

N_R: Numero de Reynolds

2.6.7.3 Número de Reynolds

Parámetro adimensional que permite identificar el régimen de un fluido, el cual se determina con la ecuación presentada a continuación:

$$N_R = \frac{v*D_{is}}{\nu} \quad (17)$$

Donde:

v: Velocidad del flujo ($\frac{m}{s}$)

ν: Viscosidad cinemática ($\frac{m^2}{s}$)

De acuerdo al número de Reynolds obtenido se determina en que régimen se encuentre el fujo, el cual se detalla a continuación:

$N_R < 2000$ Flujo laminar

$2000 < N_R < 4000$ Flujo transitorio

$N_R > 4000$ Flujo turbulento

2.6.8 Caudal desechado

Es el agua desperdiciada al producirse el golpe de ariete en la válvula de impulsión el cual se analiza con la ayuda de la siguiente ecuación:

$$Q_s = q + Q_p \quad (18)$$

Donde:

Qp: Caudal desechado

2.6.9 Válvula de impulsión

Su principal propósito es permitir que el flujo de agua inicial impulse el sistema y luego, al cerrarse, generar el golpe de ariete que crea la presión necesaria para bombear una parte del agua a un nivel superior. Para una correcta operación debe cumplir con ciertas características como: resistir el golpe de ariete, resistencia a la fatiga, evitar la resistencia del flujo y durabilidad [26].

2.6.9.1 Planteamiento de alternativas y tipos de válvulas de impulso

La válvula de impulso puede tomar diferentes características, por ende, a continuación, se analiza cuál de las diferentes alternativas es la más viable para este proyecto.

Alternativa 1.- Válvula de impulso de resorte.

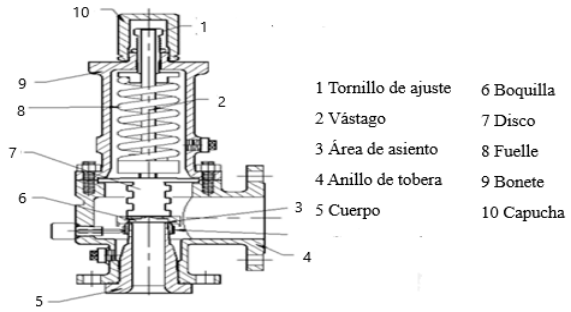


Figura 13 *Válvula de impulso de resorte [27].*

Menciona [26] las principales características de este tipo de válvula, la cual utiliza un resorte para la apertura y cierre. El resorte se comprime cuando el fluido transita y se libera la energía al cerrarse. Tiene como ventaja un mayor control en el tiempo de cierre, también se puede ajustar la tensión del resorte según las condiciones del flujo. Como desventaja se puede decir que requiere de mayor mantenimiento, con el tiempo el resorte tiende al desgaste y debilitarse.

Alternativa 2.- Válvula de impulso con peso.

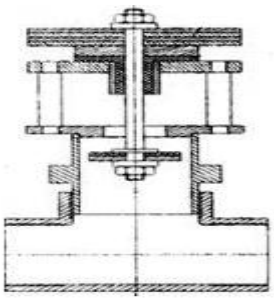


Figura 14 *Válvula de impulso de pesas [28].*

Este tipo de válvula tiene un peso que facilita el cierre, ocurre cuando el agua alcanza una cierta presión, el agua fluye y levanta la válvula, pero al alcanzar una cierta velocidad la válvula cae o se cierra debido al peso o gravedad, cerrándola rápidamente [28].

Dicha válvula es de simple manejo, no tiene piezas complejas y es fácil de mantener. Es ideal para sistemas con menor presión del agua [28].

Como desventaja el cierre de la válvula es lento, afectando la eficiencia. El peso debe ajustarse para que funcione de manera óptima según las condiciones del caudal [28].

Alternativa 3.- Válvula de impulso pie de pozo

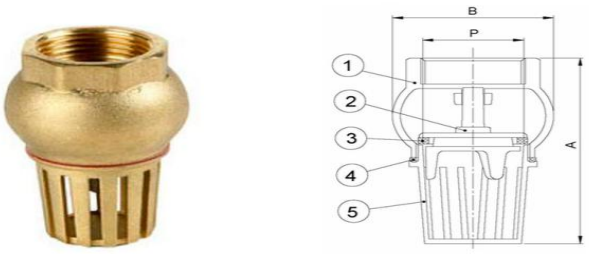


Figura 15 *Válvula de pie de pozo.[29].*

Es una de las válvulas más comunes utilizadas en las bombas de ariete, su principal función es que el líquido fluya hacia la bomba, también evita que el agua regrese hacia el depósito. Esto asegura que el tubo de succión permanezca lleno de agua lo que es fundamental para que el cebado y la operación eficiente de la bomba [30].

Como ventaja esta válvula mantiene el cebado de la bomba lo que elimina la necesidad de estar cebando la bomba cada que se ponga en marcha, permitiendo un arranque rápido y eficiente [30].

Como desventaja requiere de una limpieza constante ya que se puede llenar de impurezas, por eso es necesario incorporar una rejilla o filtro [30].

Alternativa 4.- Válvula de impulso de pistón.

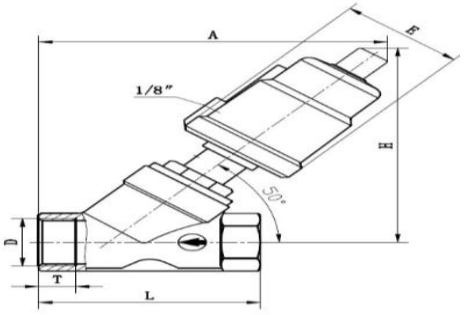


Figura 16 *Válvula de impulso de pistón [31].*

La válvula tiene un pistón que es empujando con el flujo del agua y luego cae bruscamente al cerrarse, empujando el fluido hacia la válvula de retención [28].

Como ventaja el pistón ayuda a un cierre rápido ocasionando un mayor golpe de ariete y mejorando así la eficiencia de la bomba [28]. Mientras que como dificultad, la válvula requiere de un mantenimiento frecuente y el diseño es más complejo [28].

2.6.9.2 Criterios de valoración para el planteamiento de alternativas.

Los criterios de valoración que se consideran son los más importantes en el diseño de la válvula de impulso.

a) **Sensibilidad**. Este criterio se toma en cuenta ya que depende de la sensibilidad para que el golpe de ariete sea eficiente o deficiente.

b) Regulación. Se toma este criterio ya que depende de la regulación para que el caudal aumente.

c) Eficiencia. Es un punto muy importante para tomar ya que la eficiencia de la válvula es la que tendrá la bomba.

d) **Montaje.** Fácil montaje evita pérdidas de tiempo.

e) Construcción. La construcción es muy esencial ya que se espera procesos de manufactura fácil y eficientes.

f) Costo. El costo es muy importante porque si hay averías o con el tiempo hay que reemplazar se podría realizar nuevamente.

Para evaluar los criterios y las alternativas se va a tomar una escala del 1 al 5, siento 1 la calificación más baja y 5 la más alta.

Tabla 6 *Evaluación de alternativas de válvulas de impulso vs criterios ponderados*.

Criterio Ponderado vs Alternativas	Sensibilidad	Regulación	Eficiencia	Montaje	Construcción	Costo	TOTAL
Alternativa 1	5	5	5	4	4	4	27
Alternativa 2	3	3	3	4	4	5	22
Alternativa 3	5	3	5	5	4	3	25
Alternativa 4	5	4	4	2	4	2	21

La mejor opción para la válvula de impulso es la de resorte, ya que responde rápidamente y cierra herméticamente. También es de fácil construcción y de costo

bajo, un punto a favor que si el resorte se desgasta o fractura puede ser remplazado con facilidad.

2.6.9.3 Parámetros de diseño de la válvula de impulso

Menciona [20] la realización de los parámetros de diseño de la válvula de impulso debemos considerar:

- La válvula no debe presentar fujas una vez cerrada, debe tener un sello hermético para que el golpe de ariete sea eficiente.
- El material debe ser resistente a la fatiga y a la corrosión.
- Debe presentar la holgura necesaria para que la apertura y cierre sea eficiente.

Diámetro de disco o base de la válvula

De acuerdo a [20] el diámetro de la base de la válvula por lo menos debe ser igual al diámetro de la tubería de impulso.

Diámetro del orificio del asiento de la válvula

Según [20] diámetro del asiento de la válvula esta expresada por la siguiente ecuación:

$$d_v = (1.15 - 1.25) * d_o \quad (19)$$

Donde:

$d_o =$ Diámetro del orificio del asiento de la válvula(mm)

$d_v =$Diametro de la base de la válvula(mm)

Espesor de la base de la válvula

Indica [20] para saber el espesor de la base de la válvula se debe usar la siguiente ecuación:

$$e_{vim} = 0.14 * d_o \quad (20)$$

$e_{vim} =$ Espesor de la base de la válvula (mm)

Diámetro del vástago

Según [20] el diámetro del vástago se debe calcular mediante la siguiente ecuación:

$$d_{va} = 0.12 * d_o + 10 \quad (21)$$

$d_{va} =$ Diámetro del vástago (mm).

Longitud del vástago

Menciona [28] que el vástago debe tener la longitud apropiada para facilitar la variación de la carrera, además se debe considerar la altura de la válvula con el resto de sus componentes.

Carrera de la válvula de impulso

Indica [20] qué para las válvulas de impulso de asiento plano la carrera queda limitada al (25-30%) del diámetro de la válvula, la cual se determina utilizando la siguiente expresión:

$$C_{vim} = (25 - 30\%) * d_v \quad (22)$$

Resorte

Explica [28] que el resorte se encuentra en el vástago, alojado entre la base de la válvula y la bancada de esta, la fuerza está directamente proporcional con la constante elástica. El resorte permite que se habrá y cierra la válvula únicamente con la fuerza elástica, para que el resorte sea el adecuado hay que tomar en cuenta las características del fluido.

Fuerza de arrastre

Describe [20] que es la fuerza que se genera cuando el fluido es acelerado lo suficiente obstruye la válvula, esto permite que se origine una fuerza de arrastre que cierra la válvula, la fuerza de arrastre tiene la siguiente expresión:

$$F_a = C_a * A_{cu} * \rho_{H2O} * {v_{cu}}^2 \quad (23)$$

Donde:

$F_a =$ Fuerza de arrastre de la válvula (Kgf)

$C_a =$ Coeficiente de arrastre.

$A_{cu} =$ Área del cuerpo de la bomba (m^2)

$v_{cu} =$ Velocidad del fluido en el cuerpo de ariete $(\frac{m}{s})$

Para poder determinar la constante elástica del resorte recurrimos a la siguiente ecuación:

$$Fa = K * C_{vim} \quad (24)$$

Al despejas la constante elástica del resorte obtenernos:

$$K = \frac{Fa}{C_{vim}} \quad (25)$$

Donde:

K: Constante elástica del resorte $(\frac{N}{mm})$

C_{vim}: Carrera de la válvula de impulso(mm)

ρ_{H2O} = Densidad del agua $(\frac{kg}{m^3})$

2.6.10 Válvula de descarga

2.6.10.1 Planteamiento de alternativas y tipos de Válvulas de descarga.

La válvula de descarga puede tomar diferentes características, por ende, a continuación, se analiza cuál de las diferentes alternativas es la más viable para este proyecto.

Alternativa 1.- Válvula de columpio (oscilante).

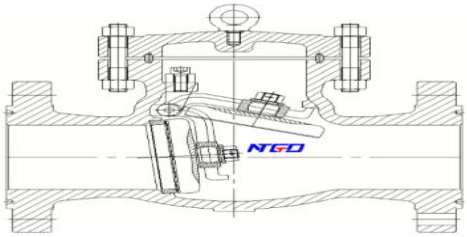


Figura 17 *Válvula de columpio u oscilante [32].*

La válvula tiene un pistón que es empujando con el flujo del agua y luego cae bruscamente cerrando la válvula, al cerrarse genera presión en la cámara de aire la cual permite la elevación del agua [28].

Como ventaja el pistón ayuda a un cierre rápido mejorando la eficiencia de la bomba [28]. La principal desventaja de la válvula es que requiere de un mantenimiento frecuente y el diseño es más complejo [28].

Alternativa 2.- Válvula de retención de bola.

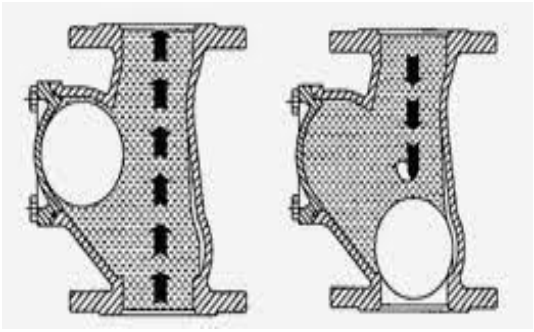


Figura 18 *Válvula de retención de bola [33] .*

Utiliza una bola de metal o de plástico que se mueve hacia arriba y abajo en una carcasa, la bola se desplaza cuando el agua fluye y retrocede cuando el flujo de detiene,

permitiendo que cuando se cierre la válvula se genere presión en la cámara de aire permitiendo ocasionar presión para que se pueda elevar el agua [34]. Como ventaja tiene un cierre rápido y efectivo, lo que hace ideal para sistemas donde se necesite una respuesta rápida. Como desventaja tiende a desgastarse si el agua contiene salimientos o químicos, además de que requiere de mayor presión de agua [34].

Alternativa 3.- Válvula de retención de disco

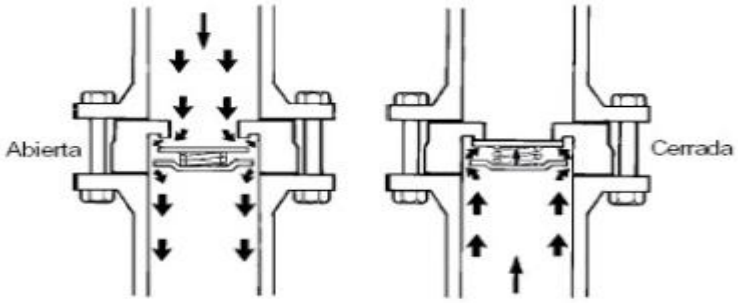


Figura 19 *Válvula de retención de disco [35].*

Tiene un disco que se mueve hacia arriba y abajo en una guía, el disco se mueve hacia arriba cuando el agua fluye y cae cuando el agua se detiene, bloqueando el retorno del fluido [36].

La ventaja de esta válvula que es ideal para flujos constantes y resiste a daños de residuos [36]. Mientras que la desventaja es que requiere un mantenimiento regular ya que puede ser sensible a partículas en el agua [36].

Alternativa 4.- Válvula de retención de resorte.

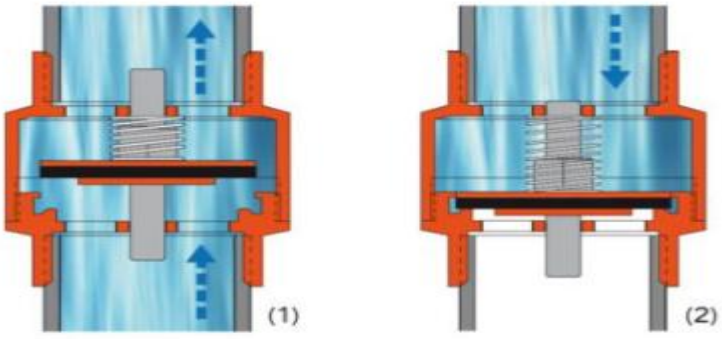


Figura 20 *Válvula de retención de resorte [37].*

Esta válvula usa un resorte el cual se mantiene cerrado cuando no hay flujo de agua, cuando el agua transita en la dirección correcta el resorte se comprime y abre la válvula permitiendo ingresar el agua, una vez que el fluido se detiene la válvula se cierra,

ocasionando presión en la cámara de aire permitiendo elevar el agua hacia el tanque de descarga. [28].

Como ventaja esta válvula es de cierre rápido y hermético, ideal para bombas de ariete donde los cambios de flujo son rápidos, una desventaja es que el resorte puede desgastarse con el tiempo, requiriendo un remplazo de este [28].

2.6.10.2 Criterios de valoración para el planteamiento de alternativas.

Los criterios de valoración que se consideran son los más importantes en el diseño de la válvula de impulso.

a) Sensibilidad. Este criterio se toma en cuenta ya que depende de la sensibilidad para que el golpe de ariete sea eficiente o deficiente.

b) Fiabilidad. Se toma este criterio ya que depende de la regulación para que el caudal aumente.

c) Robustes. Dependiendo de la válvula

d) Construcción. La construcción es muy esencial ya que se espera procesos de manufactura fácil y eficientes.

e) Costo. El costo es muy importante porque si hay averías o con el tiempo hay que reemplazar se podría realizar nuevamente.

Para evaluar los criterios y las alternativas se va a tomar una escala del 1 al 5, siento 1 la calificación más baja y 5 la más alta.

Tabla 7 *Evaluación de alternativas de válvulas de retención vs criterios ponderados válvula de descarga*

Criterio Ponderado vs Alternativas	Sensibilidad	Regulación	Eficiencia	Construcción	Costo	TOTAL
Alternativa 1	5	4	5	4	4	22
Alternativa 2	3	4	3	3	4	17
Alternativa 3	3	3	3	3	4	16
Alternativa 4	4	4	4	3	2	17

La mejor opción para la válvula de retención es la de columpio (oscilante), debido a su capacidad de respuesta rápida al golpe de ariete. Además, ofrece un cierre más eficiente, lo que hace fundamental para aprovechar al máximo la energía del agua.

2.6.10.2 Parámetros para la selección de la válvula de descarga

La válvula de descarga será adquirida por lo que debemos tomar en cuanta varios parámetros para su selección, los cuales son:

- Diámetro de la tubería de descarga
- Fuerza de cierre
- Material
- Frecuencia de operación
- Tiempo de cierre de la válvula.

2.6.11 Cámara de aire

Según [20] es el componente encargado de generar la sobrepresión y depresión, la primera permitirá aumentar la presión del agua al ingresar por la válvula de descarga, comprimiendo el aire presente en la cámara, la fase de depresión ocurre cuando el aire se expande, entregando la caudal descarga.

Para el correcto funcionamiento de este componente siempre deberá existir la presencia de aire, ya que si la cámara se llenará completamente de agua esta fallaría por efectos de que no existiría la depresión, por ello es necesario estimar las dimensiones y características.

De acuerdo a [28] el volumen de la cámara de aire o campana debe estar entre 20 a 50 veces del volumen entregado por cada ciclo, además de que recomienda que la salida para la tubería de entrega se ubique en la parte inferior.

Menciona [28] que se asume que la compresión ocurrida en la cámara de aire es politrópica, la cual se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$P_1 * {V_1}^n = P_2 * {V_2}^n \qquad (26)$$

Donde:

n: Índice politrópico.

P_1: Presión inicial (Pa)

V_1: Volumen inicial (m^3)

P_2: Presión final (Pa)

V_2: Volumen final (m^3)

Además también [28] indica que se asume una compresión isotérmica ya que al inicio la cámara de aire trabaja a presión atmosférica por lo cual n=1 y al ponerse en funcionamiento la presión será por la altura de entrega más la altura por pérdidas, por ello la anterior ecuación nos quedaría de la siguiente manera:

$$P_{atm} * V_c = P_{et} * V_1$$

Donde:

P_{atm}: Presión atmosférica (Pa)

P_{et}: Presión de la altura de entrega (Pa)

La presión atmosférica y de altura de entrega la podemos determinar por medio de la siguiente expresión:

$$P_{atm} = \gamma_a(10.33\ m)$$

$$P_{et} = \gamma_a(h + h_r)$$

Al despejar V_1 y remplazar P_{atm} y P_{et} en la primera ecuación obtenemos:

$$V_1 = \frac{10.33}{h + h_r} * V_c$$

Adicionando la sobrepresión generada por el caudal por ciclo se obtiene lo siguiente:

$$(h + h_r)(1 + x)(V_1 - Q_c) = (h + h_r) * V_1$$

Donde x es un factor de aumento de presión el cual permite el bombeo del agua, que se determina de la siguiente manera:

$$x = \frac{h}{h+h_r} \qquad (27)$$

Remplazando valores obtenemos, la expresión para obtener la longitud de la cámara de aire:

$$V_c = \frac{(1 + x) * Q_c * (h + h_r)}{10.33x}$$

$$A_c * L_c = \frac{(1 + x) * Q_c * (h + h_r)}{10.33x}$$

$$L_c = \frac{\frac{(1 + x) * Q_c * (h + h_r)}{10.33x}}{A_c}$$

$$L_c = \frac{\frac{(1+x)*Q_c*(h+h_r)}{10.33x}}{\frac{\pi*{D_{ci}}^2}{4}} \qquad (28)$$

Donde:

x: Factor de aumento de presión

L_c: Longitud de la cámara de aire (m)

V_c: Volumen de la cámara de aire (m^3)

D_{ci}: Diámetro interno de la cámara de aire (m)

Q_c: Caudal bombeado por ciclo ($\frac{m^3}{ciclo}$)

h_r: Pérdida de carga en el período de retardación

γ_a: Peso específico del aire ($\frac{N}{m^3}$)

A_c: Área de la cámara de aire (m^2)

2.6.11.1 Pérdida de carga en el período de retardación

De acuerdo con [27] las pérdidas producidas en el periodo de bombeo o retardación son las producen una desaceleración en el agua que circula en la tubería de suministro, donde dichas pérdidas se determinan por medio de la siguiente ecuación:

$$h_r = 5.64(1 - \frac{h}{h_{max}}) \quad (29)$$

Donde:

h_{max}: Altura máxima alcanzada por la subida de presión por el golpe de ariete (m)

2.6.11.2 Altura máxima alcanzada por la subida de presión por el golpe de ariete

Al generarse un aumento de presión al producirse el golpe de ariete, esta presión permitirá aprovecharse para elevar un fluido, donde menciona [24] que la altura máxima que se puede alcanzar se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$h_{max} = v_i \frac{c}{g} \quad (30)$$

Donde:

v_i: Velocidad necesaria para el cierre de la válvula de impulso ($\frac{m}{s}$)

c: Velocidad de propagación de onda de presión ($\frac{m}{s}$)

2.6.11.3 Velocidad necesaria para el cierre de la válvula de impulso

Según [24] la velocidad necesaria que debe tener el agua en la tubería de suministro para poder cerrar la válvula de impulso, se determinara por medio de la siguiente ecuación:

$$v_i = 0.5 * \sqrt{\frac{2*g*H_s}{H_r}} \quad (31)$$

Donde:

H_r: Perdidas de carga en la tubería de suministro

2.6.11.4 Pérdidas de carga en la tubería de suministro

Menciona [24] las pérdidas de carga total en la tubería de impulsión se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$H_r = 1 + f \frac{L_s}{D_{is}} + \sum k \quad (32)$$

2.6.11.5 Velocidad de propagación de onda de presión

Es la velocidad de la onda de presión que se traslada por un fluido contenido en una tubería, la cual es producida por el golpe de ariete, y de acuerdo con [24] se determina utilizando la siguiente expresión:

$$c = \frac{\sqrt{\frac{E0}{\rho_{H2O}}}}{\sqrt{1+\frac{E0*D_{iS}}{E*e}}} \quad (33)$$

Donde:

$E0$: Módulo de elasticidad del fluido (Pa)

E: Módulo de elasticidad del material de la tubería (Pa)

D_{is}: Diámetro interno de la tubería de suministro (m)

e: Espesor de la tubería (m)

2.6.11.6 Caudal bombeado por ciclo

De acuerdo a [25] el volumen de agua que será descargado por el ciclo del golpe de ariete se determina por medio de la siguiente expresión:

$$Q_c = \frac{q}{T} \quad (34)$$

Donde:

T: Es el período del ciclo del golpe de ariete (s)

2.6.11.7 Período del ciclo del golpe de ariete

Menciona [25] que el ciclo del ariete está determinado por el período el cual es el tiempo en el que todo es igual al tiempo 0, el cual es donde la válvula de impulso se cerrara de forma instantánea, por lo cual la velocidad del fluido es anulada aunque no de forma instantánea en toda la tubería. Este período se determina por medio de la siguiente expresión:

$$T = 4\frac{L_S}{c} \quad (35)$$

2.6.11 Cuerpo de la bomba

Menciona [38] que el cuerpo de la bomba es el componente donde se produce las ondas de presión a causa del golpe de ariete, además es donde se ubican las válvulas de impulso y descarga, la cámara de aire, por ello el cuerpo de la bomba debe ser hecho de materiales resistentes a la corrosión y a las presiones generadas, por lo que se recomienda utilizar acero inoxidable o galvanizado para su construcción.

Además, también [38] menciona que el cuerpo de una bomba de ariete generalmente está conformado por una válvula de bola, una T y un codo los cuales son unidos mediante soldadura, uniones roscadas y bridas.



Figura 21 *Cuerpo de la bomba de ariete hidráulico[38].*

De acuerdo a [25] el diámetro del cuerpo de la bomba tendrá relación con el diámetro de la tubería de impulso, buscando reducir pérdidas menores por expansión o contracción entre la tubería de impulso y el cuerpo de la bomba.

2.6.12 Modelos matemáticos del ariete hidráulico

Como menciona [39] existen diferentes estudios que analizan el comportamiento del ariete hidráulico, donde se halla diferentes modelos matemáticos que sobresalen, los cuales se basan en las siguientes hipótesis:

Hipótesis de los modelos matemáticos

De acuerdo con [39] los modelos matemáticos se rigen por las siguientes hipótesis:

1. Se considera un fujo unidimensional por la longitud de la tubería de impulsión.
2. Las pérdidas de carga son determinados de forma experimental al considerar flujo estacionario, utilizándolos en el modelo durante el flujo.
3. No se cuantifica la presencia de la cámara de aire y válvula de descarga.
4. Se considera que las válvulas se cierran de manera inmediata.
5. La velocidad del flujo y variaciones de presiones se consideran en el sistema.

Los modelos matemáticos más trascendentes son los siguientes:

2.6.12.1 Modelo de Iversen

Este estudio considera que la válvula de impulso como elemento que genera pérdidas de carga y la separación del ciclo en dos etapas, las cuales son:

1. Al estar abierta la válvula genera aceleración o impulsión
2. Al estar cerrada la válvula genera desaceleración o bombeo.

2.6.12.2 Modelo de Lansford y Dugan

Este análisis fórmula alcanzar una relación entre la velocidad del agua en la tubería de impulsión respecto al tiempo, en cada uno de los periodos que divide este modelo,

siendo un total de 6 periodos, siendo la finalidad de estas relaciones el determinar la cantidad de agua bombeada, desperdiciada y el tiempo del ciclo de operación.

2.6.12.3 Modelo de Schiller

Es un modelo que se basa en el de Iversen, el cual mejora la precisión de los datos encontrados, pero planteando que las pérdidas de carga producidas en el período de bombeo se pueden determinar por medio de la siguiente expresión.

$$h_r = c_r(1 - \frac{h}{h_{max}}) \quad (36)$$

Donde:

c_r: Coeficiente experimental de pérdidas de carga en el período de bombeo

2.6.12.4 Modelo de Krol

Es el modelo matemático más desarrollado, ya que presenta una asociación muy buena entre lo teórico y lo experimental, por ellos es muy utilizado. Este utiliza las ecuaciones del modelo de Schiller, donde el ciclo hidráulico está dividido en siete periodos, en los que se aplican leyes de la física.

Menciona [28] que el modelo de Krol se fundamenta a partir de dos ecuaciones, las cuales son aplicadas en todos los periodos del ciclo hidráulico de operación del ariete ,al integrarlas entre límites particulares de cada uno de los periodos. Dichas ecuaciones son:

- Ecuación de Movimiento

$$H_s - \left[1 + \sum k + 4f * (\frac{L_s}{D_{is}})\right] * \frac{v^2}{2*g} = \frac{L_s}{g}\frac{dv}{dt} \quad (37)$$

- Ecuación del golpe de ariete

$$\Delta H = -\Delta v * \frac{c}{g} \quad (38)$$

Donde:

ΔH: Cambio de altura piezométrica (m)

Δv: Cambio de velocidad del fluido (m/s)

Este análisis presenta un error de alrededor de un 15% entre la teoría y lo experimental, donde las variables que se pueden modificar son las siguientes:

- La altura de descarga.
- La carrera de la válvula de impulso.
- El peso de la válvula de impulso.
- El tipo de válvula de servicio.

- El volumen de la cámara de aire.

Ciclo Hidráulico de operación del ariete

Período 1: Es el período con el que inicia el ciclo, al estar abierta la válvula de impulso por causa del retroceso que se genera en el período 7, lo que produce una presión negativa que se dirige a la tubería de impulsión.

A este período también se lo conoce como aceleración, debido que el agua se desperdicia hasta alcanzar la energía cinética necesaria para poder cerrar la válvula de impulso.

Otro factor a considerar es que el cuerpo de aire se encuentra a presión atmosférica y que el agua en la tubería se encuentra en reposo, el cual será alterado por la carga generada por el flujo de agua que alimenta a la tubería. La válvula de descarga en este período estará cerrada a causa de la carga que aplica, ocasionada de la cantidad de aire que se almacena en la cámara, lo cual genera succión. El período al entrar en contacto el agua con la válvula de impulso.

Al realizar las integraciones y análisis de las ecuaciones fundamentales de este modelo matemático se obtienen las siguientes ecuaciones para este período.

$$v_1 = \sqrt{\frac{2*g*H_s*y}{L_s}} \quad (39)$$

$$t_1 = \sqrt{\frac{2*L_s*y}{g*H_s}} \quad (40)$$

Donde:

y : Distancia debido al retroceso del agua (m)

v_1: Velocidad en la tubería de impulsión en el período 1(m/s)

t_1: tiempo del período 1 del ciclo de operación (s)

Menciona [24] que la distancia por el retroceso del agua se lo determina por medio de la siguiente ecuación:

$$y = \frac{(h+h_r)^2*L_s*g}{2*H_s*c^2} \quad (41)$$

Período 2: En este período la válvula de impulso todavía se encuentra abierta y el agua continua en aceleración, al aumentar la velocidad aumentará la fuerza de arrastre lo cual permitirá el cierre de la válvula, donde dicha velocidad se determina por medio de la siguiente ecuación.

$$v_2 = \sqrt{\frac{W*g}{\phi_s*A_t*\gamma_{H2O}}} \quad (42)$$

Donde:

W: Peso de la válvula de impulso (Kg)

v_2: Velocidad en la tubería de suministro en el período 2(m/s)

ϕ_s: Coeficiente de arrastre de la válvula de impulso

A_t: Área de la válvula de impulso (m^2)

γ_{H2O}: Peso específico del agua ($\frac{N}{m^3}$)

$$\phi_s = \frac{0.345-0.255*C_{vim}+10^{(0.52-6.85*C_{vim})}}{C_{vim}} \quad (43)$$

También la velocidad de cierre de la válvula de impulso se podrá determinar por medio de la siguiente ecuación:

$$v_2 = (0.3 - 0.5) * \sqrt{\frac{2*g*H_s}{H_r}} \quad (44)$$

$$t_2 = \frac{L_s}{\sqrt{2*g*H_s}} * Ln\left(\frac{\left(1+\sqrt{\frac{W*H_r}{2*A_t*H_s*\gamma_{H2O}*k_o}}\right)\left(1-\sqrt{\frac{y*H_r}{L_s}}\right)}{\left(1-\sqrt{\frac{W*H_r}{2*A_t*H_s*\gamma_{H2O}*k_o}}\right)\left(1+\sqrt{\frac{y*H_r}{L_s}}\right)}\right) \quad (45)$$

Donde:

k_o: Coeficiente de resistencia de cierre de válvula de impulso

t_2: tiempo del período 1 del ciclo de operación (s)

Coeficiente de resistencia de cierre de válvula de impulso

Según [24] la expresión que determina este coeficiente es la siguiente:

$$k_o = \frac{W*g}{A_t*\gamma_{H2O}*{v_i}^2} \quad (46)$$

Peso de la válvula de impulso

Según [24] el peso total de la válvula de impulso será la sumatoria de los pesos de pie de válvula, vástago y tuercas de sujeción.

Donde el peso de la base de la válvula se determina por medio de la siguiente expresión:

$$W_b = \frac{\gamma_b*\pi*({d_v}^2-{d_{va}}^2)*e_{vim}}{4} \quad (47)$$

Donde:

W_b: Peso de la base de la válvula de impulso (Kg)

e_{vim}: Espesor de la base de la válvula de impulso (m)

γ_b: Peso específico del material de la válvula de impulso ($\frac{N}{m^3}$)

El peso del vástago se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$W_{v=} \frac{\gamma_v * \pi * {d_{va}}^2 * L_v}{4} \quad (48)$$

Donde:

L_v: Longitud del vástago (m)

γ_v: Peso específico del material del vástago ($\frac{N}{m^3}$)

Período 3: La velocidad del agua genera que la fuerza en el interior de la válvula de impulso en mayor que el peso, por lo cual la válvula de impulso se empieza a cerrar y el período finaliza cuando se cierra finalmente la válvula. Realizar este análisis resulta complicado ya que la válvula de impulso se encuentra en movimiento. Para este período se utilizan las siguientes ecuaciones.

$$v_3 = v_2 \quad (49)$$

$$t_3 = \sqrt[3]{\frac{3 * L_s * C_{vim} * v_2}{2 * g^2 * H_s * (1 - \frac{W * M}{{Y_1}^2})}} \quad (50)$$

$$Y_1 = \sqrt{2 * \phi_s * A_t * H_s * \gamma_{H2O}} \quad (51)$$

$$M = 1 + \sum k + 4 * f * \left(\frac{L_s}{D_{is}}\right) + R_s \quad (52)$$

$$R_s = \frac{2.43 - 1.06 * C_{vim} + 10^{(0.95 - 13.3 * C_{vim})}}{C_{vim}} \quad (53)$$

Donde:

t_3: Tiempo del período 3 del ciclo de operación (s)

v_2: Velocidad en la tubería de impulsión en el periodo 2 ($\frac{m}{s}$)

Y_1: Coeficiente de corrección

M: Coeficiente de pérdidas agrupado

R_s: Coeficiente de pérdidas en la válvula de impulso

Período 4: La válvula de impulso ya se encuentra cerrada en su totalidad, lo que genera el golpe de ariete el cual generará una sobrepresión que permitirá que la válvula de descarga se abra, simultáneamente la velocidad en a la tubería de impulso disminuye proporcionalmente a la cabeza de presión $(h + hr)$ generada en exceso por la altura de suministro. Este período es muy corto y se lo determina mediate la utilización de las siguientes ecuaciones.

$$t_4 = \frac{2 * L_s}{c} \quad (54)$$

$$v_4 = v_3 - (h + h_r) * \frac{g}{c} \quad (55)$$

Período 5: La válvula de descarga se encuentra abierta en su totalidad, por ende, el agua se descarga en la cámara de aire a una velocidad, en donde se aprovecha la energía de la cámara para poder bombear un caudal determinado, para superar la carga $(h + h_r)$ que iguala a la energía cinética producida al finalizar los periodos 3 y 4 pero menorando la energía consumida, al comprimir el agua y la dilatación de las paredes de la tubería. De tal manera para este período se utilizan las siguientes ecuaciones.

$$v_5 = 0 \quad (56)$$

$$t_5 = \frac{L_s}{(h+h_r)*g} * \left(\sqrt{\frac{W*g}{A_t*\gamma_{H2O}*k_o}} - \frac{(h+h_r)*g}{c}\right. \quad (57)$$

Período 6: Al final del período 5 el agua no se moverá, por lo que la energía para bombear es consumida, la válvula de descarga se cerrará, lo que ocasionará que la válvula de impulso empiece a abrirse. De tal manera para este período se utilizan las siguientes ecuaciones.

$$t_6 = \frac{2*L_s}{c} \quad (58)$$

$$v_6 = -\frac{(h+h_r)*g}{c} \quad (59)$$

Período 7: Al finalizar el período 6 se tendrá una velocidad negativa en la tubería de impulso, por lo cual la válvula de impulso se abre bajo por acción de un resorte y la diferencia de presión generada por el retroceso del agua. De tal manera para este período se utilizan las siguientes ecuaciones.

$$v_7 = 0 \quad (60)$$

$$t_7 = \frac{L_s * (h + h_r)}{H_s * c} \quad (61)$$

Siendo el tiempo total del ciclo la suma de todos los periodos

La eficiencia del sistema se determina por medio de la ecuación:

$$n = \frac{q*h}{Q_s*H_s} \quad (62)$$

2.6. 13 Análisis de esfuerzos

2.6. 13.1 Análisis de esfuerzos del Cuerpo de la bomba

El cuerpo de la bomba de ariete estará sometido a esfuerzos causados por el golpe de ariete, por ello es necesario realizar un análisis de esfuerzos, para verificar que los materiales elegidos los soporten.

Carga total en el cuerpo de la bomba

Para determinar la carga máxima como mínima se utilizan las siguientes ecuaciones: expresiones:

$$H_{max} = H_s + P \quad (63)$$

$$H_{min} = P - H_s \quad (64)$$

Donde:

P: Sobrepresión (m)

H_{max}: Carga Máxima (m)

H_{min}: Carga Mínima (m)

La sobrepresión se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$P = \frac{c* \ v_{cu}}{g} \quad (65)$$

Donde:

v_{cu}: Velocidad en el cuerpo de la bomba ($\frac{m}{s}$)

Presión máxima y mínima en el cuerpo de ariete

Para determinar estas presiones utilizamos las siguientes ecuaciones:

$$P_{max} = \gamma_{H2O} * H_{max} \quad (66)$$

$$P_{min} = \gamma_{H2O} * H_{min} \quad (67)$$

Donde:

P_{max}: Presión Máxima (MPa)

P_{min}: Presión Mínima (MPa)

Esfuerzos máximos y mínimos

Para determinar los esfuerzos máximos y mínimos a partir de la ecuación de esfuerzos tangenciales, para lo cual utilizamos las siguientes expresiones matemáticas:

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}*D_{is}}{2*e} \quad (68)$$

$$\sigma_{min} = \frac{P_{min}*D_{is}}{2*e} \quad (69)$$

Donde:

σ_{max}: Esfuerzo Máximo (MPa)

σ_{min}: Esfuerzo Mínimo (MPa)

Obtenidos los esfuerzos analizamos el factor de seguridad mediante la teoría de la distorsión para materiales dúctiles, por ello utilizaremos, las siguientes ecuaciones:

$$\sigma' = \sqrt{{\sigma_A}^2 - \sigma_A * \sigma_B - {\sigma_B}^2} \quad (70)$$

$$n = \frac{Sy}{\sigma'} \quad (71)$$

Donde:

n: Factor de seguridad

Sy: Resistencia a la fluencia del material (MPa)

σ': Esfuerzo de Von Mises (MPa)

La bomba de ariete al estar sometida a cargas cíclicas, por lo que se deberá evaluar que la tubería no falle por fatiga, para lo cual utilizamos las siguientes ecuaciones:

$$Se = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * Se' \quad (72)$$

Donde:

Se: Límite de resistencia a la fatiga en una ubicación critica.

Se': Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

k_a: Factor de modificación por condición superficial.

k_b: Factor de modificación por tamaño.

k_c: Factor de modificación por la carga.

k_d: Factor de modificación por la temperatura

k_e: Factor de confiablidad.

k_f: Factor de modificación por efectos varios.

El límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Se' = 0.5 * Sut \quad (73)$$

Donde:

Sut: Resistencia a la tracción del material (MPa)

El factor de modificación por condición superficial se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$k_a = a * Sut^b \quad (74)$$

Donde:

$a\ y\ b$: Constantes empíricas

Para determinar el factor de modificación por tamaño, al considerar que las cargas por flexión y torsión no son significativas.

$$k_b = 1$$

En el cuerpo de la bomba existen cargas axiales, aunque mínimas, se considera un Factor de modificación por la carga.

$$k_c = 0.85$$

Al considerar la temperatura de trabajo la de ambiente el Factor de modificación por la temperatura será:

$$k_d = 1$$

Al considerar una confiabilidad de 50% el Factor de confiabilidad será:

$$k_e = 1$$

El factor de modificación por efectos varios será:

$$k_f = 1$$

Para determinar el límite de resistencia a la fatiga utilizamos la ecuación del diagrama de Goodman modificado, la cual es:

$$\frac{\sigma_a}{Se} + \frac{\sigma_m}{Sy} = \frac{1}{n} \quad (75)$$

Donde:

σ_a: Esfuerzo Alterante (MPa)

σ_m: Esfuerzo Medio (MPa)

El esfuerzo alternante se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (76)$$

El esfuerzo medio se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (77)$$

2.6. 13.2 Análisis de esfuerzos de la Cámara de aire

La cámara de aire se encuentra sometido a cargas producidas por una presión, por ello es necesario analizar si el componente soportara estas cargas.

Presión antes del choque hidráulico

La presión en la cámara de aire antes de que se produzca el golpe de ariete se determina con la siguiente ecuación:

$$P_{ic} = P_{atm} + \gamma_{H2O} * P \quad (78)$$

Donde:

P_{ic}: Presion antes del choque hidráulico (MPa)

El volumen inicial de la cámara de aire se lo determina a partir de la siguiente expresión:

$$V_{ic} = V_c - V_{H2O} \quad (79)$$

En el que se consideró un volumen de agua en 25% del volumen total de la cámara aire.

Donde:

V_{ic}: Volumen inicial de la cámara de aire (m^3)

El volumen final de la cámara de aire se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$V_{fc} = V_{ic} - Q_c \quad (80)$$

La presión después del choque Hidráulico se puede determinar a partir de la ley Boyle, ya que existe compresión y expansión del aire en la cámara:

$$P_{ic} * V_{ic} = P_{fc} * V_{fc} \quad (81)$$

$$P_{fc} = \frac{P_{ic} * V_{ic}}{V_{fc}} \quad (82)$$

Donde:

P_{fc}: Presión después del choque hidráulico en la cámara de aire (MPa)

Para los esfuerzos máximos y mínimos en la cámara de aire se recurre a la utilización de las ecuaciones (68) y (69) pero utilizando como diámetro y espesor los de la cámara de aire.

Mientras que para determinar el esfuerzo se utiliza las ecuaciones (70) y (71), además que para determinar la resistencia a fatiga en la cámara de aire utilizamos las ecuaciones (72), (73), (74), (75), (76) y (77).

2.6.14 Dimensionamiento del tanque de almacenamiento

El dimensionar correctamente el tanque de almacenamiento, permitirá garantizar que el agua descargada por la bomba se almacene, la cual se usa en actividades de riego o abrevaderos para animales, por ello con el tanque se debe garantizar un caudal adecuado para estas actividades.

Menciona [40] que los caudales necesarios para realizar riego por aspersión son: aspersores de baja presión se utilizan caudales inferiores a 0.3 Lt/s, media presión utilizan caudal de 0.3 Lt/s a 1.5 Lt/s, mientras que los de alta presión utilizan caudales mayores a 1,5 Lt/s, siendo el riego por aspersión más común es el de baja presión.

De acuerdo con [41] una cabeza de ganado consume 7 litros de agua en un instante de tiempo, el caudal de agua demandado para 100 cabezas de ganado es de 11.7 Lt/min.

Para que el tanque se llene el caudal de ingreso deberá ser mayor que el de salida, el volumen requerido del tanque de almacenamiento se determina a partir de la siguiente expresión:

$$V_{Ta} = (Q_{ent} - Q_{sal}) * t_a \quad (83)$$

Donde:

V_{Ta}: Volumen del tanque de almacenamiento (Lt o m^3)

Q_{ent}:Caudal de entrada al tanque de almacenamiento ($\frac{Lt}{h}$ o $\frac{m^3}{h}$)

Q_{sal}: Caudal de salida del tanque de almacenamiento ($\frac{Lt}{h}$ o $\frac{m^3}{h}$)

t_a: Tiempo de almacenamiento necesario (h)

2.6.15 Soportes de sujeción del cuerpo de la bomba de ariete.

El cuerpo de la bomba de ariete al ser de forma cilíndrica no posee estabilidad, por lo cual es necesario utilizar soportes para su fijación en un sitio.

Existen diferentes formas de soportes de tuberías, pero al ir generalmente el cuerpo de ariete soportado en el piso, se considera como la mejor opción la abrazadera omega, la cual se caracteriza por tener una forma en U con dos bases planas para la fijación.



Figura 22 *Abrazadera de tubería omega [42].*

Para el diseño de este tipo de soportes se considera el diámetro externo del cuerpo de la bomba, el material, los tornillos y tuercas para su fijación.

Al estar la tubería sobre una superficie las cargas por el peso del material y del fluido del cuerpo de la bomba no se aplican sobre este soporte, siendo la única carga la que actúa, es la del codo que dirige el agua a la válvula de impulso.

Para la selección de los pernos utilizamos las ecuaciones de esfuerzo cortante y axial para tornillos, para determinar del tamaño de tornillo necesario.

El esfuerzo axial se determina por la siguiente ecuación:

$$\sigma_{ta} = \frac{F_a}{n_p * A_p} \qquad (84)$$

Mientras que el esfuerzo cortante se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$\tau_{tc} = \frac{F_c}{n_p * A_p} \qquad (85)$$

El área se determina por la siguiente expresión:

$$A_p = \frac{\pi * {d_p}^2}{4} \qquad (86)$$

Al despejar el área de la ecuación del esfuerzo axial obtenemos:

$$A_p = \frac{F_a}{\sigma_{ta} * n_p} \quad (87)$$

Al remplazar la formula del área en la anterior ecuación obtenemos:

$$\frac{\pi * {d_p}^2}{4} = \frac{F_a}{\sigma_{ta} * n_p} \quad (88)$$

Al despejar el diámetro y considerar un factor de seguridad n se obtiene:

$$d_p = n * \sqrt{\frac{F_a * 4}{\sigma_{ta} * n_p * \pi}} \text{ Para carga axial} \quad (89)$$

El diámetro que se elegirá será el mayor

Donde:

σ_{ta}: Esfuerzo axial del perno (Pa)

F_a: Fuerza axial en el perno (N)

n_p: Número de pernos

A_p: Área del perno (m^2)

F_c: Fuerza cortante en el perno (N)

d_p: Diámetro del perno (m)

τ_{tc}: Esfuerzo cortante del perno (Pa)

n : Factor de seguridad

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

3.1.1 Determinación del caudal de suministro

El caudal se determina por medio del método volumétrico, el cual fue determinado en la época de sequía correspondiente al mes de septiembre del 2024, en el cual se utilizó un recipiente de capacidad de 20 litros, una tubería de PVC de 2 in y un cronómetro. El procedimiento fue poner la tubería en la fuente hídrica y a la vez en la salida de la tubería el recipiente y se tomó el tiempo que se demoró en llenar.



Figura 23 *Medición del caudal de impulsión.*

La medición se realizó en 5 ocasiones dando los siguientes resultados, que se reflejan en la siguiente tabla:

Tabla 8 *Datos para la determinación del caudal de suministro.*

N.-	**Tiempo (s)**	**Volumen (Lt)**
1	10.81	20
2	11.88	20
3	12.33	20
4	10.80	20
5	11.69	20
Promedio	11.50	20

Para la determinación del caudal de suministro se utilizó la Ecuación (1), utilizando los valores promedios de tiempo y volumen de la Tabla (6).

$$Q_s = \frac{V_{ta}}{t_l}$$

$$Q_s = \frac{20\ \text{Lt}}{11.50\ s}$$

$$Q_s = 1.74 \frac{Lt}{s} = 1.74 * 10^{-3}\ \frac{m^3}{s} = 104.4\ \frac{Lt}{min}$$

3.1.2 Determinación de la altura de descarga

La altura de descarga se determina mediante la utilización del método de nivelación indirecta debido a su sencilles, y que las distancias no son muy grandes, para este método se utilizó una cinta métrica para la determinación de la distancia y de un nivel para determinar el ángulo de inclinación para mediante de trigonometría obtener la altura.



Figura 24 *Determinación de la distancia hasta el lugar de descarga deseado*

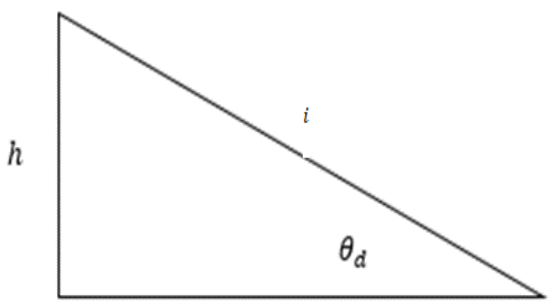


Figura 25 *Esquema para el cálculo de altura de descarga*

$$\text{sen}(\theta_d) = \frac{h}{i}$$

$$h = \text{sen}(\theta_d) * i$$

Donde:

θ_d: Ángulo de inclinación desde la bomba hasta el lugar de descarga (°)

i: Distancia desde la bomba hasta el lugar de descarga(m)

h: Altura de descarga (m)

Datos:

$i = 49.2m$

$\theta_d = 24°$

$$h = 20.01m \approx 20m$$

3.1.3 Determinación de la altura de suministro

La altura de suministro se obtiene al usar la ecuación (2) dando como resultado, lo siguiente:

$$\frac{h}{H_s} = 4$$

$$H_s = \frac{h}{4}$$

Datos:

$h = 20m$

$$H_s = 5m$$

3.1.4 Dimensionamiento de la tubería de suministro

3.1.4.1 Longitud de la tubería de suministro

La relación entre la longitud de la tubería de suministro y el diámetro interior debe cumplir con la relación presentada en la ecuación (3):

$$150 \leq \frac{L_s}{D_{is}} \leq 1000$$

Mientras que la longitud de la tubería de suministro de acuerdo a la altura de suministro antes ya determinada, y utilizando la ecuación (4) obtenemos;

$$L_s = \frac{H_s}{sen\ \theta_s}$$

Datos:

$Hs = 5m$

$\theta_s = 19^{\circ}$

$$L_s = 15.36m$$

3.1.4.2 Diámetro de la tubería de suministro

Diámetro máximo

De acuerdo a la relación de la ecuación (3) obtenemos el diámetro máximo que podrá tener la tubería de suministro, determinado de la siguiente manera:

$$D_{max} = \frac{L_s}{150}$$

Datos:

$L_s = 15.36m$

$$D_{max} = 0.1024m * \frac{1000mm}{1m}$$

$$D_{max} = 102.4mm$$

Diámetro mínimo

De igual manera usando la ecuación (3) obtenemos el diámetro mínimo que podrá tener la tubería de suministro, determinado de la siguiente manera:

$$D_{min} = \frac{L_s}{1000}$$

Datos:

$L_s = 15.36m$

$$D_{max} = 0.01536m * \frac{1000mm}{1m}$$

$$D_{min} = 15.36mm$$

Diámetro mediante la ecuación de Bondschú.

El diámetro interno para la tubería de suministro se determinó al usar la ecuación (5)

$$D_{is} = 1.27 * \frac{Qs^{0.4268}}{(H_s + h)^{0.1423}}$$

Datos:

$$Qs = 1.74 \frac{Lt}{seg} * \frac{1m^3}{1000Lt} = 1.74 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

$H_s = 5m$

$h = 20m$

$$D_{is} = 0.05335m * \frac{1000mm}{1m} = 53.35mm$$

Diámetro mediante la utilización de la tabla 5

Utilizando la tabla 5 al interpolar los datos de le tabla para $Q = 104.4 \frac{Lt}{min}$ obtenemos $D_{is} = 2.24$in = 56.9mm

Diámetros disponibles en el mercado

Se utilizará tubería de acero galvanizado, las cuales son elaborados bajo la norma Iso 65-serie liviana tipo II, de acuerdo con [43] esta tubería está elaborada con el acero SAE 1010, las medidas de estas tuberías se representan en el anexo (1), en donde el diámetro externo de la tubería de suministro será de 60.30mm con un espesor de 2.65mm.

Se debe determinar el diámetro interno de la tubería, para lo cual utilizamos la siguiente ecuación.

$$D_{is} = D_{ext} - 2 * e$$

Datos:

$D_{ext} = 60.30mm$

$e = 2.65mm$

$$D_{is} = 55mm$$

Por último, comprobamos que la longitud y el diámetro de la tubería de suministro se encuentre dentro del rango de la relación de la ecuación (3).

$$\frac{L_s}{D_{is}} = \frac{15.36m}{0.055m} = 279.27$$

Determinando que si es factible usar este diámetro ya que se encuentra dentro del rango.

$$150 \leq 279.27 \leq 1000$$

3.1.5 Dimensionamiento de la tubería de descarga

Para la determinación del diámetro interno de la tubería recurrimos a la ecuación (6)

$$d_{id} = \frac{D_{is}}{2}$$

Datos:

$D_{is} = 55mm$

$$d_{id} = 27.5mm$$

Se decidió por la utilización de tubería de polietileno de baja densidad, al no encontrarse tuberías del diámetro determinado se utilizó de acuerdo al anexo (2) una de diámetro externo de 40.89 mm con un espesor de 3,14mm, dándonos el siguiente diámetro interior:

$$d_{id} = d_{ext} - 2 * e$$

$$d_{id} = 34.61mm$$

3.1.6 Dimensionamiento de la válvula de impulso

3.1.6.1 Diámetro de disco o base de la válvula

El diámetro base de la válvula debe ser igual o mayor al diámetro de la tubería de suministro por lo tanto al ser el diámetro interno de la tubería de 55mm se tiene que el diámetro de la base de la válvula es:

$$d_v = 55mm$$

3.1.6.2 Carrera de la válvula de impulso

El primer factor determinado de la válvula de impulso fue la carrera, la cual se determinó al usar la ecuación (22).

$$C_{vim} = (25 - 30\%) * dv$$

Datos:

$d_v = 55mm$

$$C_{vim} = 13.75mm$$

3.1.6.3 Velocidad de cierre de la válvula de impulso

Con la carrera determinada se calcula cual será la velocidad de cierre de la válvula, para lo cual utilizamos la ecuación (9).

$$v_c = 0.135 * C_{vim}$$

Datos:

$C_{vim} = 13.75mm$

$$v_c = 1.85 \frac{m}{s}$$

3.1.6.4 Diámetro del orificio del asiento de la válvula de impulso

Para la determinación del diámetro del orificio del asiento de la válvula se despejo de la ecuación (19), quedándonos de la siguiente manera:

$$d_v = 1.15 * d_o$$

$$d_o = \frac{d_v}{1.15}$$

Datos:

$d_v = 55mm$

$$d_o = 47.83mm \approx 48mm$$

3.1.6.5 Espesor de la base de la válvula impulso

Una vez determinado el diámetro del orificio del asiento de la válvula podemos encontrar el espesor mínimo de la base de la válvula al usar la ecuación (20):

$$e_{vim} = 0.14 * d_o$$

Datos:

$d_o = 48mm$

$$e_{vim} = 6.72\ mm \approx 6.7mm$$

3.1.6.6 Diámetro del vástago

Para determinar este diámetro se recurrió a la utilización de la ecuación (21)

$$d_{va} = 0.12 * d_o + 10$$

Datos:

$d_o = 48mm$

$$d_{va} = 15.76mm$$

El diámetro del eje se aproxima a una medida la cual se puede encontrar en el mercado, anexo (3).

$$d_{va} = 15.88\ mm$$

3.1.7 Velocidad de salida en la tubería de impulsión

Como se mostró en la figura (12) el punto 1 es la entrada del agua a la tubería de suministro, mientras que el punto 2 es la salida de la válvula de impulso.

$$\frac{P_1}{\gamma_{H2O}} + Z_1 + \frac{{v_1}^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma_{H2O}} + Z_2 + \frac{{v_2}^2}{2g}$$

La primera consideración es que P_1 y P_2 se encuentran a presión atmosférica

$$P_1 = P_2$$

Se considera que el sistema inicialmente está en reposo

$$v_1 = 0$$

No existe adicción ni salida de energía por dispositivos mecánicos

$$ha = 0$$

$$h_R = 0$$

Se considera como punto de referencia a la salida en la válvula de impulso

$$Z_2 = 0$$

La altura de Z_1 se la de la altura de suministro:

$$Z_1 = 5\text{m}$$

Al aplicar las anteriores condiciones se obtiene:

$$\frac{\cancel{P_1}}{\cancel{\gamma_{H2O}}} + Z_1 + \frac{\cancel{v_1^2}}{\cancel{2g}} + \cancel{h_A} - \cancel{h_R} - h_L = \frac{\cancel{P_2}}{\cancel{\gamma_{H2O}}} + \cancel{Z_2} + \frac{{v_2}^2}{2g}$$

$$h_L = h_l + h_{lm}$$

$$Z_1 = \frac{{v_2}^2}{2g} + h_l + h_{lm}$$

Al desarrollar las pérdidas de carga por fricción (h_l) y por accesorios (h_{lm}), remplazándolos en la expresión anterior obtenemos:

$$h_l = f * \frac{L_s}{D_{is}} * \frac{{v_2}^2}{2g}$$

$$h_{lm} = \sum k * \frac{{v_2}^2}{2g}$$

$$Z_1 = \frac{{v_2}^2}{2g} + f * \frac{L_s}{D_{is}} * \frac{{v_2}^2}{2g} + \sum k * \frac{{v_2}^2}{2g}$$

Al factorizar la expresión anterior considerando un factor común ($\frac{{v_2}^2}{2g}$) obtenemos, la expresión para determinar la velocidad

$$Z_1 = \frac{{v_2}^2}{2g}\left(1 + f * \frac{L_s}{D_{is}} + \sum k\right)$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{Z_1 * 2 * g}{1 + f * \frac{L_s}{D_{is}} + \sum k}}$$

3.1.7.1 Pérdidas por accesorios

Estas pérdidas de carga son determinadas por la utilización de la ecuación (15).

$$h_{lm} = \sum k * \frac{{v_2}^2}{2g}$$

En la siguiente figura se representan todos los accesorios que se compone el sistema

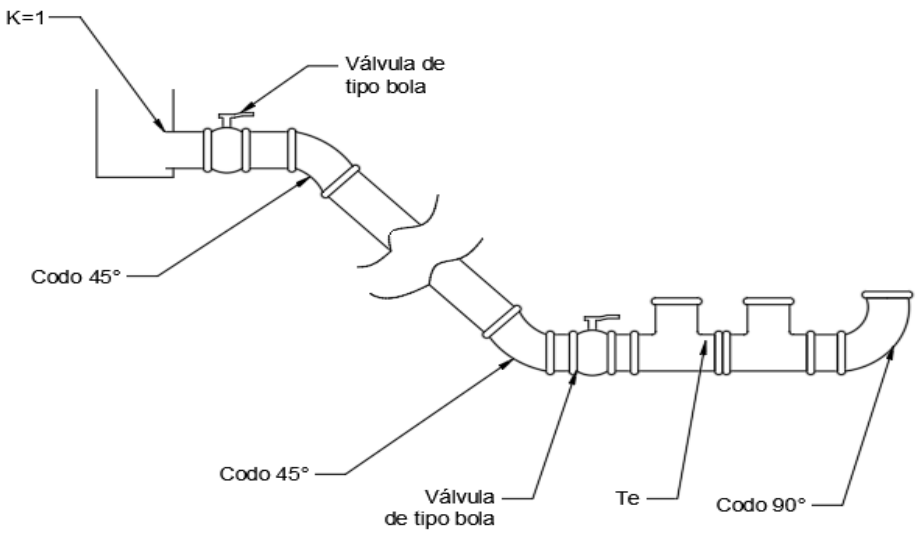


Figura 26 *Accesorios del sistema del ariete hidráulico.*

Donde el coeficiente de pérdidas por accesorios se determina por medio de la siguiente expresión:

$$k = f_T * \frac{L_e}{D}$$

Donde:

f_T: Factor de fricción en la zona de turbulencia

$\frac{L_e}{D}$: Longitud equivalente en diámetros de tuberías

Datos

$D_{ext} = 60.30mm = 0.0603m$

De acuerdo con el anexo (4) para tuberías de acero galvanizado $\epsilon = 1.5 * 10^{-4}m$

$$f_T = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7 * \left(\frac{D_{ext}}{\epsilon}\right)}\right)\right]^2}$$

$$f_T = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7 * \left(\frac{0.0603m}{1.5 * 10^{-4}m}\right)}\right)\right]^2}$$

$$f_T = 0.02484$$

Los valores de $(\frac{L_e}{D})$ presentados a continuación corresponden al anexo (5)

- Coeficiente de resistencia para válvula de tipo bola

$$\frac{L_e}{D} = 150$$

$$k = 0.02484 * 150$$

$$k = 3.726$$

- Coeficiente de resistencia para Codos de 45°

$$\frac{L_e}{D} = 16$$

$$k = 0.02484 * 16$$

$$k = 0.39744$$

- Coeficiente de resistencia para Codos de 90°

$$\frac{L_e}{D} = 50$$

$$k = 0.02484 * 50$$

$$k = 1.242$$

- Coeficiente de resistencia T

$$\frac{L_e}{D} = 20$$

$$k = 0.02484 * 20$$

$$k = 0.49680$$

- Coeficiente de resistencia total

$$\sum k = 2 * 0.49680 + 1.242 + 2 * 0.39744 + 2 * 3.726 + 1$$

$$\sum k = 11.48248$$

$$h_{lm} = 11.48248 * \frac{{v_2}^2}{2g}$$

Una vez determinado las pérdidas de carga por accesorios y al asumir un factor de fricción con la ayuda del anexo (6) remplazamos en la expresión de la velocidad y obtenemos:

Datos:

$Z_1 = 5m$

$g = 9.81\ \frac{m}{s^2}$

$f = 0.02$

$h_{lm} = 11.48248$

$D_{is} = 55mm = 0.055m$

$$v_2 = 2.33013 \frac{m}{s}$$

3.1.8 Caudal libre

El caudal libre se determina por medio de la ecuación (12)

$$Q_l = v2 * A_2$$

Determinando el área 2 por medio de la siguiente expresión

$$A_2 = A_{av} - A_{vi}$$

Donde:

A_{av}: Área de asiento de la válvula (m^2)

A_{vi}: Área del vástago de la válvula (m^2)

3.1.8.1 Área de asiento de la válvula(A_{av})

Datos:

$d_o = 48mm = 0.048m$

$$A_{av} = \frac{\pi * {d_o}^2}{4}$$

$$A_{av} = 1.80956 * 10^{-3} m^2$$

3.1.8.2 Área del vástago de la válvula (A_{vi})

Datos:

$d_{va} = 15.88mm = 0.01588m$

$$A_{vi} = \frac{\pi * {d_{va}}^2}{4}$$

$$A_{vi} = 1.98057 * 10^{-4} m^2$$

Al remplazar los valores de las áreas del asiento y vástago de la válvula de impulso obtenemos:

$$A_2 = 1.80956 * 10^{-3} m^2 - 1.98057 * 10^{-4} m^2$$

$$A_2 = 1.61150 * 10^{-3} m^2$$

Mientras que al remplazar en al área determinada obtenemos el caudal libre:

$$Q_l = 2.33013 \frac{m}{s} * 1.61150 * 10^{-3} m^2$$

$$Q_l = 3.755 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

3.1.8.3 Área de la tubería de suministro y cuerpo de la bomba

El área de la tubería de suministro y el cuerpo de la bomba obtenemos lo siguiente:

$$A_t = \frac{\pi * {D_{is}}^2}{4}$$

$$A_t = 2.3758 * 10^{-3} m^2$$

$$A_t = A_{cu}$$

3.1.8.4 Velocidad en la tubería de suministro y cuerpo de la bomba

Se determina cual será la velocidad dentro de la tubería de impulso y el cuerpo de la bomba de la siguiente manera:

$$v_{cu} = \frac{Q_l}{A_{cu}}$$

$$v_t = v_{cu} = 1.58052 \frac{m}{s}$$

Se verifica que el valor asumido de $f = 0.020$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7 * \left(\frac{D_{is}}{\epsilon}\right)} + \frac{5.74}{N_R{}^{0.9}}\right)\right]^2}$$

De acuerdo con el anexo (7) la viscosidad cinemática para una temperatura ambiente de 20℃ es ($\nu = 1.02 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}$)

$$N_R = \frac{v_{cu} * D_{is}}{\nu}$$

$$N_R = 85224.11765$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7 * \left(\frac{0.055}{1.5 * 10^{-4} m}\right)} + \frac{5.74}{85982.78932^{0.9}}\right)\right]^2}$$

$$f = 0.02734$$

Verificamos el valor obtenido por medio de iteraciones

Tabla 9 *Iteración de factor de fricción.*

Variable	Primera Iteración	Segunda Iteración
f	0.02734	0,02739
h_l	7,63532	7,64850
h_{lm}	11,48248	11,48248
v_2	2,26525	2,26447
A_2	1.6115E-03	1.6115E-03
Q_l	3,65045E-03	3,64919 E-03
A_{cu}	2,3758E-03	2,3758E-03

v_{cu}	1,53651	1,53598
ν	1.02 E-06	1.02 E-06
N_R	82851,14936	82822,59876
f_{cal}	0,02739	0,02739

$$vcu = 1{,}53598\frac{m}{s}$$

$$f = 0{,}02739$$

3.1.9 Resorte de la válvula de impulso

3.1.9.1 Fuerza de arrastre

Para determinar la fuerza de arrastre utilizamos la ecuación (23):

$$F_a = C_a * A_{cu} * \rho_{H2O} * {v_t}^2$$

Datos:

$v_t = v_{cu} = 1{,}53598\frac{m}{s}$

$A_{cu} = 2.3758 * 10^{-3} m^2$

$C_{vim} = 13.75mm$

$\gamma_{H2O} = 9790.38\frac{N}{m^3}$

El coeficiente de arrastre $C_a = 1.17$ se determinó a partir del anexo (8).

$$F_a = 6.54482\ N$$

Para poder determinar la constante elástica del resorte recurrimos a la ecuación (25):

$$K = \frac{Fa}{C_{vim}}$$

$$K = 0.47598\frac{N}{mm}$$

Las características del resorte son de acuerdo anexo (8) y con la constante del resorte calculada, elegimos la que más cercana a la constante ya determinada:

Diámetro del agujero:(16mm)

Longitud libre del resorte:(60 mm)

Constante del resorte: ($0.49\frac{N}{mm}$)

3.1.9.2 Longitud del vástago

Para la longitud del vástago se debe considerar la suma de ciertos componentes de la válvula como:

- Carrera (13.75mm)
- Longitud libre resorte (60mm)
- Espesor del disco $(e_{vim} = 6.70\ mm)$
- Espesor de las arandelas $(2mm)$, se utilizan 2 arandelas
- Largo de la rosca para pernos (3/8 in) ($10mm$)
- Largo de la rosca para pernos (5/8 in) (18mm), se utilizan 2 pernos
- Espesor de la base de la válvula $(8\ mm)$
- Se considera 18 mm adicionales por las regulaciones de carrera.

$$L_v = 13.75 + 60 + 6.70 + 2 * 2 + 10 + 18 * 2 + 8 + 18$$

$$L_v = 156.45mm$$

$$L_v \approx 156.5mm$$

3.1.10 Coeficiente de descarga

Para la determinación del coeficiente de descarga se utiliza la ecuación (11), después de haber determinado el caudal libre, el área en la válvula de impulso y la altura de suministro.

$$C_d = \frac{Q_l}{\left(\sqrt{2 * g * H_s}\right) * A_2}$$

Datos

$Q_l = 3{,}64919\ * 10^{-3}\ \frac{m^3}{s}$

$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$

$A_2 = 1.61150 * 10^{-3} m^2$

$H_s = 5m$

$$C_d = 0.22863$$

3.1.11 Caudal de descarga

El caudal de entrega se determinó al utilizar la ecuación (8)

$$q = \frac{H_s * {D_{is}}^2 * v_c * \pi * C_d}{10 * h}$$

Datos:

$H_s = 5m$

$D_{is} = 0.055m$

$v_c = 1.85 \frac{m}{s}$

$h = 20m$

$C_d = 0.22863$

$$q = 1.00489 * 10^{-4}\ \frac{m^3}{s} = 0.10049\ \frac{lt}{s} = 6.02940\ \frac{lt}{min}$$

3.1.12 Eficiencia teórica del ariete hidráulico

La eficiencia teórica de la bomba de ariete se determina con la ecuación (62).

$$n = \frac{h * q}{H_s * Q_s}$$

$$n = \frac{20 * 0.10049\frac{lt}{s}}{5 * 1.74 * \frac{lt}{s}}$$

$$n = 23.10\%$$

3.1.13 Cámara de aire

3.1.13.1 Pérdidas de carga en la tubería de suministro

Para determinar estas pérdidas recurrimos a la ecuación (32):

$$H_r = 1 + f\frac{L_s}{D_{is}} + \sum k$$

Datos

L_s =15.36m

D_{is} =0.055m

$f = 0{,}02739$

$\sum k = 11.48248$

$$H_r = 20.13176\ m$$

3.1.13.2 Velocidad necesaria para el cierre de la válvula de impulso

Una vez obtenida las pérdidas podemos determinar la velocidad necesaria para el cierre de la válvula de impulso mediante la ecuación (31).

$$v_i = 0.5 * \sqrt{\frac{2 * g * H_s}{H_r}}$$

Datos

$g = 9.81 m/s^2$

$H_s = 5m$

$H_r = 20.13176\ m$

$$v_i = 1.10373 \frac{m}{s}$$

3.1.13.3 Velocidad de propagación de onda de presión

La velocidad de propagación de onda de presión la podemos determinar por medio de la ecuación (33).

$$c = \frac{\sqrt{\frac{E0}{\rho_{H2O}}}}{\sqrt{1 + \frac{E0 * D_{is}}{E * e}}}$$

Datos:

$E0 = 2.2 * 10^9 Pa(\frac{Kg}{m * s^2})$

De acuerdo con [44] el módulo de elasticidad del acero SAE 1010 es: $E = 190 * 10^9 Pa(\frac{Kg}{m*s^2})$.

$\rho_{H2O} = 998 \frac{Kg}{m^3}$

$e = 2.65mm = 2.65 * 10^{-3} m$

$$c = 1333.82016 \frac{m}{s}$$

3.1.13.4 Altura máxima alcanzada por el aumento de presión debido al golpe de ariete

Para determinar esta altura utilizaremos la ecuación (30)

$$h_{max} = v_i \frac{c}{g}$$

$$h_{max} = 150.06090\ m$$

3.1.13.5 Pérdida de carga en el período de retardación

Esta pérdida se la determina por medio de la utilización de la ecuación (29)

$$h_r = 5.64(1 - \frac{h}{h_{max}})$$

$$h_r = 4.88830$$

3.1.13.6 Período del ciclo del golpe de ariete

Para determinar el período del ciclo del golpe de ariete para ello se recurre a la ecuación (35).

Datos:

$L_s = 15.36m$

$c = 1333.82016 \frac{m}{s}$

$$T = 4 * \frac{L_s}{c}$$

$$T = 0.04606\ s/ciclo$$

3.1.13.7 Caudal bombeado por ciclo

Para determinar este caudal utilizaremos la ecuación (34)

Datos:

$q = 1.00489 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$

$$Q_c = \frac{q}{T}$$

$$Q_c = 2.18169 * 10^{-3} \frac{m^3}{ciclo}$$

El Factor de aumento de presión se obtiene al usar la ecuación (27)

$$x = \frac{h}{h + h_r}$$

$$x = 0.80359$$

Mientras que para obtener la longitud de la cámara de aire se utiliza la ecuación (28), en donde se usara un diámetro interno de la cámara de aire de 150mm

$$L_c = \frac{\frac{(1+x) * Q_c * (h + h_r)}{10.33x}}{\frac{\pi * {D_{ci}}^2}{4}}$$

$$L_c = 0.67855m = 678.55mm$$

$$V_c = \frac{\pi * {D_{ci}}^2}{4} * L_c$$

$$Vc = 0.01199\ m^3 = 11990000\ mm^3 = 11.99\ Lt$$

La altitud calculada es considerando que la cámara de aire es totalmente cilíndrica, pero al ir ensamblada en otro elemento de menor diámetro, toma la configuración que se representa en la siguiente figura:

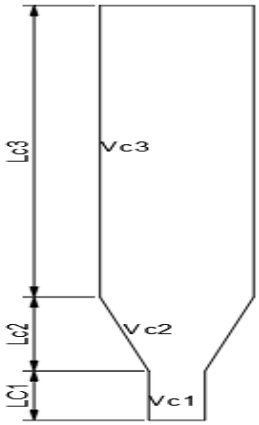


Figura 27 *Esquematización de la cámara de aire*

$$V_{c1} = \frac{\pi * {D_{is}}^2}{4} * L_{c1}$$

Se considera una $L_{c1} = 100mm$

$$V_{c1} = 237582.9444\ mm^3 = 2.37583 * 10^{-4}\ m^3$$

Determinamos el volumen de V_{c2} con la siguiente expresión:

$$V_{c2} = \frac{\pi * L_{c2}}{3} * ({R_{ci}}^2 + {R_{is}}^2 + R_{ci} * R_{is})$$

Datos:

$R_{ci} = 75mm$

$R_{is} = 27.5mm$

$L_{c2} = 150mm$

$$V_{c2} = 1326341.148\ mm^3 = 1.32634 * 10^{-3}\ m^3$$

Para determinar el volumen 3, se lo realiza de la siguiente manera:

$$V_{c3} = V_c - V_{c2} - V_{c1}$$

$$V_{c3} = 10426059.91\ \ mm^3 = 0.01043\ m^3$$

Una vez determinado el volumen 3 determinamos su longitud

$$L_{c3} = \frac{V_{c3} * 4}{\pi * {D_{ci}}^2}$$

$$L_{c3} = 589.99430\ mm \approx 590mm$$

Con la longitud nueva se determina el volumen 3 que tendrá, la cámara de aire.

$$V_{c3} = \frac{\pi * 0.150\ m^2}{4} * 0.590$$

$$V_{c3} = 10426160.62\ \ mm^3 = 0.01043m^3$$

$$V_c = 2.37583 * 10^{-4}\ m^3 + 1.32634 * 10^{-3}\ m^3 + 0.01043m^3$$

$$V_c = 0.01199m^3 = 11.99\ Lt \approx 12\ Lt$$

3.1.14 Ciclo de operación de la bomba de ariete hidráulico

3.1.15.1 Períodos del ciclo de operación

- **Período 1**

La distancia de retroceso del agua debido al golpe de ariete se determina a partir de la ecuación (41).

$$y = \frac{(h + h_r)^2 * L_s * g}{2 * H_s * c^2}$$

Datos:

$h_r = 4.88830$

$h = 20m$

$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$

$c = 1333.82016 \frac{m}{s}$

$L_s = 15.36m$

$Hs = 5m$

$$y = 5.2441 * 10^{-3}m$$

Ya obtenida la distancia de retroceso del agua debido al golpe de ariete, se puede determinar la velocidad en el período 1 por medio de la ecuación (39).

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 * g * H_s * y}{L_s}}$$

$$v_1 = 0.18301 \frac{m}{s}$$

Mientras que para determinar el tiempo se utiliza la ecuación (40)

$$t_1 = \sqrt{\frac{2 * L_s * y}{g * H_s}}$$

$$t_1 = 0.05731\ s$$

- **Período 2**

Para el período 2 se determinó usando la ecuación (42)

$$v_2 = v_i = 1.10373 \frac{m}{s}$$

Peso de la válvula de impulso

Como ya se mencionó el peso de la válvula de impulso serán la suma del peso del vástago, disco o base de la válvula y las tuercas, de sujeción, las cuales son la que la fuerza del agua deberá mover para ejecutar el cierre de la válvula, esto se representa en la Figura (28).

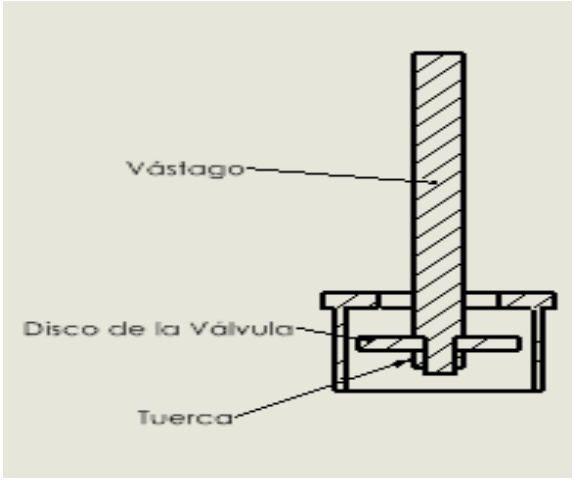


Figura 28 *Representación del vástago, disco y tuerca de la válvula de impulso*

El peso de la base de la válvula de la válvula de impulso se utilizó la ecuación (47)

$$W_b = \frac{\gamma_b * \pi * \left({d_v}^2 - {d_{va}}^2\right) * e_{vim}}{4}$$

Datos

$d_{va} = 15.88\, mm$

$d_v = 55mm$

El material de la base de la válvula será el acero AISI 304 el cual según con [45] tiene el siguiente peso específico $\gamma_b = 7930\, \frac{Kg}{m^3}$

$e_{vim} = 6.70\, mm$

$$W_b = 0.11571\, Kg$$

El peso del vástago de la válvula de impulso de determinó usando la ecuación (48)

Datos:

$L_v = 156.5mm$

$\gamma_a = 7930 \frac{Kg}{m^3}$

$$W_v = \frac{\gamma_a * \pi * {d_{va}}^2 * L_v}{4}$$

$$W_{2=} 0.2457\, Kg$$

El peso de la tuerca va de 0,04 a 0,06 Kg en dependencia del material de que se encuentre fabricado

Peso total

$$W = W_b + W_v + W_t$$

$$W = 0.11571\ Kg + 0.2457Kg + 0.06Kg$$

$$W = 0.42141\ Kg$$

El Coeficiente de resistencia de cierre de la válvula se determinó a partir de la ecuación (46).

Datos:

$\gamma_{H2O} = 998\ \frac{Kg}{m^3}$

$v_i = 1.10373 \frac{m}{s}$

$A_t = 2.3758 * 10^{-3} m^2$

$$k_o = \frac{W * g}{A_t * \gamma_{H2O} * {v_i}^2}$$

$$k_o = 1.43081$$

El coeficiente de arrastre de la válvula de impulso se determinó a partir de la ecuación (43).

Datos:

$C_{vim} = 13.75mm = 0.54134\ in$

$$\phi_s = \frac{0.345 - 0.255 * C_{vim} + 10^{(0.52 - 6.85 * C_{vim})}}{C_{vim}}$$

$$\phi_s = 0.38351$$

Para determinar el tiempo del período 2 se usó la ecuación (45).

$$t_2 = \frac{L_s}{\sqrt{2 * g * H_s}} * Ln\left(\frac{\left(1 + \sqrt{\frac{W * H_r}{2 * A_t * H_s * \gamma_{H2O} * k_o}}\right)\left(1 - \sqrt{\frac{y * H_r}{L_s}}\right)}{\left(1 - \sqrt{\frac{W * H_r}{2 * A_t * H_s * \gamma_{H2O} * k_o}}\right)\left(1 + \sqrt{\frac{y * H_r}{L_s}}\right)}\right)$$

Datos:

$\gamma_{H2O} = 9790.38 \frac{N}{m^3}$

$H_r = 20.13176\ m$

$H_s = 5m$

$L_s = 15.36m$

$y = 5.2441 * 10^{-3} m$

$At = 2.3758 * 10^{-3} m^2$

$$t_2 = 0.23274\ s$$

- **Período 3**

La velocidad de este período se determinó a partir de la ecuación (49).

$$v_3 = v_2$$

$$v_3 = 1.10373 \frac{m}{s}$$

El coeficiente de corrección Y1 se determina con la utilización de la ecuación (51)

$$Y_1 = \sqrt{2 * \phi_s * A_t * H_s * \gamma_{H2O}}$$

$$Y_1 = 9.44481$$

El coeficiente de pérdidas en la válvula de impulso se determinó a partir de la ecuación (53).

$$R_s = \frac{2.43 - 1.06 * C_{vim} + 10^{(0.95 - 13.3 * C_{vim})}}{C_{vim}}$$

Datos:

$C_{vim} = 13.75mm = 0.54134\ in$

$$R_s = 3.42886$$

El Coeficiente de pérdidas agrupado se determina utilizando la ecuación (52).

Datos

L_s =15.36m

D_{is} =0.055m

$f = 0{,}02739$

$\sum k = 11.48248$

$$M = 1 + \sum k + 4 * f * \left(\frac{L_s}{D_{is}}\right) + R_s$$

$$M = 46.50846$$

El tiempo del período 3 se determinó a partir de la ecuación (50).

$$t_3 = \sqrt[3]{\frac{3 * L_s * C_{vim} * v_2}{2 * g^2 * H_s * (1 - \frac{W * M}{{Y_1}^2})}}$$

$$t_3 = 0.16699\ s$$

- **Período 4**

El tiempo del período 4 se determina por medio de la utilización de la ecuación (54).

Datos:

$c = 1333.82016 \frac{m}{s}$

$h_r = 4.88830$

$$t_4 = \frac{2 * L_s}{c}$$

$$t_4 = 0.02303\ s$$

Para determinar la velocidad en este período se utiliza la ecuación (55)

$$v_4 = v_3 - (h + h_r) * \frac{g}{c}$$

$$v_4 = 0.92068 \frac{m}{s}$$

- **Período 5**

De acuerdo con la ecuación (56) la velocidad en el período 5 es:

$$v_5 = 0$$

Mientras que el tiempo del período 5 se determina por medio de la ecuación (57).

$$t_5 = \frac{L_s}{(h + h_r) * g} * (\sqrt{\frac{W * g}{A_t * \gamma_{H2O} * k_o}} - \frac{(h + h_r) * g}{c})$$

$$t_5 = 0.01065\ s$$

- **Período 6**

El tiempo del período 6 se determina por medio de la ecuación (58).

$$t_6 = \frac{2 * L_s}{c}$$

$$t_6 = 0.02303\ s$$

La velocidad en el período 6 se determina por medio de la ecuación (59).

$$v_6 = -\frac{(h + h_r) * g}{c}$$

$$v_6 = -0.18305\ \frac{m}{s}$$

- **Período 7**

De acuerdo con la ecuación (60) la velocidad en el período 7 es:

$$v_7 = 0$$

El tiempo del período 7 se determina por medio de la ecuación (61).

$$t_7 = \frac{L_s * (h + h_r)}{H_s * c}$$

$$t_7 = 0.05598\ s$$

Tiempo total del ciclo

$$B = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7$$

$$B = 0.05731\ s + 0.23274\ s + 0.16699\ s + 0.02303 + 0.01065\ s + 0.02303\ s + 0.05598\ s$$

$$B = 0.56973\ s/ciclo$$

3.1. 16 Análisis de esfuerzos

3.1. 16.1 Análisis de esfuerzos del Cuerpo de la bomba

El primer paso para el análisis de esfuerzos es determinar la sobrepresión máxima generada por el golpe de ariete para ello, utilizamos la ecuación (65):

$$P = \frac{c * \ v_{cu}}{g}$$

Datos:

$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$

$v_{cu} = 1{,}53614 \frac{m}{s}$

$c = 1333.82016 \frac{m}{s}$

$$P = 208.86182\ m$$

Luego se procede a determinar la carga, máxima y mínima por medio de la ecuación (63) y (64).

Datos:

$H_s = 5m$

$$H_{max} = H_s + P$$

$$H_{max} = 213.86182m$$

$$H_{min} = P - H_s$$

$$H_{min} = 203.86182m$$

Ya obtenida las cargas máximas y mínimas determinamos las presiones con las ecuaciones (66) y (67).

Datos:

$\gamma_{H2O} = 9780.57 \frac{N}{m^3}$

$$P_{max} = \gamma_{H2O} * H_{max}$$

$$P_{max} = 2091690.501Pa = 2.09169MPa$$

$$P_{min} = \gamma_{H2O} * H_{min}$$

$$P_{min} = 1993884.801\ Pa = 1.99388\ MPa$$

Para determinar cuáles serán los esfuerzos máximos y mínimos utilizamos las ecuaciones (68) y (69).

Datos:

$D_{is} = 55mm = 0.055m$

$e = 2.65mm = 2.65 * 10^3 m$

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max} * D_{is}}{2 * e}$$

$$\sigma_{max} = 21.70622\ MPa$$

$$\sigma_{min} = \frac{P_{min} * D_{is}}{2 * e}$$

$$\sigma_{min} = 20.69121\ MPa$$

Se aplica la teoría de Godman modificado por medio de la ecuación (70).

$$\sigma_{max} = \sigma_A \text{ y } \sigma_{min} = \sigma_B$$

$$\sigma' = \sqrt{{\sigma_A}^2 - \sigma_A * \sigma_B - {\sigma_B}^2}$$

$$\sigma' = 20.15178\ MPa$$

Para analizar si el componente soportará o no estos esfuerzos se determina el factor de seguridad, con la ecuación (71).

El material de los componentes del cuerpo de la bomba es el acero SAE 1010, según [44] las propiedades mecánicas son:

$Sy = 305\ MPa$

$Su = 365\ MPa$

$$n = \frac{Sy}{\sigma'}$$

$$n = 15.135139$$

Para realizar el análisis de esfuerzo, determinamos el límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria, por medio de la ecuación (73).

$$Se' = 0.5 * Sut$$

$$Se' = 165\ MPa$$

El factor de modificación por condición superficial utilizamos la ecuación (74).

$$k_a = a * Sut^b$$

Donde las constantes empíricas $a\ y\ b$ se determinaron por medio del anexo (10).

$$a = 57.7$$

$$b = -0.718$$

$$k_a = 0.89719$$

Los factores de modificación por tamaño, carga, temperatura, confiabilidad y de efectos varios son:

$$k_b = 1$$

$$k_c = 0.85$$

$$k_d = 1$$

$$k_e = 1$$

$$k_f = 1$$

Luego se determina la resistencia a fatiga por medio de la ecuación (72).

$$Se = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * Se'$$

$$Se = 125.83080\ MPa$$

Determinamos el esfuerzo alternante con la ecuación (76).

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_a = 0.50751\ MPa$$

Mientras que el esfuerzo medio, se determinó a partir de la ecuación (77).

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_m = 21.19872\ MPa$$

Al despejar el factor de seguridad de la ecuación (75), se obtiene:

$$n = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{Se} + \frac{\sigma_m}{Sy}}$$

$$n = 9.30738$$

3.6. 16.2 Análisis de esfuerzos de la Cámara de aire

Lo primero es determinar la presión inicial en la cámara de arie, por medio de la ecuación (78).

$$P_{ic} = P_{atm} + \gamma_{H2O} * P$$

Datos:

$\gamma_{H2O} = 9780.57 \frac{N}{m^3}$

$P_{atm} = 101325\ Pa$

$P = 208.86182\ m$

$$P_{ic} = 2144112.651\ Pa = 2.14411\ MPa$$

Además, se determina el volumen inicial de la cámara de aire utilizando la ecuación (79).

$$V_{ic} = V_c - V_{H2O}$$

Como se mencionó se considera que el agua inicialmente ocupará el 25% de la cámara de aire, por ello:

$$V_{H2O} = 0.01199m^3 * 0.25$$

$$V_{H2O} = 2.9525 * 10^{-3}m^3$$

Datos:

$V_c = 0.01199m^3$

$$Vic = 8.8575 * 10^{-3}m^3$$

El volumen final de la cámara de aire se determinó por medio de la ecuación (80).

$$V_{fc} = V_{ic} - Q_c$$

Datos:

$Q_c = 2.18189 * 10^{-3} \frac{m^3}{ciclo}$

$$V_{fc} = 6.67561 * 10^{-3}m^3$$

La presión final de la cámara de aire se determinó a partir de la ecuación (82).

$$P_{fc} = \frac{P_{ic} * V_{ic}}{V_{fc}}$$

$$P_{fc} = 2.84490 \text{ MPa}$$

De igual manera que el cuerpo de la bomba se utiliza las ecuaciones (68) y (69), para determinar los esfuerzos máximos y mínimos.

Datos:

$D_{ic} = 150mm = 0.150m$

$e = 3\ mm = 3 * 10^{-3}m$

$$\sigma_{max} = \frac{P_{fc} * D_{ic}}{2 * e}$$

$$\sigma_{max} = 71.1225\ MPa$$

$$\sigma_{min} = \frac{P_{ic} * D_{ic}}{2 * e}$$

$$\sigma_{min} = 53.60275\ MPa$$

Se analiza por medio de la teoría de Godman modificado utilizando la ecuación (70).

$$\sigma_{max} = \sigma_A \text{ y } \sigma_{min} = \sigma_B$$

$$\sigma' = \sqrt{{\sigma_A}^2 - \sigma_A * \sigma_B - {\sigma_B}^2}$$

$$\sigma' = 40.33865\ MPa$$

El factor de seguridad se determina mediante la utilización de la ecuación (71), además según [45] las propiedades mecánicas del acero AISI 304 son:

$Sy = 215\ MPa$

$Su = 505\ MPa$

$$n = \frac{Sy}{\sigma'}$$

$$n = 5.32988$$

Para determinar la resistencia a la fatiga se utilizan las mismas ecuaciones que en el cuerpo de la bomba.

Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria:

$$Se' = 0.5 * Sut$$

$$Se' = 252.5\ MPa$$

Factor de modificación por condición superficial

$$k_a = a * Sut^b$$

$$a = 4.51$$

$$b = -0.265$$

$$k_a = 0.86657$$

Los factores de modificación por tamaño, carga, temperatura, confiabilidad y de efectos varios son:

$$k_b = 1$$

$$k_c = 0.85$$

$$k_d = 1$$

$$k_e = 1$$

$$k_f = 1$$

La resistencia a fatiga será:

$$Se = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * Se'$$

$$Se = 185.98789\ MPa$$

Esfuerzo alternante:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_a = 8.75988\ MPa$$

Esfuerzo medio:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_m = 62.36263\ MPa$$

Factor de seguridad:

$$n = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{Se} + \frac{\sigma_m}{Sy}}$$

$$n = 2.96597$$

3.1. 17 Dimensionamiento del tanque de almacenamiento

El caudal de entrada al tanque de almacenamiento será el que suministrará la bomba($1.00489 * 10^{-4}\ \frac{m^3}{s} = 0.10049\frac{lt}{s} = 361.764\frac{lt}{h}$) , mientras que el caudal de salida se utilizará para abastecer alrededor de 50 cabezas de ganado y de acuerdo [41] un cabeza consume 7 Lt por ende necesitaríamos (350 $\frac{lt}{h}$= 0.09722 $\frac{lt}{s}$ = 9.72*10^{-5} $\frac{m^3}{s}$), además este caudal puede ser útil para aspersión de baja presión. El tiempo de almacenamiento será de 24 horas.

Para determinar el volumen necesario del tanque de almacenamiento utilizamos la ecuación (83):

$$V_{Ta} = (Q_{ent} - Q_{sal}) * t_a$$

$$VT = (361.764Lt/h - 350Lt/h) * 24h$$

$$VT = 282.336Lt = 0.28267\ m^3$$

3.1.18 Soportes de sujeción del cuerpo de la bomba.

Tanto el esfuerzo axial y cortante para este cálculo se considera el admisible, considerando que los pernos están elaborados de acero AISI 304, por lo cual:

$$\sigma_{ta} = \tau_{tc} = 215\ MPa$$

Como se mencionó las fuerzas que se aplicarán a los pernos serán las producidas en el codo del cuerpo de la bomba, las cuales se representan en la siguiente figura:

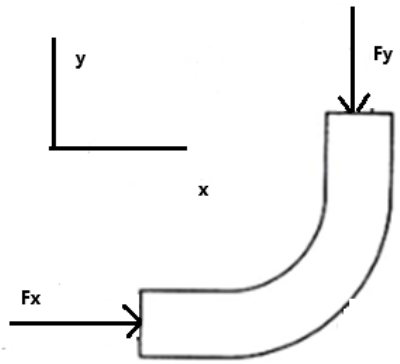


Figura 29 *Diagrama de cuerpo libre del codo del cuerpo de la bomba [20].*

$$Fx = \rho_{H2O} * Q_l * \Delta v = \rho_{H2O} * Q_l * (v_{2x} - v_{1x})$$

$$v_{2x} = 0$$

$$Fx = \rho_{H2O} * Q_l * (\cancel{v_{2x}} - (-v_{1x}))$$

$$Fx = \rho_{H2O} * Q_l * v_{1x}$$

Datos:

$v_{1x} = v_{cu} = 1{,}53614 \frac{m}{s}$

$Q_l = 3.64919 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}$

$\rho_{H2O} = 998 \frac{Kg}{m^3}$

$$Fx = 5.59446\ N$$

$$Fy = \rho_{H2O} * Q_l * \Delta v = \rho_{H2O} * Q_l * (v_{2y} - v_{1y})$$

$$v_{1y} = 0$$

Datos

$v_{2y} = c = 1333.82016 \frac{m}{s}$

$$Fy = \rho_{H2O} * Q_l * (v_{2y} - \cancel{v_{1y}})$$

$$Fy = 4857.62846\ N$$

$$F_a = Fy \text{ y } F_c = Fx$$

La mayor fuerza será la axial, por lo cual utilizamos la ecuación (89), en que se consideró un factor de seguridad de 2:

$$d_p = n * \sqrt{\frac{F_a * 4}{\sigma_{ta} * n_p * \pi}}$$

$$d_p = 7.58513 * 10^{-3} m = 7.58513\ mm$$

Por lo cual se utilizará un perno M8 para la sujeción.

3.2 Determinación de Tolerancias

Las tolerancias generales se determinan a partir del anexo (11), al querer obtener componentes mecánicos de presión se utilizan los valores IT-6 el cual es $\pm 0.01\ mm$. Mediante el anexo (12) se determina las tolerancias de acuerdo al ajuste necesario y el tamaño del objeto, eligiendo los ajustes H6-k5 para componentes que alojan o se unen a otros, ya que estos deben restringir el movimiento y deslizamiento, mientras que para piezas que por su funcionamiento deban desplazarse o soporten a una de estas piezas se elige un ajuste H8-h9.

3.3 Análisis de soldadura

3.3.1 Selección del proceso de soldadura y material de aporte

De acuerdo con [46], para la selección del proceso de soldadura podemos ayudarnos de la siguiente tabla.

Tabla 10 *Selección del proceso de soldadura [46] .*

Proceso de soldadura	Acero al carbono	Acero Inoxidable	Hierro Fundido	Aleación de Aluminio	Aleación de Magnesio
SMAW	S, I, M, T	S, I, M, T	I, M, T	S, I, M, T	N/A
SAW	S, I, M, T	S, I, M, T	M, T	N/A	N/A
GMAW	S, I, M, T	S, I, M, T	M, T	S, I, M, T	S, I, M, T
FCAW	I, M, T	I, M, T	M, T	N/A	N/A
GTAW	S, I	S, I	N/A	S, I, M	S, I
OFW	S, I, M, T	S (NR.)	I, M, T	S (NR.)	N/A

LEYENDA

S = Lámina (hasta 3 mm. espesor)	I = Intermedio (de 3 a 6 mm. espesor)	M = Medio (de 6 a 19 mm. espesor)
T = Grueso (Más de 19 mm. espesor)	N/A = No Aplica	NR. = No Recomendado

De la tabla se deduce que podemos aplicar el proceso de soladura SMAW para un acero AISI 304 de espesor de 3mm.Este tipo de acero posee las siguientes características:

- Composición química

%C=0.08

%Mn=2.00

%Si=0.75

%Ni=9.00

%Cr=19.00

%P=0.045

%S=0.03

%Fe= 71.00

- Propiedades mecánicas

Resistencia a la tracción=505MPa

Módulo de elasticidad=193GPa

Dureza Brinell=123HBW

%Elongación= 60%

El material de aporte más común para la soldadura de este tipo de material es el electrodo E308 L, el cual tiene las siguientes propiedades:

- Composición química

%C=0.04

%Mn=1.50

%Si=0.90

%Ni=10

%Cr=18.7

%P=0.040

%S=0.003

%Mo=0.18

%Cu= 0.75

- Propiedades mecánicas

Resistencia a la tracción=560MPa

%Elongación= 41%

Siendo que el material de aporte seleccionado cumple, en que la resistencia a la tracción es mayor que la del metal base.

$$Fxx>Fu$$

$$560\ MPa>505\ MPa$$

3.3.2 Análisis de soldabilidad

La soldabilidad del material de aporte y el metal base se analiza por medio de la utilización de las ecuaciones de cromo y níquel equivalente.

AISI 304

$$Cromo\ equivalente = \%Cr + \%Mo + 1.5\%Si + 0.5\%Nb + 3\%Ti$$

$$Cromo\ equivalente = 19 + 1.5 * 0.75$$

$$Cromo\ equivalente = 20.125$$

$$Niquel\ equivalente = \%Ni + 30\%C + 0.5\%Mn + 1.5\%N$$

$$Niquel\ equivalente = 9.00 + 30 * 0.04 + 0.5 * 2.00$$

$$Niquel\ equivalente = 11.20$$

E308L

$$Cromo\ equivalente = \%Cr + \%Mo + 1.5\%Si + 0.5\%Nb + 3\%Ti$$

$$Cromo\ equivalente = 18.7 + 0.75 + 1.5 * 0.90$$

$$Cromo\ equivalente = 20.80$$

$$Niquel\ equivalente = \%Ni + 30\%C + 0.5\%Mn + 1.5\%N$$

$$Niquel\ equivalente = 10 + 30 * 0.04 + 0.5 * 1.50$$

$$Niquel\ equivalente = 11.95$$

Una vez calculado el níquel y cromo equivalente mediante la utilización del diagrama de Schaeffler.

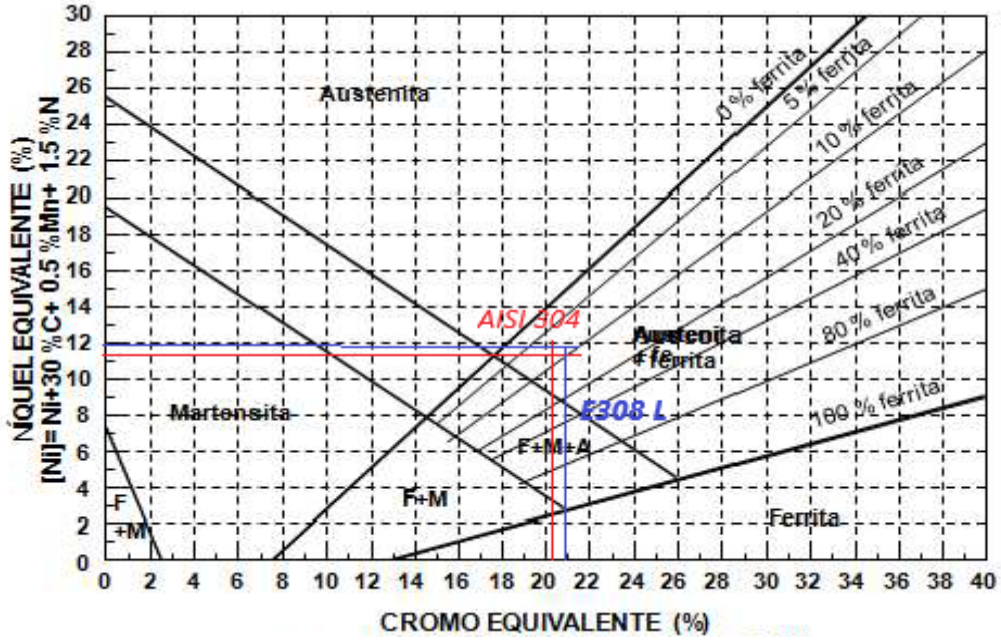


Figura 30 *Diagrama de Schaeffler.*

En el diagrama se puede observar que las fases del material base y de aporte no son muy distantes, por ello se tiene una buena soldabilidad.

3.3.3 Análisis de soldadura utilizando software de simulación

Se realiza un análisis de soldadura para obtener los tamaños correctos del cordón de soldadura, para lo cual por medio de la utilización de un software que nos permite determinar este factor, al seguir los siguientes pasos:

1. Modelar el elemento como superficies

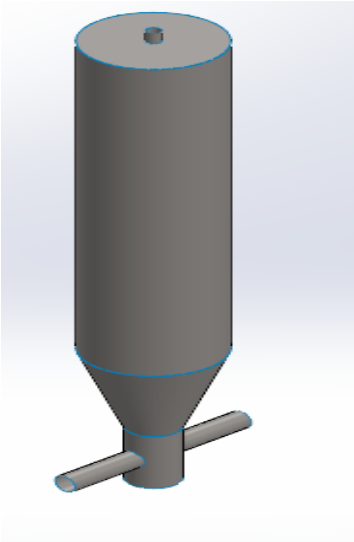


Figura 31 *Modelación de la cámara de aire como superficie.*

2. Especificar en el software el espesor de cada uno de los componentes

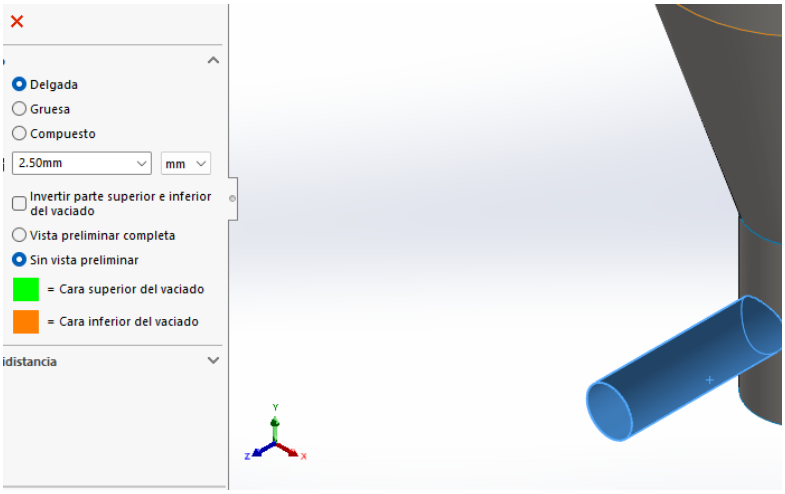


Figura 32 *Asignación de espesores.*

3. Se fija el componente, el cual se lo realiza como se muestra en la siguiente figura, debido a esta parte se fijará mediante uniones roscadas al cuerpo de la bomba.

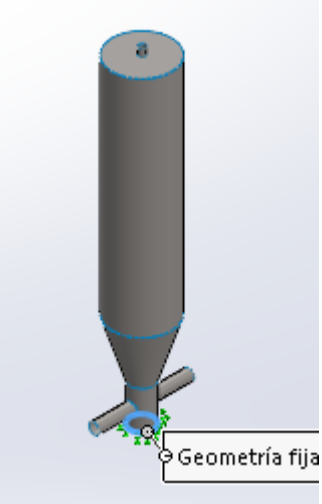


Figura 33 *Fijación de geometría.*

4. Se específica donde se ubicará los cordones de soldadura y las características que poseerán estos, las cuales se muestran en la siguiente figura.

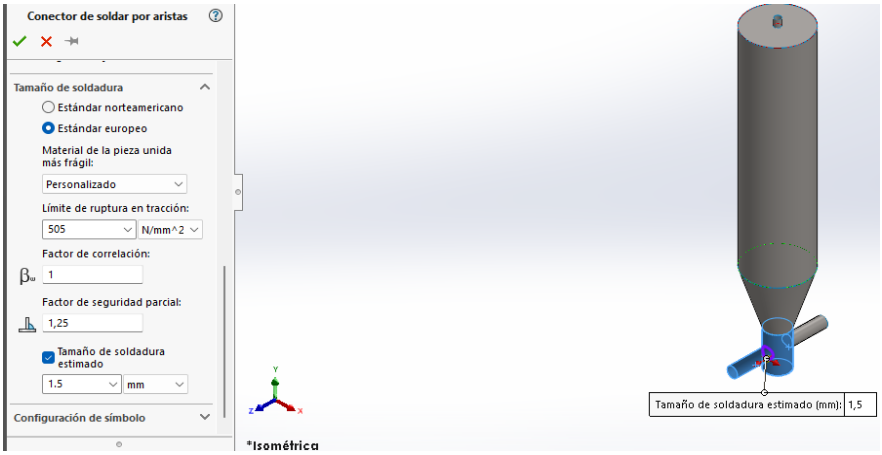


Figura 34 *Asignación de cordones de soldadura.*

5. Se aplican las cargas a las que se someterá el elemento, en este caso estará sometido a una presión generada por el golpe de ariete la cual es $P_{fc} = 2.84490$ MPa.

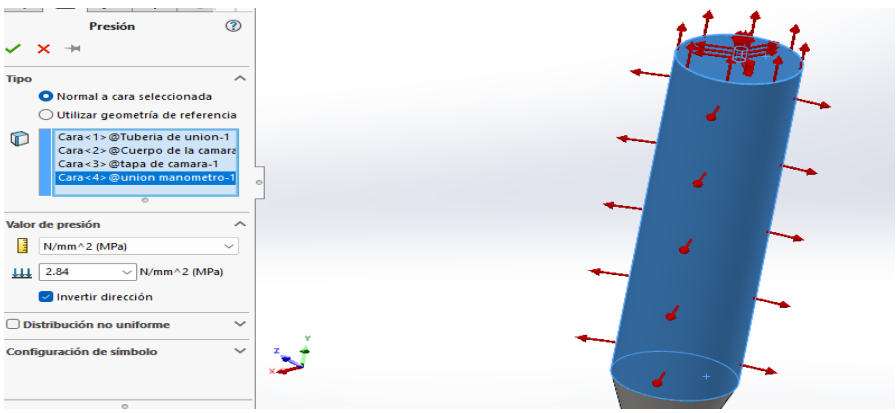


Figura 35*Aplicación de la presión de la cámara de aire.*

6. Se realiza un mallado fino del elemento

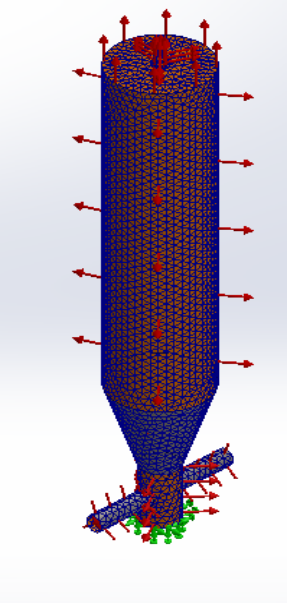


Figura 36 *Mallado del componente.*

7. Se ejecuta la simulación y se obtienen los resultados

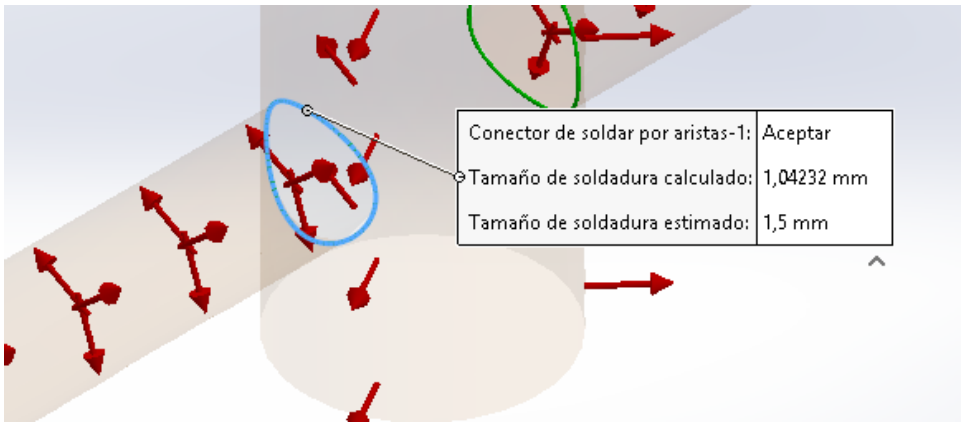


Figura 37 *Tamaño de soldadura unión 1.*

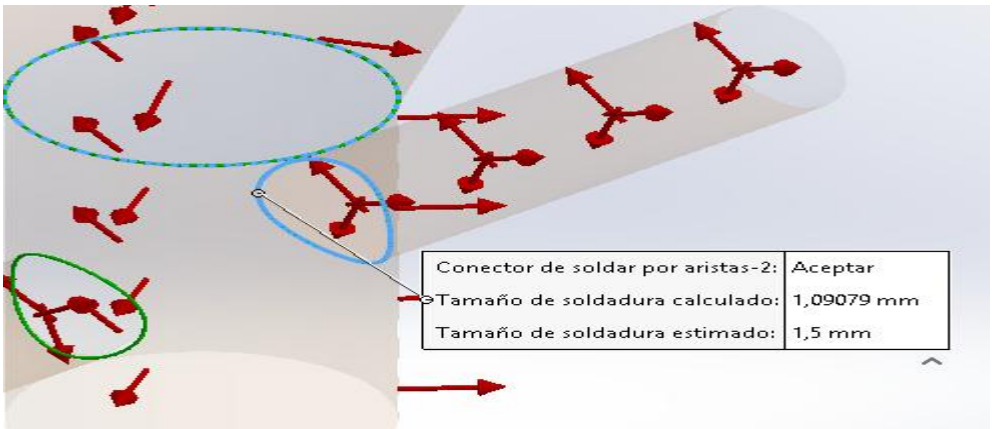


Figura 38 *Tamaño de soldadura unión 2.*

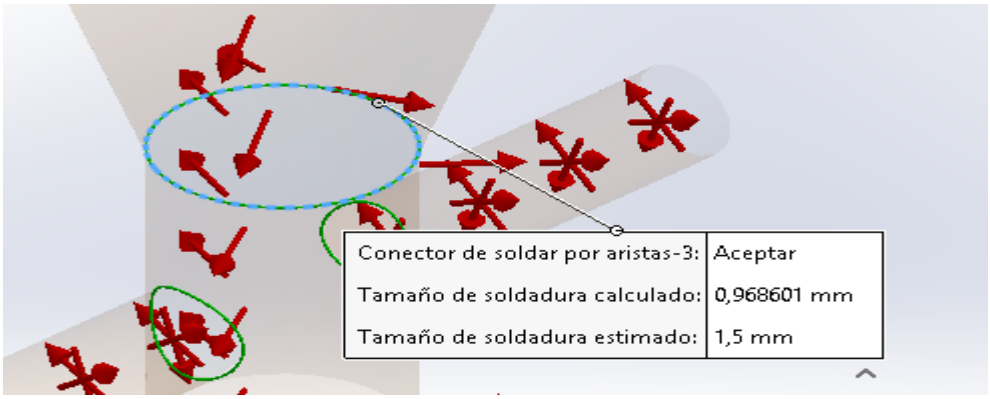


Figura 39 *Tamaño de soldadura unión 3.*

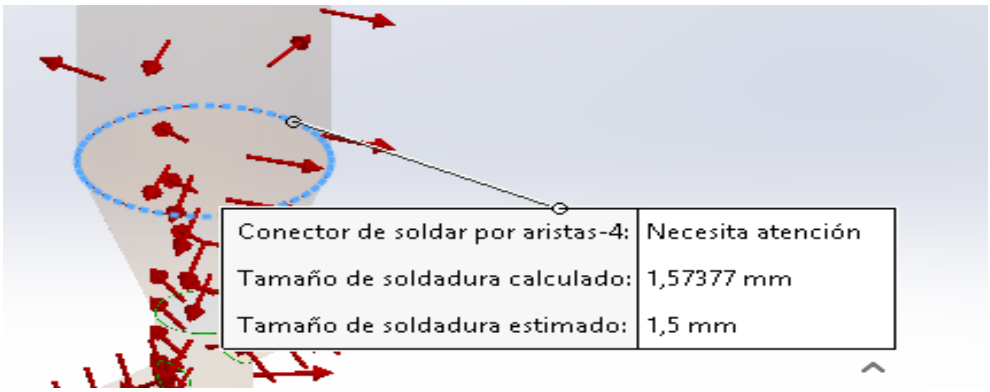


Figura 40 *Tamaño de soldadura unión 4.*

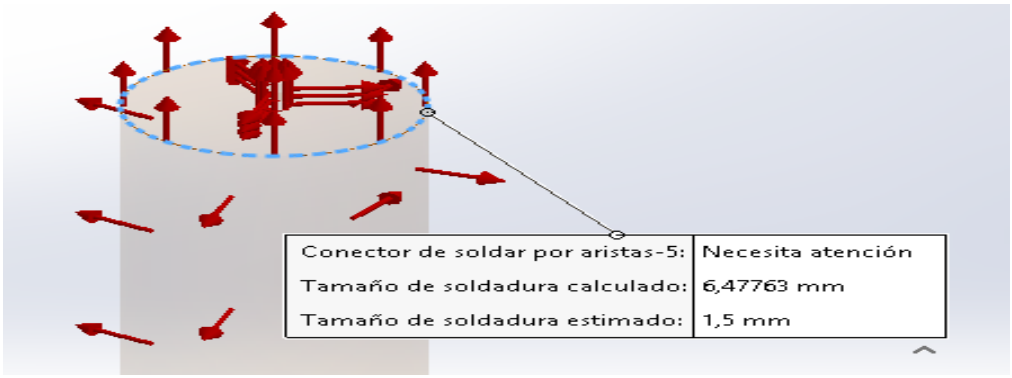


Figura 41*Tamaño de soldadura unión 5.*

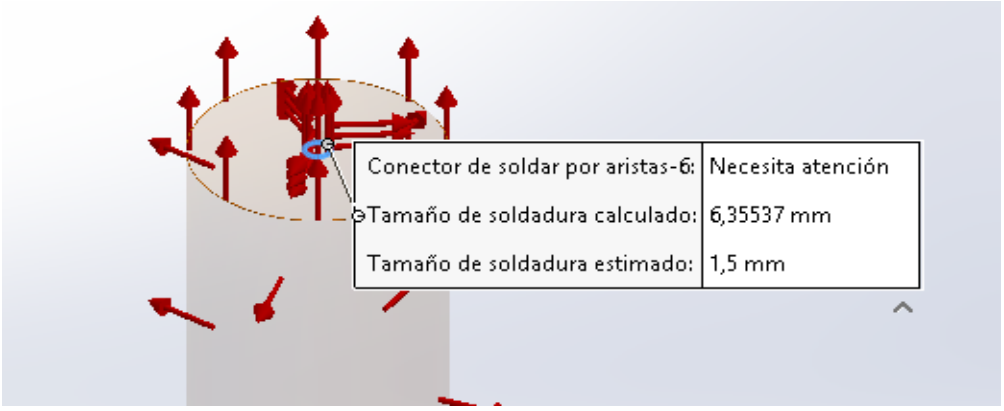


Figura 42*Tamaño de soldadura unión 6.*

3.4 Construcción de la bomba de ariete

3.4.1 Análisis de costos

Representan el conjunto de recursos monetarios, materiales y tecnológicos que en el proyecto de titulación se invirtió.

- Costos directos.

Son aquellos que intervienen directamente con el proyecto como: materia prima, materiales, mano de obra, recursos, entre otros.

- Costos de materia prima

Son aquellos que se adquieren para la construcción de un componente o parte de la bomba.

Tabla 11 *Costos de materia prima.*

DESCRIPCION	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
Tubo ISO galvanizado HG (d= 2", e=2.65mm, l= 6m)	$47.023	3	$134.02
Manguera PVC, (presión =50psi, d=1")	$0.60	50 m	$30
Cemento fuerte tipo GV (quintal)	$ 8.60	1	$8.60
Molde cuadrado madera (600mm * 700mm)	$6.00	1	$6.00
Varilla NOVACERO (700mm)	$12.50	1	$12.50
Alambre de amarre (e=1.25mm)	$ 4.75	1	$ 4.75
Arena x libra	$ 1.10	5	$5.50
Ripio x libra	$0.80	6	$2.40
Eje de acero inoxidable (d=5/8 ", l=150mm)	$ 40	1	$40
Platina de acero inoxidable (e= 2mm, l= 270mm, ancho= 25mm)	$ 8	1	$8
Eje de acero inoxidable (d= 3/8", l= 20 mm)	$ 18	1	$18
Resorte acero inoxidable (d= 16mm, e= 2mm, l=60 mm)	$8.50	2	$17
Eje de acero inoxidable (d=3", l= 60 mm)	$ 48	1	$48

Tuercas acero inoxidable (5/8")	$ 1.50	2	$3
Tuercas acero inoxidable (3/8")	$ 1.13	1	$ 1.13
Plancha de acero inoxidable (e=3 mm)	$ 300	½	$150
Tubo de acero inoxidable (d=1", l=200 mm)	$ 10	1	$10
Platina de acero al carbono (ancho= 40 mm, e=2.8 mm, l=150 mm)	$5	2	$10
SUBTOTAL			$508.90

- Costo de accesorios y materiales normalizados.

Aquellos que se adquieren directamente de proveedores.

Tabla 12 *Costo de accesorio y materiales normalizados.*

DESCRIPCION	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
Tramo galvanizado HG (d= 2", l= 10cm)	$4.30	3	$12.90
Neplo galvanizado HG (d=2")	$3.05	5	$ 15.25
Manómetro glicerina (140 PSI)	$ 16.70	2	$ 33.40
Acople (½ a ¼)	$ 0.37	1	$0.37
Válvula de tipo bola (2")	$ 38	2	$76
Abrazadera industrial (1" – ½")	$ 2.27	3	$ 6.81
Teflón industrial	$0.95	4	$ 3.80
Acople galvanizado (2" a ½")	$ 1.96	1	$ 1.96
Codo galvanizado (d=2", ángulo= 45°)	$3.75	2	$ 7.50
Unión Galvanizado (d=2")	$3.05	4	$ 12.20
T galvanizado (d=2")	$4.21	2	$ 8.42
Válvula tipo bola (d=1")	$ 6.60	1	$6.60
Unión galvanizada (d=2")	$ 2.01	5	$10.05
Codo galvanizado (d=2", ángulo= 90°)	$3.22	1	$3.22
Válvula Check de columpio, (d=2")	$26.81	1	$26.81
SUBTOTAL			$225.29

- Costos de mano de obra

Se muestra la mano de obra que se utilizó para la realización del proyecto.

Tabla 13 *Costos de mano de obra.*

Función	**Tiempo (días)**	**Valor mano de obra**	**Valor total**
Limpieza del área de instalación	2	$20	$40
Cimentación de la base de la bomba de ariete.	2	$25	$50
Proceso de Soldadura	3	$30	$90
Proceso de maquinado	5	$30	$150
Proceso de corte	1	$30	$30
Proceso de doblado	1	$25	$25
SUBTOTAL			$ 385

- Costos de transporte

La bomba de ariete hidráulico fue instalada en la parroquia Juan Benigno Vela en la comunidad de San Luis, el trasporte fue de 65 dólares diarios y duró 3 días.

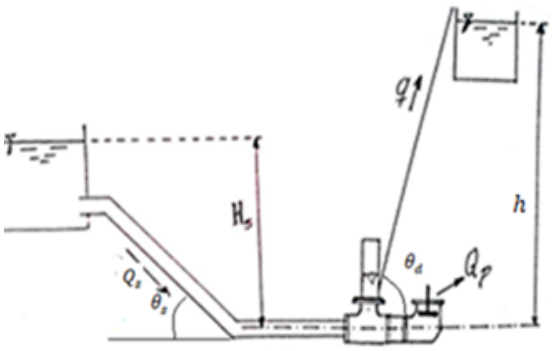
➢ Costo total directo.

Tabla 14 *Costo Total*

Descripción	**Valor**
Costo de materia prima	$508.90
Costo de accesorios	$225.29
Costo de mano de obra	$385
Costo de transporte	$ 65
TOTAL	$1184.19

3.4.2 Montaje e instalación.

El montaje e instalación se realizó bajo los siguientes parámetros obtenidos mostrado en la siguiente figura:



Altura de suministro (H_s)	$5\ m$
Altura de descarga (h)	$20\ m$
Caudal de suministro (Q_s)	$1.74\ \frac{Lt}{s}$
Caudal de descarga (q)	$0.1148\ \frac{Lt}{s}$
Caudal desechado (Q_p)	$1.6252\ \frac{Lt}{s}$
Ángulo de inclinación tubería de descarga (θ_d)	24°
Ángulo de inclinación tubería de suministro (θ_s)	19°

Figura 43 *Esquematización de Parámetros obtenidos.*

La instalación de la bomba de ariete hidráulico en campo se representa en la siguiente figura:



Figura 44 *Diagrama real de la instalación de la bomba de ariete hidráulico.*

Para la construcción de la bomba de ariete hidráulico se debe ensamblar varias piezas y accesorios.

Es importante mencionar que al unir una parte con la otra debe estar bien sellado ya que la bomba trabaja bajo presión, es decir que al juntar sus partes deben llevar teflón industrial y si es necesario pasta selladora.

Los pasos de construcción e instalación se describen a continuación:

- **PASO 1**

- Construcción de la válvula de impulso y el tanque a presión.

La construcción de la válvula se aplican procesos de soldadura que permite unir la platina de soporte con la base de la válvula, el corte, el torneado de la base y el eje ya que debe tener un buen acabado y fresado.

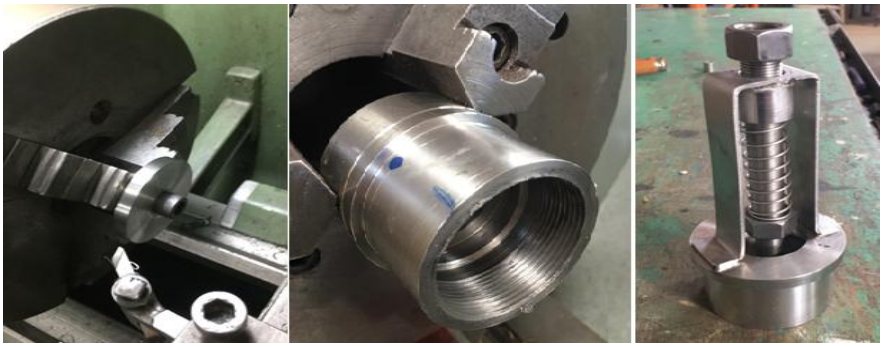


Figura 45 *Construcción de la válvula de impulso.*

La construcción de la cámara de aire conlleva procesos de manufactura como lo son soldadura SMAW que une diferentes piezas como tubería de descarga, acople roscado. El doblado se usó con el fin de obtener un cilindro de una plancha de acero, corte, y torneado.



Figura 46 *Construcción Cámara de aire.*

- **PASO 2**

Ensamblaje de piezas y componentes, en este paso es necesario informar, que para mayor facilidad se une los accesorios como codos, válvulas y uniones.



Figura 47 *Ensamblaje de piezas y componentes*

Una vez ensamblado los componentes adquiridos se procede a unir las piezas construidas que en este caso la cámara de aire y la válvula de impulso.



Figura 48 *Ensamblaje del cuerpo, válvula de impulso y cámara de aire.*

- **PASO 3**

Anclaje de la bomba a la placa o base de cemento que anteriormente se realizó, la base ayuda a que la bomba este a nivel y no tienda a tener movimientos que puedan causar afectaciones al momento de su funcionamiento.



Figura 49 *Anclaje de la bomba a placa de cemento.*

- **PASO 4**

Montar la bomba de ariete con la base en el lugar que previamente se realizó los estudios.



Figura 50 *Instalación de la bomba de ariete hidráulico.*

- **PASO 5**

Unir los tubos de acero galvanizado que son los que alimentan o suministran el agua a la bomba, los tubos deben ser de acero porque la bomba genera presión y podría ocasionar fracturas o grietas o diferentes materiales.



Figura 51 *Instalación de la tubería de suministro.*

- **PASO 6**

Colocar la manguera de descarga en la bomba de ariete y llevar al punto que se desea llegar.



Figura 52 *Instalación de la tubería de descarga.*

- **PASO 7**

Toma de datos para realizar la comparación de lo calculado con lo obtenido.



Figura 53 *Recolección de datos.*

3.5 Recopilación de resultados

Los resultados del caudal de descarga se recopilaron por medio del método de medición de caudal volumétrico en el que se utilizó un recipiente de 20 Litros de

capacidad, en el que se midió el tiempo que se tardó en llenar con el caudal que suministra la bomba.

Tabla 15 *Datos para la determinación del caudal de descarga.*

N.-	**Tiempo (s)**	**Volumen (Lt)**
1	168.24	20
2	175.38	20
3	177.25	20
4	174.17	20
5	175.30	20
Promedio	174.068	20

Para determinar el caudal de descarga utilizamos la ecuación (1):

$$q = \frac{V_{ta}}{t_l}$$

$$q = \frac{20Lt}{174.068\ s}$$

$$q = 0.1148\ \frac{Lt}{s} = 1.148 * 10^{-4}\frac{m^3}{s} = 6.888 * \frac{Lt}{min}$$

Para determinar la eficiencia real de la bomba de ariete se utiliza la ecuación (62):

$$n = \frac{h * q}{H_s * Q_s}$$

Datos:

$Q_s = 1.74\frac{Lt}{seg}$

$h = 20\ m$

$H_s = 5\ m$

$$n = 26.39\%$$

Los datos obtenidos del caudal de descarga se comparan los teóricos:

Tabla 16 *Comparación del caudal de descarga teórico vs real.*

Caudal de descarga (Teórico)	**Caudal de descarga (Real)**	**Error %**
$0.10049\frac{lt}{s}$	$0.1148\ \frac{Lt}{s}$	12.46%

El error está dentro de lo permisible por el modelo de Krol ya que no supera el 15% de error entre lo teórico y lo real.

La presión que se produce dentro de la cámara de aire es de 1 bar, mientras que la presión que se produce en el cuerpo de la bomba es intermitente debido al golpe de ariete en la cual permanece en un rango de 1 bar a 0.5 Bar.



Figura 54 *Presión en la cámara de aire.*



Figura 55 *Presión en el cuerpo de la bomba.*

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- En el diseño de la bomba de ariete hidráulico los principales parámetros que influyen en el funcionamiento son, el diámetro de la tubería de suministro y descarga, la longitud de la tubería de suministro, el caudal de suministro, el peso o la cortante elástica del resorte de la válvula de impulso, y la caída vertical. Con dichos parámetros se obtuvo una caída vertical de 5m, lo cual permitió elevar el fluido a una altura total de 20m y una longitud total de tubería de descarga de 50m.
- La bomba de ariete hidráulico demanda de un buen diseño hidráulico y dinámico. siendo los principales factores la configuración de la válvula de impulso y la cámara de aire, la válvula utiliza un resorte con una constante elástica de 0.49 N/mm, se logró obtener una apertura y cierre de 1 ciclo por segundo y la cámara de aire con una capacidad de 12lt se alcanzó una presión máxima de 1bar.
- La construcción bomba de ariete hidráulico se elaboró a partir de uniones roscadas, para facilitar su instalación, además las partes de la bomba fueron construidas con materiales resistentes a la corrosión y al fenómeno del golpe de ariete, como acero inoxidable, acero galvanizado y latón. De esta manera se aumenta su vida útil y el buen funcionamiento.
- La eficiencia del 26% obtenida en el análisis práctico de la bomba de ariete hidráulico, comparada con el valor calculado del 23.10%, demuestra un desempeño ligeramente superior al esperado. Aunque las bombas de ariete hidráulico tienen una eficiencia relativamente baja debido a su principio de funcionamiento, su operación repetitiva y autónoma permite compensar esta limitación, satisfaciendo de manera efectiva la demanda de agua.
- La bomba de ariete hidráulico es una solución sostenible que opera sin necesidad de combustibles ni electricidad, aprovechando únicamente la energía del agua en movimiento, Comparada con otras bombas, destaca por ser una opción ecológica y de bajo impacto ambiental, contribuyendo al uso responsable de recursos naturales.

4.2 Recomendaciones

- Se debe procurar que el caudal desechado en la válvula de impulso no se desperdicie, ya sea volviéndolo a incorporar a su cauce o utilizándolo para otras actividades.
- Se debe analizar la factibilidad de la utilización de una bomba de ariete, analizando si el lugar de instalación cumple con los requisitos, como la caída vertical, además del caudal necesario que deberá suministrar la bomba.
- Si se necesita aumentar la eficiencia se pueden utilizar bombas de ariete multipropulsoras u en paralelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] M. Mahmud y A. Refat, «Design, Fabrication and Performance Testing of a Hydraulic Ram Pump System», vol. 2, pp. 1-8, ago. 2021, doi: 10.5281/zenodo.3903078.

[2] A. Iofrío González, «Estudio paramétrico de la bomba de ariete», abr. 2020, Accedido: 15 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: http://hdl.handle.net/10317/8519

[3] B. M. F. Torres y C. B. C. Reyes, «Sistema de bombeo para riego mediante ariete hidráulico en sectores aislados de la provincia de Manabí», *Sapienza Int. J. Interdiscip. Stud.*, vol. 3, n.º 7, Art. n.º 7, oct. 2022, doi: 10.51798/sijis.v3i7.511.

[4] R. N. Mbiu, S. M. Maranga, y M. Mwai, «Performance Testing of Hydraulic Ram Pump», *Proc. Sustain. Res. Innov. Conf.*, pp. 6-8, mar. 2022.

[5] S. de las Heras Jiménez, *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. Universitat Politècnica de Catalunya, 2015. Accedido: 24 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://elibro.net/es/ereader/uta/52173?page=121

[6] F. O. Quispe Ordoñez y J. A. Zamora Mejia, «Diseño de bomba de ariete para abastecimiento de agua en reservorio de 350 m3 con fines agrícolas – Cañete», *Repos. Inst. - UCV*, 2023, Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/125116

[7] G. P. Garzón Castilla y J. M. Martínez Vides, «Análisis técnico para definir el proceso de diseño y construcción de una bomba de ariete.», mar. 2022, Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/xmlui/handle/20.500.14167/517

[8] R. V. Marbello Pérez, «Bombas hidráulicas rotodinámicas: teoría y aplicaciones», 2007, Accedido: 15 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21179

[9] Gobierno de Navarra, «BOMBAS HIDRAULICAS». [En línea]. Disponible en: https://www.navarra.es/nr/rdonlyres/4f8a02b4-a60a-42ea-9017-7c19f8722fa2/305689/bombas2.pdf

[10] Ingeniería de Fluidos, «GOLPE DE ARIETE», ingenieriadefluidos. Accedido: 10 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.ingenieriadefluidos.com/golpe-de-ariete

[11] S. Rengifo Hincapié y J. D. Gallego Cadena, «Diseño y construcción de un sistema de ariete hidráulico para el aprovechamiento de aguas lluvias», 2016, Accedido: 10 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://hdl.handle.net/11059/6717

[12] Jose Maria Romero Guerrero y Luis Lorenzo Gutiérrez, «El ariete Hidráulico proyecto e instalación en Ntongui(Angola)», SlideShare. Accedido: 12 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://es.slideshare.net/slideshow/2512-91562pb/76814907

[13] M. F. Radiyan, B. S. Wibowo, y F. T. Sakti, «THE PERFORMANCE AND EFFICIENCY RATING EVALUATION OF A HYDRAULIC RAM PUMP PROTOTYPE WITH HEIGHT VARIATIONS», *FROPIL Forum Prof. Tek. Sipil*, vol. 7, n.º 1, Art. n.º 1, oct. 2019, doi: 10.33019/fropil.v7i1.1403.

[14] M. A.pérez, «HISTORIA DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO», BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO. Accedido: 12 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://bombariete.blogspot.com/2018/12/historia-de-la-bomba-de-ariete.html

[15] S. X. Rivadeneira Carlosama y L. F. Silva Espinosa, «Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico con el desarrollo de un software para su dimensionamiento», bachelorThesis, 2013. Accedido: 15 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5989

[16] Seemin Sheikh, «DESIGN METHODOLOGY FOR HYDRAULIC RAM PUMP (HYDRAM)», 2013, [En línea]. Disponible en: https://www.ijmerr.com/v2n4/ijmerr_v2n4_20.pdf

[17] J. M. R. Guerrero y L. L. Gutiérrez, «El ariete hidráulico. Proyecto e instalación en Ntongui (Angola)», *Diseño Tecnol. Para El Desarro.*, n.º 1, Art. n.º 1, jun. 2014.

[18] C. N. Campaña Calero y D. A. Guamán Alarcón, «Diseño y Construcción de una Bomba de Ariete Hidráulico con capacidad de 120 m. de altura y un caudal de 8 lts/s.», bachelorThesis, QUITO/EPN/2011, 2011. Accedido: 26 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4020

[19] Patricia Barreto Sáenz, «INSTRUCTIVO DE MEDICIÓN DE CAUDAL». 28 de diciembre de 2009. [En línea]. Disponible en: https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/protocols/INSTRUCTUVO_DE_MEDICI%C3%93N_DE_CAUDAL.pdf

[20] R. P. Pauro Chavez, «Diseño de Bomba de Ariete Hidráulico, en la Asociación San Miguel - Yacango Distrito Torata Región Moquegua, 2016», *Univ. José Carlos Mariátegui*, 2018, Accedido: 1 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/327

[21] A. M. G. Cabezas, *Lecciones de topografía y Replanteos*. ECU, 2013. Accedido: 28 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://elibro.net/es/ereader/uta/62294?page=148

[22] A. Castro, «El ariete hidráulico», *Fertil. Tierra Rev. Agric. Ecológica*, n.º 8, pp. 55-57, 2002.

[23] Martinez Montez, David, «El ariete hidráulico guía práctica para su instalación». 2017.

[24] M. M. Paredes Godoy y R. M. Tuquinga Guzmán, «Diseño e Instalación de un Sistema de Bombeo Mediante Ariete Hidráulico en la Comunidad de Airón Cebadas.», bachelorThesis, 2013. Accedido: 1 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/2403

[25] M. Palomino Martínez, «Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico para el Fundo Porvenir, Huanta - 2016», 2016, Accedido: 15 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3151

[26] J. E. Quiroga-Méndez, C. A. Sierra-Gallo, y G. E. Biancha-Gutierrez, «Análisis del ariete hidráulico para diferentes configuraciones Analysis configurations for a ramp pump», mar. 2013.

[27] Alfonso Guati Rojo Sánchez, «PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-093-SCFI-2018, Válvulas de relevo de presión (seguridad, seguridad-alivio y alivio) operadas por resorte y piloto; fabricadas de acero y bronce (cancelará a la NOM-093-SCFI-1994).» Accedido: 2 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5580548&fecha=02/12/2019#gsc.tab=0

[28] C. N. Campaña Calero y D. A. Guamán Alarcón, «Diseño y Construcción de una Bomba de Ariete Hidráulico con capacidad de 120 m. de altura y un caudal de 8 lts/s.», bachelorThesis, QUITO/EPN/2011, 2011. Accedido: 2 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4020

[29] «Válvula de pie de latón Genebre». Accedido: 2 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.tuandco.com/valvula-pie-laton-genebre

[30] A. Mejía Rojas, «Variación de la eficiencia hidráulica en bombas de ariete con una, dos y tres válvulas de pie – Cajamarca, 2023», *Univ. Nac. Cajamarca*, feb. 2024, Accedido: 2 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/6334

[31] GENEBRE S.A., «ARTICULO: 5060 Válvula de Asiento Inclinado con Actuador Simple Efecto Angle Seat valve with Spring Return Actuator». 30 de octubre de 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.genebre.es/valvula-asiento-inclinado-con-actuador-neumatico-de-simple-efecto

[32] «Válvula de retenção oscilante - Fabricante de válvulas industriais». Accedido: 2 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://ntgdvalve.com/pt/valvula-de-retencao-de-giro/

[33] Belgicast company, «Válvulas de retención y filtros». junio de 2013. [En línea]. Disponible en: https://www.belgicast.eu/fileadmin/user_upload/BELGICAST_V%C3%A1lvulas_de_retenci%C3%B3n_y_filtros.pdf

[34] Flomatic valves, «Válvulas de retención de bola». agosto de 2020. [En línea]. Disponible en: https://mobeindustrial.com/wp-content/uploads/2020/08/Valvulas-de-Retencion-de-Bola-FLOMATIC.pdf

[35] A. G. Figueras, «VÁLVULAS DE RETENCIÓN – Valveseal». Accedido: 2 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.valveseal.es/valvulas-de-retencion/

[36] J. B. A. Quispe Arapa, «Evaluación del rendimiento del Ariete Hidráulico BAH-1.1/2 variando la longitud de la tubería de alimentación y condiciones de

operación de la válvula de impulso», *An. Científicos*, vol. 77, n.º 2, Art. n.º 2, dic. 2016, doi: 10.21704/ac.v77i2.485.

[37] «Válvula antirretorno: ¿Qué función tiene y dónde colocarla? – STHexpert». Accedido: 2 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://sthexpert.standardhidraulica.com/valvula-antirretorno/

[38] J. Ortega Nebra y C. González Cebollada, *Construcción, caracterización hidráulica y estudio de aplicación de una bomba de ariete para el riego de una finca agrícola*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza, 2013.

[39] R. F. Galarza Chacón, «Estudio de factores hidráulicos en una bomba de ariete y su efecto sobre la eficiencia», 2013, Accedido: 28 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/3714

[40] José María Peralta y Christian Simpfendörfer, «Riego por aspersión». febrero de 2001. [En línea]. Disponible en: https://biblioteca.inia.cl/bitstreams/0340e3be-f94f-4fc1-92d2-e143055740ba/download#:~:text=Los%20caudales%20utilizados%20con%20estos,variedad%20de%20suelos%20y%20cultivos.

[41] Emiló Duarte, «Revista N° 140 Diciembre 2011», Instituto Plan Agropecuario. Accedido: 30 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.planagropecuario.org.uy/web/150/revistas/diciembre-2011-n%C2%B0140.html

[42] kinenergy.internacional, «Tipos de soporteria que debes conocer para instalaciones MEP - KINENERGY». Accedido: 30 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.kin.energy/blogs/post/tipos-de-soporteria-que-debes-conocer-para-instalaciones-mep

[43] Aceros Arequipa, «Tubos ISO 65». Accedido: 7 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://acerosarequipa.com/pe/es/productos/461/tubos-iso-65

[44] Bhavesh Alloys, «Varilla de acero laminada en frío SAE 1010, precio de barra redonda laminada en caliente AISI 1010», Bhavesh Alloys. Accedido: 7 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.bhaveshalloys.com/varilla-de-acero-laminada-en-frio-sae-1010/

[45] Mundial Material, «Acero Inoxidable AISI 304 Ficha Tecnica, Propiedades, Densidad, Dureza», Material Mundial Grados. Accedido: 7 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.materialmundial.com/acero-inoxidable-ss-astm-sae-aisi-304-ficha-tecnica/

[46] Stephen Jimbo, «Criterios para Seleccionar Proceso y Soldadura | PDF», Scribd. Accedido: 28 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.scribd.com/document/495079488/Criterios-Para-Seleccionar-Proceso-y-Soldadura-Pptx

ANEXOS

Anexo 1 *Diámetros comerciales para tubería de suministro.*

Dimensiones					Propiedades		
Diámetro Nominal	D Exterior	Espesor e	Peso P	Área A	I	W	i
Pulg	mm	mm	Kg/6m	cm	cm4	cm3	cm
1/2	21.35	2.00	0.99	1.22	0.57	0.59	0.98
3/4	26.90	2.30	1.45	1.78	1.34	1.09	0.87
1	33.70	2.50	1.96	2.45	2.98	1.91	1.10
1 1/4	42.40	2.50	2.55	3.13	6.24	3.13	1.41
1 1/2	48.30	2.65	3.02	3.87	10.05	4.41	1.61
2	60.30	2.65	3.79	4.89	20.26	7.04	2.04
2 1/2	73.00	3.20	5.65	7.02	42.73	12.24	2.47
3	88.90	3.20	6.81	8.62	79.09	18.46	3.03
4	114.30	3.60	9.92	12.52	191.78	34.65	3.91

Anexo 2 *Diámetros comerciales de tubería de descarga.*

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

DIÁMETRO		TIPO DE PE	ESPESOR NOMINAL	PRESIÓN DE TRABAJO			LONGITUD DEL ROLLO
Nominal	Exterior						
[plg]	[mm]		[mm]	[psi]	[MPa]	[kgf/cm²]	[m]
1/2	15,80	BD	1,75	80	0,55	5,63	100
1/2		BD	2,97	125	0,86	8,80	100
1/2		MD	2,97	160	1,10	11,26	100
3/4	20,93	BD	2,34	80	0,55	5,63	100
		BD	2,67	91	0,63	6,40	100
		BD	2,99	100	0,69	7,04	100
		BD	3,94	125	0,86	8,80	100
		MD	3,94	160	1,10	11,26	100
1	26,64	BD	2,64	72	0,50	5,07	100
		BD	5,03	125	0,86	8,80	100
		MD	5,03	160	1,10	11,26	100
1 ½	40,89	BD	3,14	57	0,39	4,01	100
2	52,50	BD	4,57	64	0,44	4,50	100
3	77,93	BD	5,99	57	0,39	4,04	50
4	102,96	BD	7,85	57	0,39	4,01	25

NOTA:
BD = Baja Densidad
MD = Media Densidad

Anexo 3 *Diámetros comerciales para el vástago.*

COMPOSICIÓN QUÍMICA						
%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Cr
0 – 0,08	0 - 1	0 - 2	0 – 0,045	0 – 0,03	8 – 10.5	18 – 20

PROPIEDADES MECÁNICAS			
RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm^2)	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm^2)	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
520	220	20	249 - 278

DIMENSIONES
DIÁMETRO
3/16"
1/4"
5/16"
3/8"
1/2"
5/8"
3/4"
1"
1-1/4"
1-1/2"
2"
2-1/2"
3"
3-1/2"
4"
5"
6"

Anexo 4 *Rugosidad para diferentes materiales.*

Material	Rugosidad ε (m)	Rugosidad ε (ft)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo estirado; cobre, latón, acero	1.5×10^{6}	5.0×10^{6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{5}	1.5×10^{4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil —revestido	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil —sin revestir	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien hecho	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

Anexo 5 *Longitudes equivalente para diferentes accesorios hidráulicos.*

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D
Válvula de globo —totalmente abierta	340
Válvula de ángulo —totalmente abierta	150
Válvula de compuerta —totalmente abierta	8
—abierta ¾	35
—abierta ½	160
—abierta ¼	900
Válvula de retención —tipo oscilante	100
Válvula de retención —tipo bola	150
Válvula de mariposa —totalmente abierta, 2-8 in	45
—10-14 in	35
—16-24 in	25
Válvula de pie —tipo disco de vástago	420
Válvula de pie —tipo disco de bisagras	75
Codo estándar de 90°	30
Codo de 90° y radio largo	20
Codo de 90° para calle	50
Codo estándar de 45°	16
Codo de 45° para calle	26
Doblez de retorno cerrado	50
Te estándar —con flujo por la línea principal	20
—con flujo por la ramificación	60

(Reproducido con autorización de Crane Co. *Flow of Fluids through Valves, Fittings and Pipe*, artículo técnico núm. 410, 2011. Todos los derechos reservados).

Anexo 6 *Factores de fricción para diferentes tamaños de tubería.*

Tamaño nominal de la tubería		Factor de fricción, f_T	Tamaño nominal de la tubería		Factor de fricción, f_T
Estados Unidos (in)	Métrico (mm)		Estados Unidos (in)	Métrico (mm)	
½	DN 15	0.026	3, 3½	DN 80, DN 90	0.017
¾	DN 20	0.024	4	DN 100	0.016
1	DN 25	0.022	5, 6	DN 125, DN 150	0.015
1¼	DN 32	0.021	8	DN 200	0.014
1½	DN 40	0.020	10-14	DN 250 a DN 350	0.013
2	DN 50	0.019	16-22	DN 400 a DN 550	0.012
2½	DN 65	0.018	24-36	DN 600 a DN 900	0.011

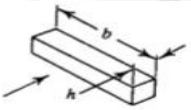
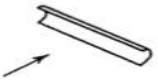
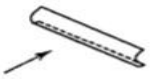
Anexo 7 *Propiedades del agua a diferentes temperaturas.*

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

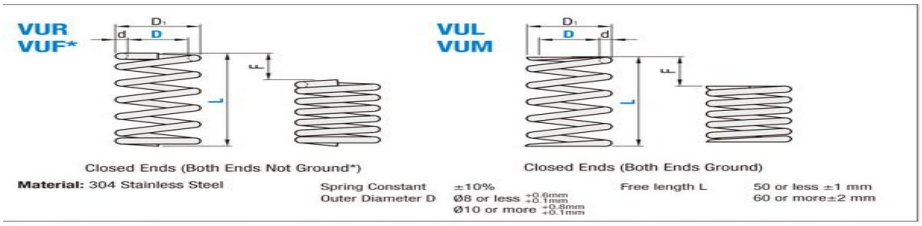
Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m^3)	Densidad ρ (kg/m^3)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m^2/s)
0	9.81	1000	1.75×10^{3}	1.75×10^{6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}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

Anexo 8 Coeficiente de arrastre de diferentes secciones.

Tabla 9.3 Datos del coeficiente de arrastre para objetos seleccionados ($Re \gtrsim 10^3$)[a]

Objeto	Diagrama		C_A ($Re \gtrsim 10^3$)
Cilindro cuadrado		$b/h = \infty$ $b/h = 1$	2.05 1.05
Disco			1.17
Anillo			1.20[b]
Hemisferio (extremo abierto frente al flujo)			1.42
Hemisferio (extremo abierto del lado aguas abajo)			0.38
Sección C (lado abierto frente al flujo)			2.30
Sección C (lado abierto del lado aguas abajo)			1.20

Anexo 9 *Características de diferentes resortes comerciales.*



Constant

VUF: Fmax. (Allowable Deflection) = Lx45% Spring Constant 0.49N/mm {0.05kgf/mm}

Part Number Type	D	L	Outer Dia. D_1	Wire Dia. d	F max.	N{kgf} max.	Reference Pitch	Reference Solid Length	Reference Total Coils
VUF	5	15*	6.0	0.50	6.8	3.33{0.34}	2.3	4.3	7.5
		20*			9.0	4.41{0.45}	3.1		
		25	6.2	0.60	11.3	5.49{0.56}	2.1	8.4	13
		30			13.5	6.57{0.67}	2.5		
		35	6.4	0.70	15.8	7.64{0.78}	2.9	16.1	22
		40			18.0	8.82{0.90}	1.9		
		45			20.3	9.90{1.01}	2.1		
		50			22.5	10.98{1.12}	2.4		
VUF	6	15	7.2	0.60	6.8	3.33{0.34}	1.9	6.0	9
		20			9.0	4.41{0.45}	2.5		
		25			11.3	5.49{0.56}	3.1		
		30			13.5	6.57{0.67}	3.8		
		35	7.4	0.70	15.8	7.64{0.78}	2.7	10.5	14
		40			18.0	8.82{0.90}	3.1		
		45			20.3	9.90{1.01}	3.5		
		50			22.5	10.98{1.12}	2.4		
		55	7.6	0.80	24.8	12.05{1.23}	2.6	18.4	22
		60			27.0	13.23{1.35}	2.9		
VUF	8	20	9.4	0.70	9.0	4.41{0.45}	3.1	6.0	7.5
		25			11.3	5.49{0.56}	3.8		
		30			13.5	6.57{0.67}	4.6		
		35	9.6	0.80	15.8	7.64{0.78}	3.3	10.0	11.5
		40			18.0	8.82{0.90}	3.8		
		45			20.3	9.90{1.01}	4.3		
		50			22.5	10.98{1.12}	4.8		
		55	10.0	1.00	24.8	12.05{1.23}	2.5	24.0	23
		60			27.0	13.23{1.35}	2.7		
		65			29.3	14.31{1.46}	3.0		
		70			31.5	15.39{1.57}	3.2		
		80			36.0	17.64{1.80}	3.6		
VUF	10	20	11.6	0.80	9.0	4.41{0.45}	3.3	6.4	7
		25			11.3	5.49{0.56}	4.2		
		30			13.5	6.57{0.67}	5.0		
		35	11.8	0.90	15.8	7.64{0.78}	3.9	9.9	10
		40			18.0	8.82{0.90}	4.4		
		45			20.3	9.90{1.01}	5.0		
		50			22.5	10.98{1.12}	5.6		
		55	12.2	1.10	24.8	12.05{1.23}	3.1	21.5	18.5
		60			27.0	13.23{1.35}	3.4		
		65			29.3	14.31{1.46}	3.7		
		70			31.5	15.39{1.57}	4.0		
		80			36.0	17.64{1.80}	4.6		
VUF	12	25	14.0	1.00	11.3	5.49{0.56}	3.1	10.0	9
		30			13.5	6.57{0.67}	3.8		
		35			15.8	7.64{0.78}	4.4		
		40			18.0	8.82{0.90}	5.0		
		45			20.3	9.90{1.01}	5.6		
		50	14.2	1.10	22.5	10.98{1.12}	4.3	14.9	12.5
		55			24.8	12.05{1.23}	4.8		
		60			27.0	13.23{1.35}	5.2		
		65			29.3	14.31{1.46}	5.7		
		70			31.5	15.39{1.57}	4.4		
		80	14.4	1.20	36.0	17.64{1.80}	5.0	21.6	17
		90			40.5	19.80{2.02}	5.6		
VUF	16	35	18.4	1.20	15.8	7.64{0.78}	4.7	11.4	8.5
		40			18.0	8.82{0.90}	5.3		
		45			20.3	9.90{1.01}	6.0		
		50			22.5	10.98{1.12}	6.7		
		55	18.6	1.30	24.8	12.05{1.23}	5.2	16.3	11.5
		60			27.0	13.23{1.35}	5.7		
		65			29.3	14.31{1.46}	6.2		
		70			31.5	15.39{1.57}	5.4		
		80	18.8	1.40	36.0	17.64{1.80}	6.2	21.0	14
		90			40.5	19.80{2.02}	6.9		
		100			45.0	22.05{2.25}	7.7		

g on the lot. ① Both ends are not ground for all sizes. ① Operation frequency: One million times

Anexo 10 *Contantes empíricas para la determinación del factor Ka.*

Acabado superficial	Factor a		Exponente
	S_{ut}, kpsi	S_{ut}, MPa	*b*
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

Anexo 11 *Tolerancias generales de acuerdo a la calidad de fabricación.*

Tolerancias de medida	ZONAS DE TOLERANCIA. – Valores en micras (1 μ = 0,001 mm)											TABLA 6 · 8
N.° de calidad	Serie de tolerancias fundamentales	Unidades de tolerancia *i*	De 1,5 a 3	Más de 3 a 6	Más de 6 a 10	Más de 10 a 18	Más de 18 a 30	Más de 30 a 50	Más de 50 a 80	Más de 80 a 120	Más de 120 a 180	Más de 180 a 250
1	IT – 1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2	2	3	4	5
2	IT – 2	1,6	2	2	2	2	2	3	3	4	5	7
3	IT – 3	2,5	3	3	3	3	4	4	5	6	8	10
4	IT – 4	4	4	4	4	5	6	7	8	10	12	14
5	IT – 5	6,4	5	5	6	8	9	11	13	15	18	20
6	IT – 6	10	7	8	9	11	13	16	19	22	25	29
7	IT – 7	16	9	12	15	18	21	25	30	35	40	46
8	IT – 8	25	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72
9	IT – 9	40	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115
10	IT – 10	64	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185
11	IT – 11	100	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290
12	IT – 12	160	90	120	150	180	210	250	300	350	400	460
13	IT – 13	250	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720
14	IT – 14	400	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150
15	IT – 15	640	400	480	580	700	840	1000	1200	1400	1600	1850
16	IT – 16	1000	600	750	900	1100	1300	1600	1900	2200	2500	2900
17	IT – 17	1600	900	1200	1500	1800	2100	2500	3000	3500	4000	4600
18	IT – 18	2500	1400	1800	2200	2700	3300	3900	4600	5400	6300	7200

Con fines constructivos o de fabricación, se aplican las series, generalmente, del modo siguiente:

Serie IT-1 a IT-4, para la fabricación de calibres.
Serie IT-5, para la fabricación de mecánica de máxima calidad.
Series IT-6, IT-7, para la fabricación de mecánica de precisión.
Series IT-8, IT-9, para la fabricación de mecánica esmerada.
Series IT-10, IT-11, para la fabricación de mecánica poco esmerada.

Las series IT-12 a IT-18 se utilizan en la fabricación basta (laminados, prensados, forjados, etc.).

La consignación de la tolerancia puede ser numeral o simplificada; en la consignación numeral después de la medida nominal se expresan las tolerancias, desviación máxima y mínima, y en la consignación abreviada las desviaciones están expresadas por medio de letras, mayúsculas para los agujeros o medidas interiores y minúsculas para los ejes o medidas exteriores, pudiendo verse valores parciales en las Tablas $7_{1\text{-}2}$, 8 y $8_{1\text{-}2}$, 8 respectivamente.

Anexo 12 *Ajustes recomendados.*

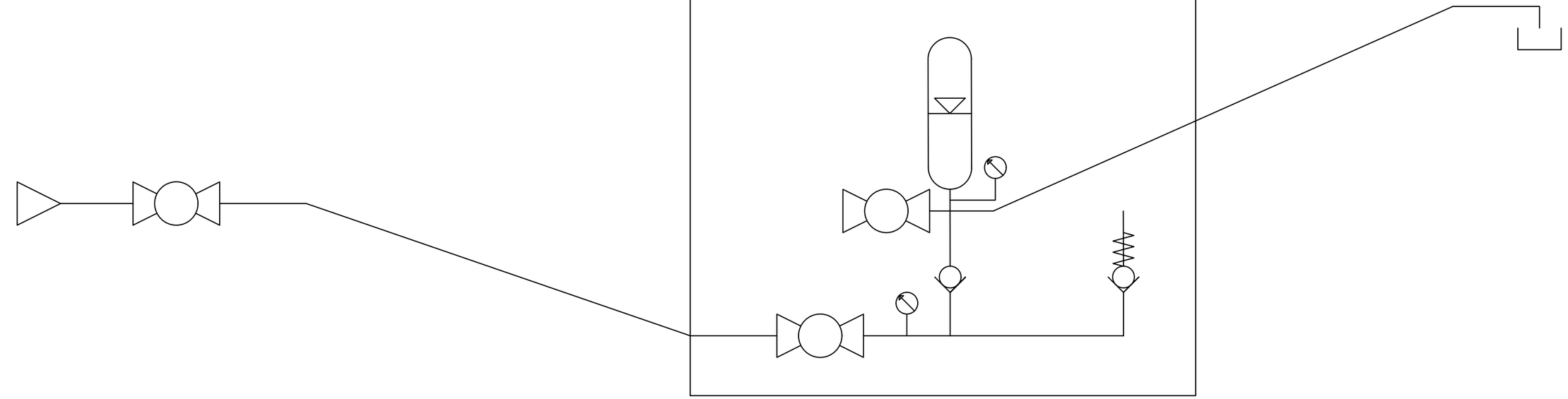
Ajustes	AJUSTES RECOMENDADOS					TABLA 9 . 8	
ESPECIFICACION DE LOS ASIENTOS							
Grado del ajuste	Calidades superficiales	SISTEMA				ASIENTO	
		Agujero único		Eje único			
		Agujero	Eje	Eje	Agujero	Clase	Características
PRECISION		H 6	p 5	h 5	P 6	Forzado muy duro	Piezas montadas por dilatación o contracción; no necesitan seguro contra giro.
			n 5		N 6	Forzado duro	Piezas montadas o desmontadas a presión; necesitan seguro contra giro.
			k 5		K 6	Forzado medio	Piezas que han de montarse o desmontarse con gran esfuerzo; seguro para giro y deslizamiento.
			j 5		J 6	Forzado ligero	Montaje y desmontaje sin gran esfuerzo; necesitan seguro contra giro y deslizamiento.
			h 5		H 6	Deslizante	Piezas lubricadas que se montan y desmontan sin gran trabajo, a mano.
			g 5		G 6	Giratorio	En piezas lubricadas el giro y deslizamiento puede efecturse a mano.
FINO		H 7	s 6	h 6	S 7	Forzado muy duro	Montaje por dilatación o contracción; no necesita seguro contra giro.
			r 6		R 7	Forzado muy duro	Montaje por dilatación o contracción; no necesita seguro contra giro.
			n 6		N 7	Forzado duro	Montado o desmontado a presión; necesita seguro contra giro.
			k 6		K 7	Forzado medio	Montado y desmontado con gran esfuerzo (mediante martillo de plomo); necesita seguro contra giro y deslizamiento.
			j 6		J 7	Forzado ligero	Montado y desmontado sin gran esfuerzo (mediante mazo de madera); necesita seguro contra giro y desplazamiento.
			h 6		H 7	Deslizante	En piezas lubricadas, deslizamiento a mano.
			g 6		G 7	Giratorio	En piezas lubricadas, su juego es apreciable.
			f 7		F 8	Holgado medio	En piezas lubricadas, su juego es más apreciable.
			e 8		E 8	Más holgado	En piezas lubricadas, el juego es muy apreciable.
ESMERADO		H 8	j 9	h 9	J 8	Forzado ligero	Piezas que se han de montar y desmontar con facilidad.
			h 9		H 8	Deslizante	Piezas que deben montarse sin esfuerzo y que deben desplazarse en su funcionamiento.
			e 9		E 8	Giratorio	Piezas móviles con juego desde perceptible a amplio.
			d 9		D 8	Holgado	Piezas móviles con juego muy amplio.
POCO ESMERADO		H 11	h 11	h 11	H 11	Deslizante	Montaje fácil de gran tolerancia y con pequeño juego.
			d 11		E 11	Giratorio	Piezas móviles con gran tolerancia y juego no excesivo.
			c 11		C 11	Holgado	Piezas móviles con gran tolerancia y juego.
			a 11		A 11	Muy holgado	Piezas móviles con gran tolerancia y mucho juego.

Anexo 13 *Tolerancias recomendadas de acuerdo al ajuste.*

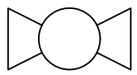
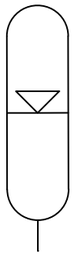
Ajustes	AJUSTES RECOMENDADOS DESVIACIONES EN MICRAS									TABLA 10 . 8
VALORES DE LAS DESVIACIONES DE LOS AJUSTES RECOMENDADOS										
Tolerancia		Valores nominales, en mm; más de...								
Grado de ajuste	Ajuste	1,6 a 3	3 a 6	6 a 10	10 a 18	18 a 30	30 a 50	50 a 80	88 a 120	120 a 180	180 a 250
PRECISION	H6-p5	− 14 − 2	− 17 − 4	− 21 − 6	− 26 − 7	− 31 − 9	− 37 − 10	− 45 − 13	− 52 − 15	− 61 − 18	− 70 − 21
	H6-n5	− 11 + 1	− 13 0	− 16 − 1	− 20 − 1	− 24 − 1	− 28 − 1	− 33 − 1	− 38 − 1	− 45 − 2	− 51 − 2
	H6-k5	—	—	− 7 + 8	− 9 + 10	− 11 + 11	− 13 + 14	− 15 + 17	− 18 + 19	− 21 + 22	− 24 + 25
	H6-j5	− 4 + 8	− 4 + 9	− 4 + 10	− 5 + 14	− 5 + 19	− 5 + 21	− 6 + 26	− 6 + 31	− 7 + 36	− 7 + 42
	H6-h5	+ 12 0	+ 13 0	+ 15 0	+ 19 0	+ 22 0	+ 27 0	+ 32 0	+ 37 0	+ 43 0	+ 49 0
	H6-g5	+ 15 + 3	+ 17 + 4	+ 20 + 5	+ 25 + 6	+ 29 + 7	+ 36 + 9	+ 42 + 10	+ 49 + 12	+ 57 + 14	+ 64 + 15
FINO	H7-s6	− 6 − 22	− 7 − 27	− 8 − 32	− 10 − 39	− 14 − 48	− 18 − 59	− 23 − 78	− 36 −101	− 52 −133	− 76 −169
	H7-r6	− 3 − 19	− 3 − 23	− 4 − 28	− 5 − 34	− 7 − 41	− 9 − 50	− 11 − 62	− 16 − 76	− 23 − 93	− 31 −113
	H7-n6	+ 3 − 13	+ 4 − 16	+ 5 − 19	+ 6 − 23	+ 6 − 28	+ 8 − 33	+ 10 − 39	+ 12 − 46	+ 13 − 52	+ 15 − 60
	H7-k6	—	—	+ 14 − 10	+ 17 − 12	+ 19 − 15	+ 23 − 18	+ 28 − 21	+ 32 − 25	+ 37 − 28	+ 42 − 33
	H7-j6	+ 10 − 6	+ 13 − 7	+ 17 − 7	+ 21 − 8	+ 25 − 9	+ 30 − 11	+ 37 − 12	+ 44 − 13	+ 51 − 14	+ 59 − 16
	H7-h6	+ 16 0	+ 20 0	+ 24 0	+ 29 0	+ 34 0	+ 41 0	+ 49 0	+ 57 0	+ 65 0	+ 75 0
	H7-g6	+ 19 + 3	+ 24 + 4	+ 29 + 5	+ 35 + 6	+ 41 + 7	+ 50 + 9	+ 59 + 10	+ 69 + 12	+ 79 + 14	+ 90 + 15
	H7-f7	+ 25 + 7	+ 34 + 10	+ 43 + 13	+ 52 + 16	+ 62 + 20	+ 75 + 25	+ 90 + 30	+106 + 36	+123 + 43	+142 + 50
	F8-h6	+ 21 + 14	+ 36 + 18	+ 44 + 22	+ 54 + 27	+ 66 + 33	+ 80 + 41	+ 95 + 49	+112 + 58	+131 + 68	+151 + 79
	H7-e8	+ 37 + 14	+ 50 + 20	+ 62 + 25	+ 77 + 32	+ 94 + 40	+114 + 50	+136 + 60	+161 + 72	+188 + 85	+218 +100
	E8-h6	+ 35 + 21	+ 46 + 28	+ 56 + 34	+ 70 + 43	+ 84 + 53	+105 + 66	+125 + 79	+148 + 94	+173 +110	+201 +129
ESMERADO	H8-j9	+ 26 − 13	+ 33 − 15	+ 40 − 18	+ 48 − 22	+ 59 − 26	+ 70 − 31	+ 83 − 37	+ 97 − 44	+113 − 50	+129 − 58
	H8-h9	+ 30 0	+ 48 0	+ 58 0	+ 70 0	+ 85 0	+101 0	+120 0	+141 0	+163 0	+187 0
	H8-e9	+ 53 + 14	+ 68 + 20	+ 83 + 25	+102 + 32	+125 + 40	+151 + 50	+180 + 60	+213 + 72	+248 + 85	+287 +100
	H8-d9	+ 59 + 20	+ 78 + 30	+ 98 + 40	+120 + 50	+150 + 65	+181 + 80	+220 +100	+261 +120	+308 +145	+357 +170
POCO ESMERADO	H11-h11	+120 0	+150 0	+180 0	+220 0	+260 0	+320 0	+380 0	+440 0	+500 0	+580 0
	H11-d11	+140 + 20	+180 + 30	+220 + 40	+270 + 50	+315 + 65	+400 + 80	+480 +100	+560 +120	+645 +145	+750 +170
	H11-c11	+180 + 60	+220 + 70	+260 + 80	+315 + 95	+370 +110	+440 +130	+520 +150	+610 +180	+700 +210	+820 +280
	H11-a11	+390 +270	+420 +270	+460 +280	+510 +290	+560 +300	+630 +320	+720 +360	+820 +410		

PLANOS

Cuerpo de la bomba
de ariete hidráulico

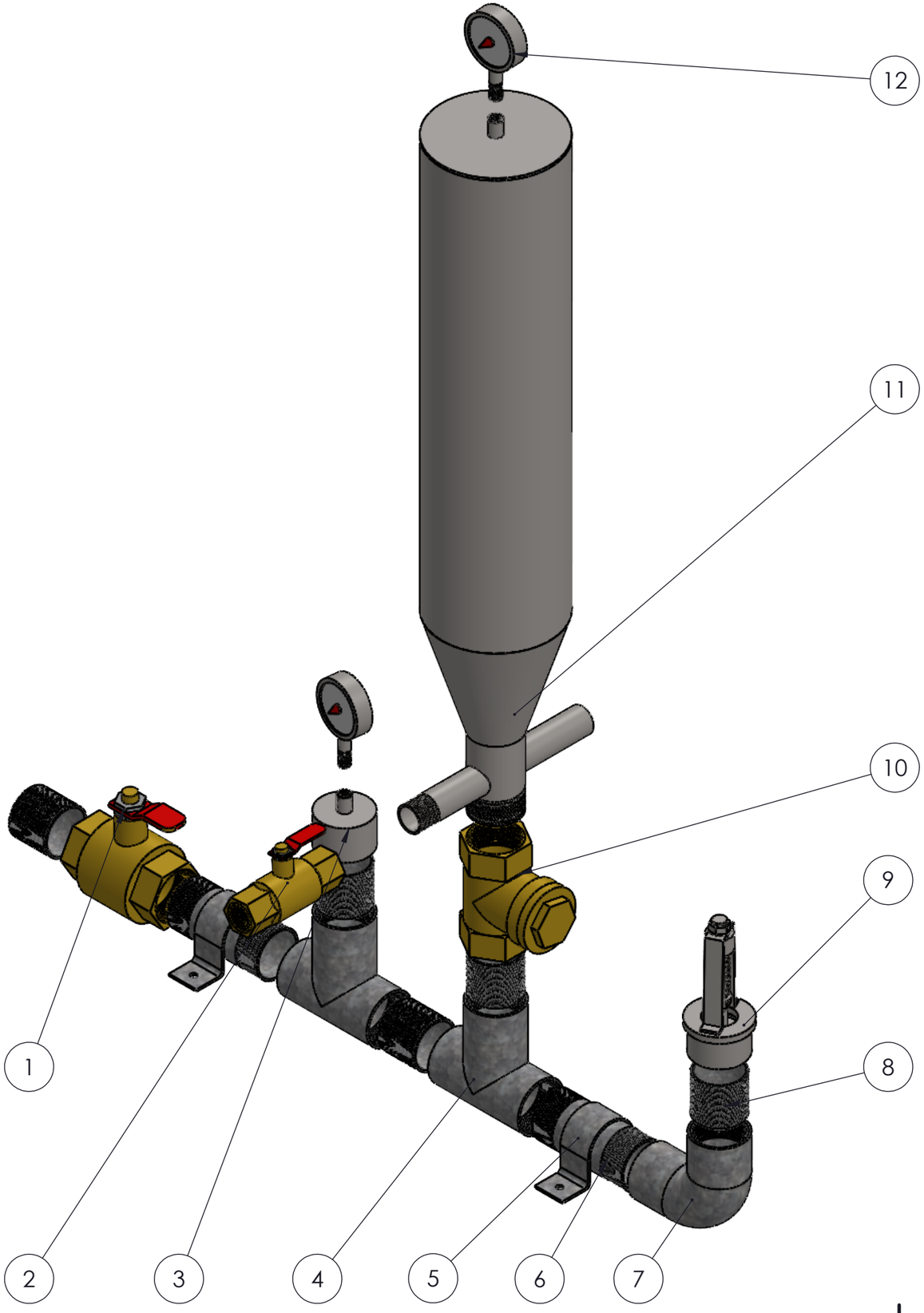


Simbología

Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
	Fuente de alimentación		Válvula de bola
	Tubería		Tanque de almacenamiento
	Manómetro		Válvula de descarga
	Válvula de impulso		Cámara de aire

				Tolerancia	Peso	Materiales
				Na	Na	Na
					Fecha	Nombre
				Dib.	10/12/24	Bustillos, Vargas
				Rev.	19/12/24	Ing. Mayorga A
				Apro.	19/12/24	Ing. Mayorga A
Edic.	Modifi.	Fecha	Nom.	UTA		
				Organización		

Denominación	Esquema hidráulico
Escala	Na
Número de dibujo	1
Registro	
Sustitución	Na



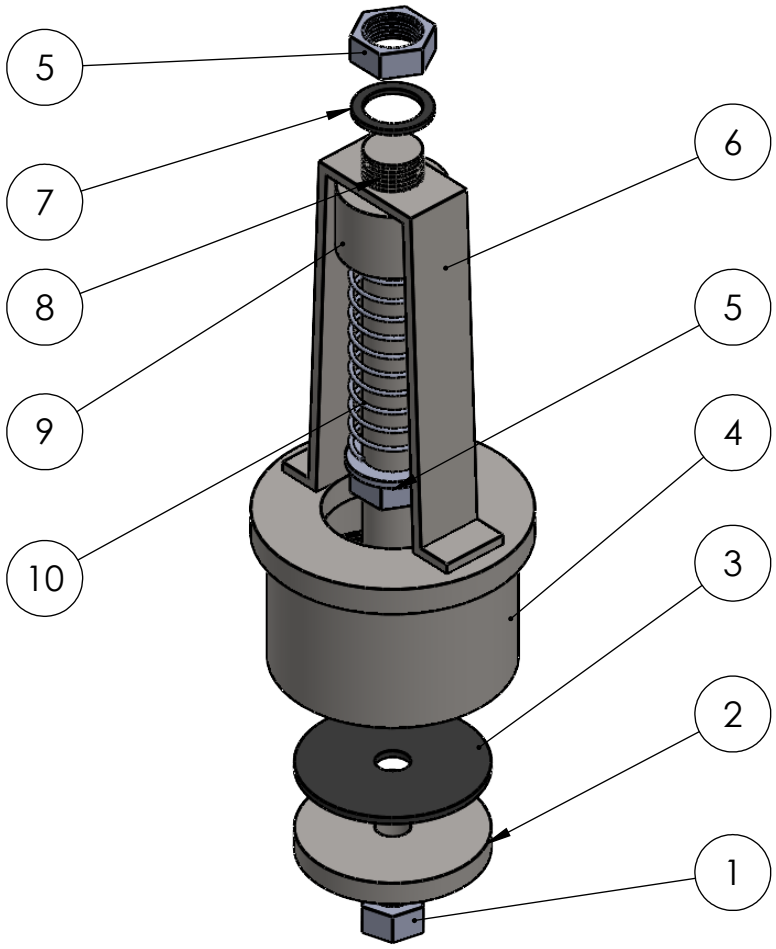
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Válvula de bola	Material: Latón Dimensión:2 in	1
2	Válvula de bola	Material: Latón Dimensión:1 in	1
3	Reducción	Material:SAE 1010 Dimensión:2 in x1/2in	1
4	T	Material: SAE 1010 Dimensión:2 in	2
5	Soporte tipo Omega	Material: SAE 1010	2
6	Neplo largo	Material: SAE 1010 Dimensión:2 in	2
7	Codo de 90°	Material: SAE 1010 Dimensión:2 in	1
8	Neplo corto	Material: SAE 1010 Dimensión:2 in	5
9	Válvula de impulso	Material: AISI 304	1
10	Válvula tipo columpio	Material: Latón Dimensión:2 in	1
11	Cámara de aire	Material: AISI 304	1
12	Manómetro	De glicerina	1

Edic.	Modifi.	Fecha	Nom.

Tolerancia: ± 0.01
Peso: Na
Materiales: Varios

	Fecha	Nombre
Dib.	10/12/2024	Bustillos-Vargas
Rev.	19/12/2024	Ing. Mayorga A
Apro.	19/12/2024	Ing. Mayorga A

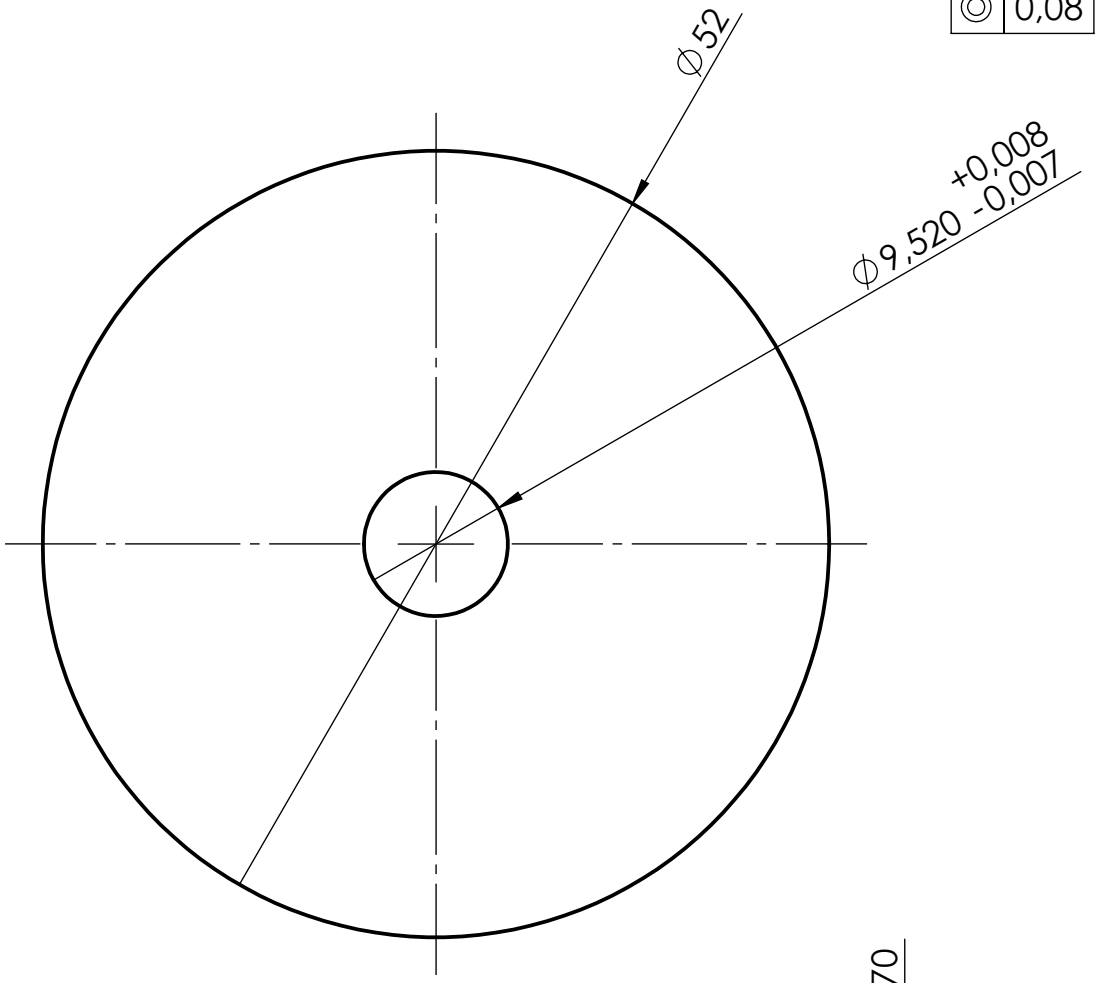
Organización: UTA INGENIERÍA MECÁNICA
Denominación: Bomba de ariete hidráulico
Escala: 1:5
Número de dibujo: 2
Registro
Sustitución



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Tuerca de sujección de disco	AISI 304	1
2	Disco de la válvula	AISI 304	1
3	Sello del disco	Caucho	1
4	Soporte de la base o disco	AISI 304	1
5	Tuerca de regulación de carrera	AISI 304	2
6	Platinas guías del vástago	AISI 304	1
7	Arandela de impacto	Caucho	1
8	Vástago	AISI 304	1
9	Soporte del vástago	AISI 304	1
10	Resorte	lo=60mm,k=0.49N/mm,D=16mm	1

TOLERANCIA: +0.01 -0.01	PESO: Na	MATERIAL: Varios	
	FECHA	NOMBRE	TÍTULO: Válvula de impulso
DIBUJÓ:	10/12/2024	Bustillos, Vargas	ESCALA: 1:2
REVISÓ:	19/12/2024	Ing. Mayorga A	
APROBÓ:	19/12/2024	Ing. Mayorga A	
U.T.A. INGENIERIA MECÁNICA			N.º DE LÁMINA 3
EDICIÓN: MODIFICACIÓN: FECHA: NOMBRE:			SUSTITUCIÓN: REGISTRO:

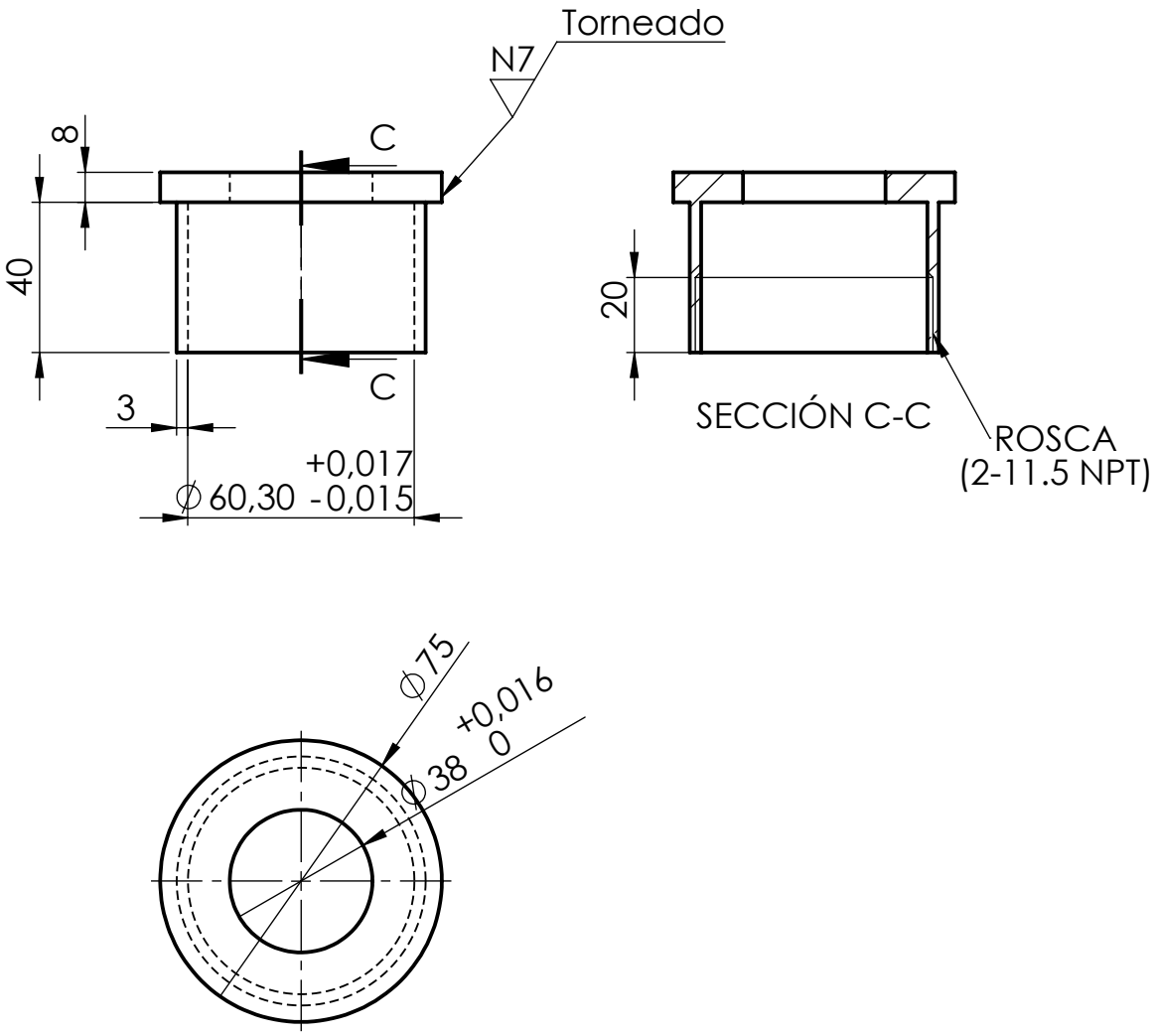
▱	0,08
○	0,01
◎	0,08





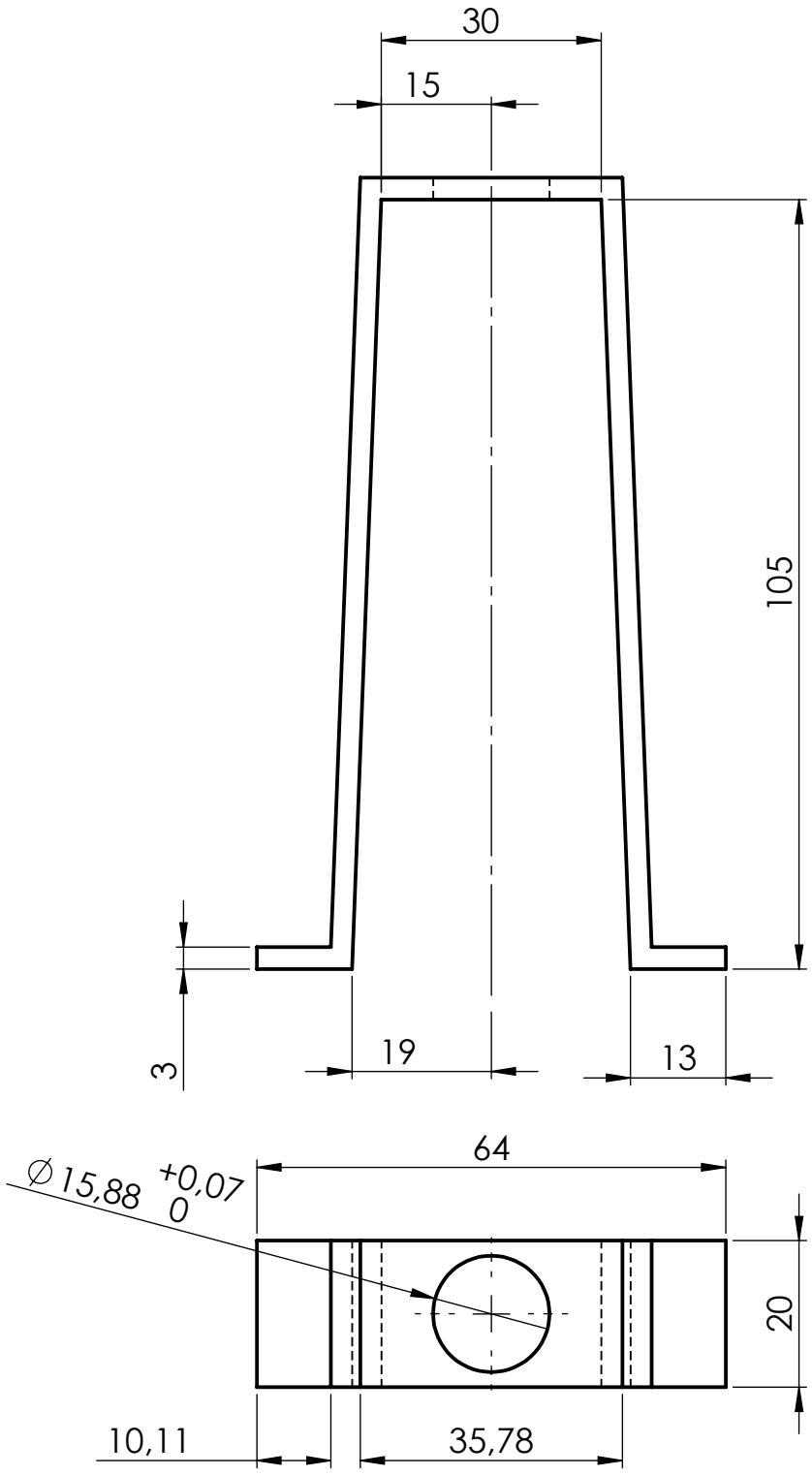
				TOLERANCIA: ±0.01	PESO: 0.11Kg	MATERIAL: AISI 304	
					FECHA / NOMBRE	TÍTULO: Disco de la válvula	ESCALA: 2:1
				DIBUJÓ:	10/12/2024 Bustillos, Vargas		
				REVISÓ:	19/12/2024 Ing. Mayora A		
				APROBÓ:	19/12/2024 Ing. Mayorga A		
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	U.T.A. INGENIERIA MECÁNICA		N.° DE LÁMINA 4	REGISTRO:
						SUSTITUCIÓN:	

⏥	0,08
○	0,1
◎	0,01

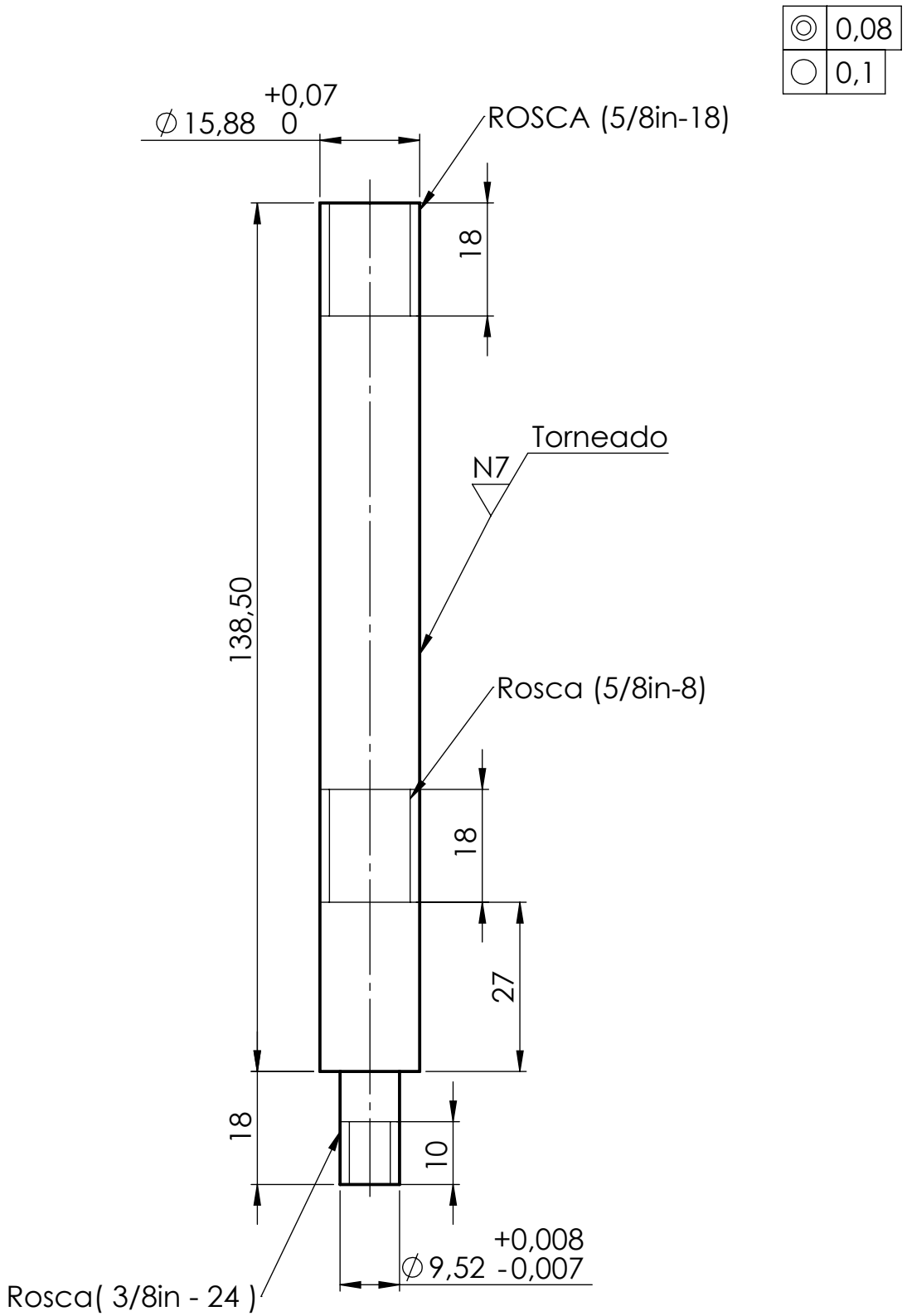


				TOLERANCIA: ±0.01	PESO: 0.41 Kg	MATERIAL: AISI 304	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO: Soporte de la base	ESCALA: 1:2
				DIBUJÓ:	10/12/2024	Bustillos, Vargas		
				REVISÓ:	19/12/2024	Ing. Mayorga A		
				APROBÓ:	19/12/2024	Ing. Mayorga A		
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	U.T.A. INGENIERIA MECÁNICA			N.° DE LÁMINA 5	REGISTRO:
							SUSTITUCIÓN:	

⏥	0,08
—	0,08
⫽	0,08
○	0,1



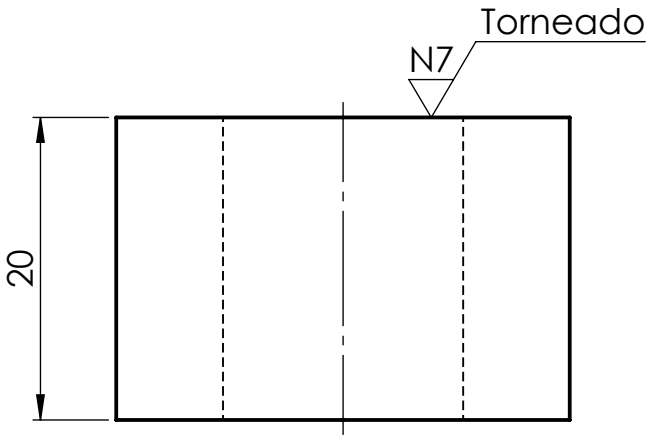
				TOLERANCIA: ± 0.01	PESO: 0.12 Kg	MATERIAL: AISI 304	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO: Platinas guías del Vástago
				DIBUJÓ:	10/12/2024	Bustillos, Vargas	ESCALA: 1:1
				REVISÓ:	19/12/2024	Ing. Mayorga A	
				APROBÓ:	19/12/2024	Ing. Mayorga A	
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	U.T.A. INGENIERIA MECÁNICA			N.° DE LÁMINA 6
							SUSTITUCIÓN:
							REGISTRO:

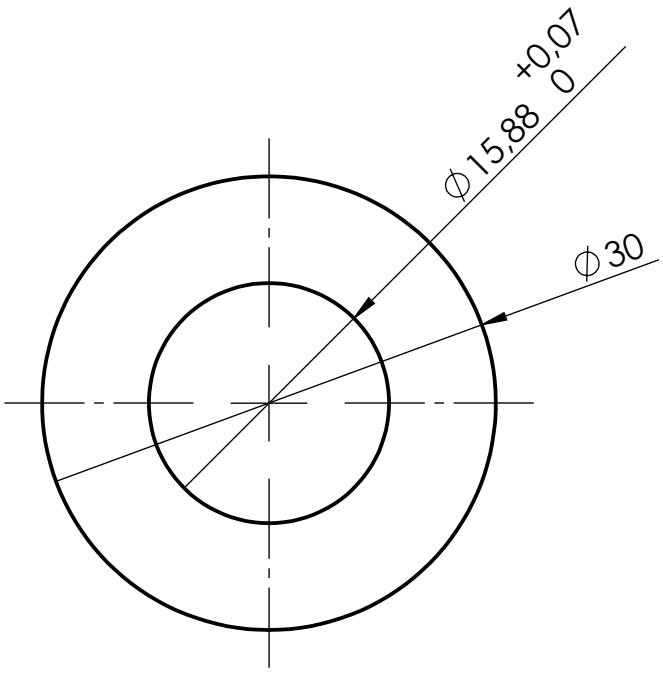


				TOLERANCIA: ± 0.01	PESO: 0.23 Kg	MATERIAL: AISI 304	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO: Vástago
					DIBUJÓ: 10/12/2024	Bustillos, Vargas	ESCALA: 1:1
					REVISÓ: 19/12/2024	Ing. Mayorga A	
					APROBÓ: 19/12/2024	Ing. Mayorga A	
				U.T.A.			N.° DE LÁMINA 7
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	INGENIERIA MECÁNICA			SUSTITUCIÓN:

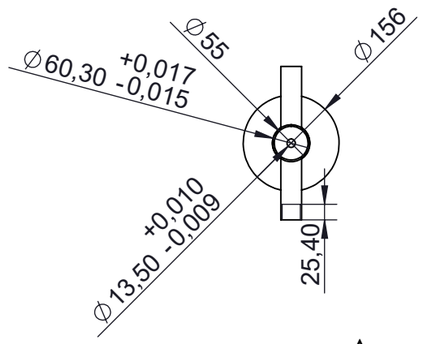
REGISTRO:

◎	0,08		
○	0,1		

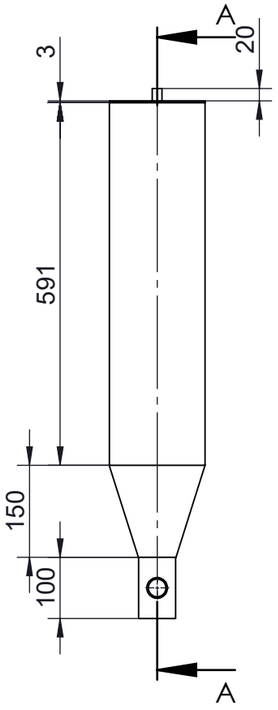


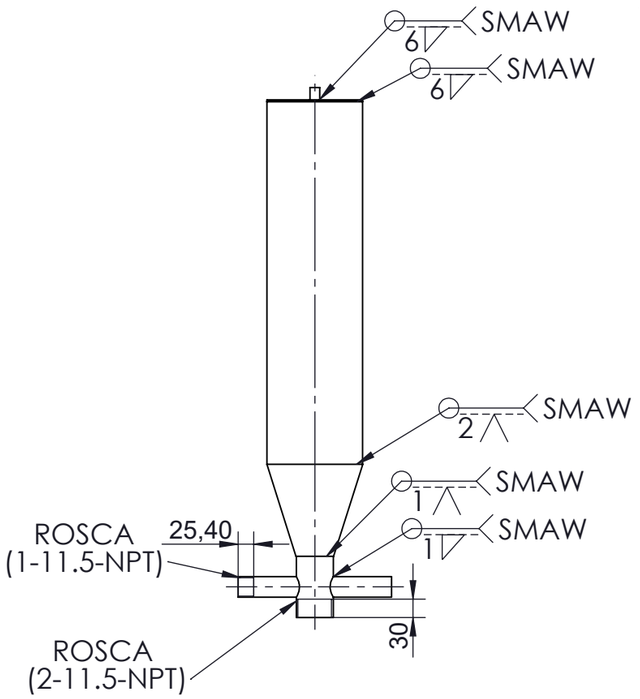


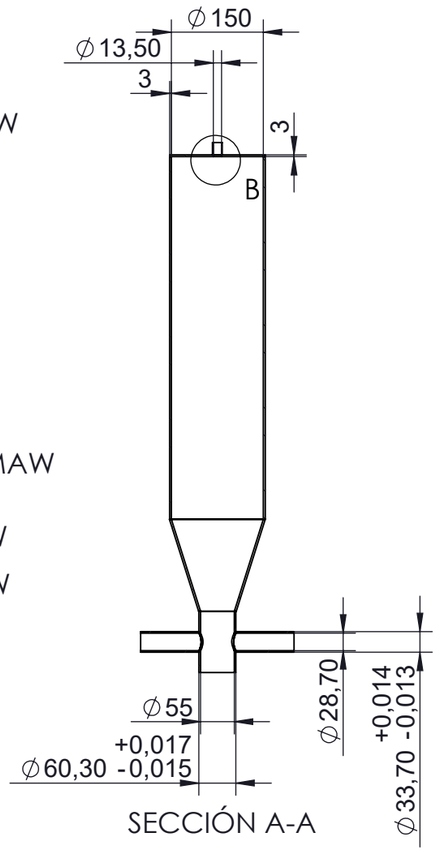
				TOLERANCIA: ± 0.01	PESO: 0.08 Kg	MATERIAL: AISI 304	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO: Soporte del vástago
				DIBUJÓ:	10/12/2024	Bustillos, Vargas	ESCALA: 2:1
				REVISÓ:	19/12/2024	Ing. Mayorga A	
				APROBÓ:	19/12/2024	Ing. Mayorga A	
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	U.T.A. INGENIERIA MECÁNICA			N.° DE LÁMINA 8
							SUSTITUCIÓN:
							REGISTRO:

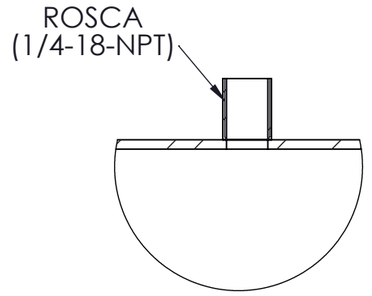


▱	0,08
◎	0,08
○	0,1
⌭	0,1

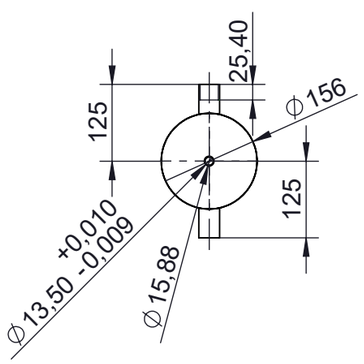








DETALLE B
ESCALA 1 : 2



Edic.	Modifi.	Fecha	Nom.	Tolerancia	Peso	Materiales
				± 0.01	9.25 Kg	AISI 304

	Fecha	Nombre
Dib.	10/12/2024	Bustillos, Vargas
Rev.	19/12/2024	Ing. Mayorga A
Apro.	19/12/2024	Ing. Mayorga A

UTA
Organización

Denominación: Cámara de aire

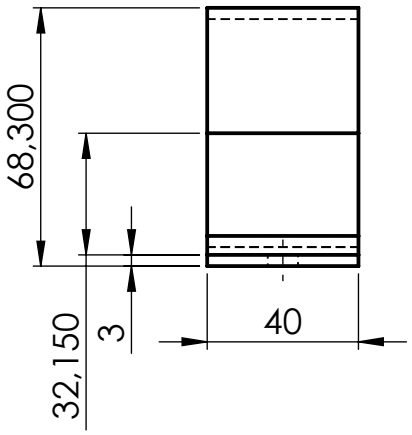
Escala: 1:10

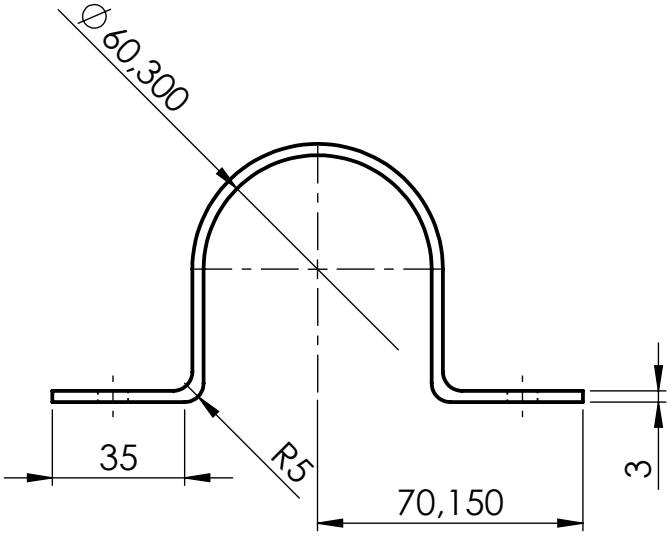
Número de dibujo: 9

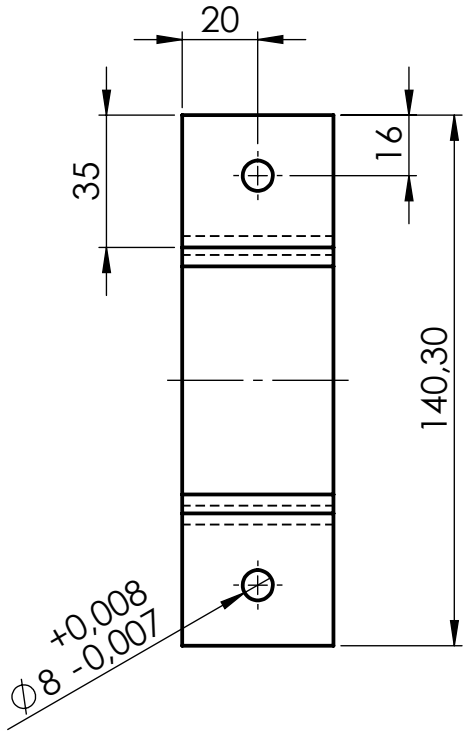
Registro

Sustitución

▱	0,08
○	0,1
◎	0,01







				TOLERANCIA: ±0.01	PESO: 0.23 Kg	MATERIAL: SAE 1010	
					FECHA / NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJÓ:	10/12/2024 Bustillos, Vargas	Soporte tipo Omega	1:2
				REVISÓ:	19/12/2024 Ing. Mayorga A		
				APROBÓ:	19/12/2024 Ing. Mayorga A		
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	U.T.A. INGENIERIA MECÁNICA		N.° DE LÁMINA 10	REGISTRO:
						SUSTITUCIÓN:	