



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA BOMBA DE ARIETE
HIDRAULICO DE 2 PULGADAS PARA EL FUNDO
PACHATICGRA – PINAYA DISTRITO DE SANTA LUCIA
REGION PUNO, 2020

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. MARCO ANTONIO CONDORI QUISPE

Bach. ROLANDO MAMANI MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

A dios todo poderoso por iluminar y guiar mi camino y permitirme convertir en realidad este maravilloso sueño el ser profesional

Dedico esta tesis a mis padres ya que son el pilar fundamental en mi formación académica, ya que me dieron, valores, principios, perseverancia y empeño. Siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte moral y económica para poder llegar a ser un profesional con un gran futuro por delante.

Marco Antonio Condori Quispe



DEDICATORIA

A dios todo poderoso por iluminar y guiar mi camino y permitirme convertir en realidad este maravilloso sueño el ser profesional

A mis amados padres, mejores amigos, maestros y guías de toda la vida, por su sacrificio y dedicación, por compartir conmigo todos los años de su vida, por que estuvieron en mis aciertos y desaciertos para enseñarme a andar, a sobreponerme al dolor valorando la vida, por estar a mi lado también en este gran pasó.

Rolando Mamani Mamani



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar damos infinitamente gracias a Dios, por habernos dado fuerza y valor para culminar esta etapa de nuestras vidas.

A la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, alma mater de nuestra formación profesional.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica y al cuerpo de docentes por los conocimientos impartidos durante el transcurso de nuestra formación profesional.

Agradecemos también la confianza y el apoyo brindado por parte de nuestros padres que sin duda alguna en el trayecto de nuestras vidas nos demostraron su amor, corrigiendo nuestras faltas y celebrando nuestros triunfos.

Marco Antonio Condori Quispe

Rolando Mamani Mamani



INDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

INDICE DE ACRONIMOS

RESUMEN 16

ABSTRACT..... 17

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACION 19

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA..... 20

 1.2.1. Problema general 20

 1.2.2. Problema específico 20

1.3. OBJETIVOS DE INVESTIGACION..... 20

 1.3.1. Objetivo general..... 20

 1.3.2. Objetivos específicos 20

1.4. HIPOTESIS 20

 1.4.1. Hipótesis general..... 20

 1.4.2. Hipótesis específica 21

CAPITULO II

REVISION DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION..... 22

2.2. MARCO TEORICO 25

 2.2.1. Hidráulica..... 25

 2.2.2. Energía hidráulica 25

 2.2.3. Energía potencial 25

 2.2.4. Energía cinética..... 25

 2.2.5. Bomba hidráulica 25

2.3. GOLPE DE ARIETE 26

 2.3.1. Principio básico del golpe de ariete 26



| | |
|--|----|
| 2.3.2. Descripción del fenómeno físico golpe de ariete | 26 |
| 2.4. RESEÑA HISTORICA DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO | 33 |
| 2.5. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE ARIETE | 34 |
| 2.6. COMPONENTES DEL ARIETE HIDRAULICO | 35 |
| 2.6.1. Cuerpo del ariete hidráulico..... | 35 |
| 2.6.2. Válvula de impulso | 35 |
| 2.6.3. Tipos de válvulas de impulso..... | 36 |
| 2.6.4. Válvula de entrega. | 39 |
| 2.6.5. Tipos de válvulas de entrega..... | 39 |
| 2.6.6. Cámara de aire | 42 |
| 2.6.7. Válvula de aire | 43 |
| 2.7. PARAMETROS DE DISEÑO PARA LA BOMBA DE ARIETE | 43 |
| 2.7.1. Ubicación de la bomba | 43 |
| 2.7.2. Altura de entrega..... | 44 |
| 2.7.3. Altura de suministro..... | 44 |
| 2.7.4. Tubería de suministro | 44 |
| 2.7.5. Tubería de entrega | 45 |
| 2.7.6. Caudal de entrega..... | 46 |
| 2.7.7. Velocidad de cierre de la válvula de impulso | 47 |
| 2.7.8. Coeficiente de descarga | 47 |
| 2.7.9. Caudal libre..... | 48 |
| 2.7.10. Pérdidas mayores | 49 |
| 2.7.11. Perdidas menores | 49 |
| 2.7.12. Factor de fricción | 50 |
| 2.7.13. Número de Reynolds | 51 |
| 2.7.14. Rugosidad Relativa | 51 |
| 2.7.15. Caudal de suministro | 52 |
| 2.7.16. Caudal desechado | 53 |
| 2.7.17. Rendimiento Volumétrico..... | 54 |
| 2.7.18. Potencia de la bomba de ariete | 54 |
| 2.7.19. Fuerza de arrastre para la válvula de impulso..... | 55 |
| 2.7.20. Peso máximo para la válvula de impulso..... | 56 |



CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

| | |
|--|-----|
| 3.1. UBICACION GEOGRAFICA | 57 |
| 3.2. UBICACION POLITICA | 57 |
| 3.3. LIMITES..... | 59 |
| 3.4. CARACTERISTICAS DE LA ZONA. | 59 |
| 3.5. MATERIALES | 60 |
| 3.5.1. Materiales de Gabinete | 60 |
| 3.5.2. Materiales de construcción de la bomba de ariete hidráulico..... | 61 |
| 3.5.3. Materiales de la instalación..... | 62 |
| 3.6. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS | 63 |
| 3.7. METODO | 64 |
| 3.7.1. METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN | 64 |
| 3.7.2. Población y muestra..... | 65 |
| 3.7.3. PROCEDIMIENTOS..... | 66 |
| 3.8. SISTEMA DE BOMBEO..... | 71 |
| 3.8.1. Cantidad de la fuente de agua | 71 |
| 3.8.2. Componentes integrantes del sistema de bombeo | 72 |
| 3.8.3. Ubicación de los componentes del sistema de bombeo | 73 |
| 3.8.4. Cálculo de la altura de suministro (H) | 74 |
| 3.8.5. Calculo de la demanda de agua de consumo y del caudal de descarga. | 77 |
| 3.8.6. Calculo del caudal de abastecimiento (Q) | 78 |
| 3.8.7. Elección de la tubería de suministro | 79 |
| 3.8.8. Elección de la tubería de descarga | 82 |
| 3.8.9. Cámara de carga..... | 84 |
| 3.8.10. Reservorio de almacenamiento | 85 |
| 3.8.11. Resumen de resultado del diseño del sistema de bombeo | 86 |
| 3.9. DISEÑO DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO | 88 |
| 3.9.1. Cuerpo de la bomba de ariete hidráulico | 88 |
| 3.9.2. Diseño de la válvula de impulsión..... | 89 |
| 3.9.3. Selección de la válvula de descarga..... | 97 |
| 3.9.4. Determinación de la altura de carga total | 97 |
| 3.9.5. Cámara de aire | 108 |



| | |
|---|-----|
| 3.9.6. Válvula de aire | 115 |
| 3.9.7. Resumen del diseño de los componentes de la bomba de ariete hidráulico | 116 |
| 3.10. CONSTRUCCION DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO..... | 117 |
| 3.10.1. Etapas de construcción de la bomba de ariete hidráulico. | 118 |
| 3.10.2. Construcción de la bomba de ariete hidráulico..... | 119 |
| 3.10.3. Montaje final de los componentes de la bomba de ariete hidráulico..... | 129 |
| 3.10.4. Resumen de materiales que integraron a la bomba de ariete hidráulico... | 131 |
| 3.11. INSTALACION DEL SISTEMA..... | 133 |
| 3.11.1. Captación e instalación de la línea de conducción | 133 |
| 3.11.2. Instalación de la cámara de carga | 134 |
| 3.11.3. Instalación de la línea de suministro..... | 134 |
| 3.11.4. Construcción de la plataforma de bombeo | 135 |
| 3.11.5. Instalación de la bomba de ariete hidráulico | 136 |
| 3.11.6. Instalación de la línea de descarga..... | 136 |
| 3.11.7. Resumen de los componentes | 137 |

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

| | |
|---|-----|
| 4.1. PUESTA EN MARCHA DE LA BOMBA DE ARIETE..... | 138 |
| 4.2. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CAMPO | 141 |
| 4.2.1 Comportamiento de los componentes..... | 142 |
| 4.2.2. Aforo de caudal de alimentación a la cámara de carga..... | 143 |
| 4.2.3. Evaluación de la bomba de ariete a 40 golpes/minuto..... | 144 |
| 4.2.4. Evaluación de la bomba de ariete a 50 golpes/minuto..... | 147 |
| 4.2.5. Evaluación de la bomba de ariete a 60 golpes/minuto..... | 149 |
| 4.3. EFICIENCIA DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO | 152 |
| 4.4. CURVAS DE OPERACIÓN DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO . | 155 |
| 4.5. CALIBRACION FINAL DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO..... | 158 |
| 4.6. COSTO TOTAL DE LA INSTALACION DEL SISTEMA DE BOMBEO ... | 159 |
| 4.7. DISCUSION | 163 |
| 4.7.1. Discusión del diseño del sistema de bombeo..... | 163 |
| 4.7.2. Discusión del diseño de la bomba de ariete hidráulico..... | 164 |
| 4.7.3. Discusión de la construcción de la bomba de ariete | 167 |
| 4.7.4. Discusión de la instalación del sistema de bombeo | 168 |



| | |
|---|------------|
| 4.7.5. Discusión de las pruebas de campo. | 168 |
| V. CONCLUSIONES..... | 171 |
| VI. RECOMENDACIONES | 172 |
| VII. REFERENCIAS..... | 173 |
| ANEXOS..... | 176 |
| ANEXO A. Ubicación geográfica del sistema de bombeo..... | 176 |
| ANEXO B. Diagrama de moody. | 176 |
| ANEXO C. Propiedades físicas del agua. | 177 |
| ANEXO D. Factores de fricción para tuberías comerciales. | 178 |
| ANEXO E. Tubos y conexiones para fluidos a presión..... | 182 |
| ANEXO F. Factor de rendimiento (R)..... | 183 |
| ANEXO G. Plano de montaje, conjunto, despiece y detalle..... | 183 |

TEMA: Bomba de ariete hidráulico.

ÁREA: Energías renovables.

FECHA DE SUSTENTACION 05 DE MARZO DEL 2021



INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Onda de presión en el cierre instantáneo de una válvula..... | 27 |
| Figura 2: Tubería sin perturbaciones..... | 28 |
| Figura 3: Cierre instantáneo de la válvula..... | 29 |
| Figura 4: Propagación de la onda de presión..... | 29 |
| Figura 5: Llegada de la sobrepresión al estanque..... | 30 |
| Figura 6: Tubería con la parte izquierda contraída..... | 30 |
| Figura 7: Diámetro de toda la tubería normal..... | 31 |
| Figura 8: Depresión en la mitad de la tubería..... | 31 |
| Figura 9: Depresión en toda la tubería..... | 32 |
| Figura 10: Tubería con la parte izquierda en movimiento..... | 32 |
| Figura 11: Diámetro de la tubería normal..... | 33 |
| Figura 12: Elementos de la bomba de ariete hidráulico..... | 35 |
| Figura 13: Válvula con resorte de pletina..... | 36 |
| Figura 14: Válvula con plato perforado..... | 37 |
| Figura 15: Válvula con resorte..... | 37 |
| Figura 16: Válvula con pesas encima..... | 38 |
| Figura 17: Válvula con pesas abajo..... | 39 |
| Figura 18: Válvula de solapa..... | 40 |
| Figura 19: Válvula de solapa..... | 40 |
| Figura 20: Válvula de bisagra..... | 41 |
| Figura 21: Válvula de disco suelto..... | 41 |
| Figura 22: Válvula de tapón..... | 42 |
| Figura 23: Esquema de funcionamiento respecto a diferentes caudales..... | 53 |
| Figura 24: Ubicación geográfica del distrito de Santa Lucia..... | 58 |
| Figura 25: Ubicación de fundo Pachaticgra..... | 58 |
| Figura 26: Ruta de Juliaca a la comunidad de Pinaya..... | 60 |
| Figura 27: Esquema metodológico de la investigación..... | 66 |
| Figura 28: Esquema preliminar del sistema de bombeo..... | 74 |
| Figura 29: Esquema final del sistema de bombeo..... | 76 |
| Figura 30: Esquema de la cámara de carga..... | 85 |
| Figura 31: Accesorios del cuerpo de la bomba de ariete..... | 89 |
| Figura 32: Niple modificado de 2x4 pulgadas..... | 91 |



| | |
|---|-----|
| Figura 33: Esquema de características del resorte de compresión. | 92 |
| Figura 34: Resorte principal y secundario de la válvula de impulsión..... | 93 |
| Figura 35: Primera bancada (tapa de niple de 2 pulgadas)..... | 94 |
| Figura 36: Segunda bancada (niple modificado)..... | 94 |
| Figura 37: Perno, tuerca y arandela. | 95 |
| Figura 38: Válvula de impulsión gobernada por resorte. | 96 |
| Figura 39: Válvula de descarga. | 97 |
| Figura 40: Configuración de la cámara de aire. | 114 |
| Figura 41: Orificio de 1mm (recuperador de aire) | 116 |
| Figura 42: Componentes de la bomba de ariete hidráulico. | 118 |
| Figura 43: Componentes adquiridos de la bomba de ariete hidráulico. | 119 |
| Figura 44: Colocación de teflón en las uniones roscadas. | 121 |
| Figura 45: Montaje de los componentes de cuerpo de la bomba de ariete hidráulico. | 121 |
| Figura 46: Ajuste necesario con ayuda de una llave stillson. | 122 |
| Figura 47: Cuerpo de la bomba de ariete con orificio de 1mm. | 122 |
| Figura 48: Tapa de niple antes de la perforación. | 123 |
| Figura 49: Bancada secundaria con perforación. | 124 |
| Figura 50: Vástago y resortes de la válvula de impulsión. | 125 |
| Figura 51: Válvula de impulsión. | 125 |
| Figura 52: Válvula de impulsión instalada. | 126 |
| Figura 53: Válvula de descarga instalada. | 127 |
| Figura 54: Cámara de aire. | 128 |
| Figura 55: Cámara de aire instalada. | 129 |
| Figura 56: Llaves stillson para el apriete de la bomba de ariete hidráulico. | 130 |
| Figura 57: Bomba de ariete hidráulico de 2 pulgadas. | 130 |
| Figura 58: Construcción final de la bomba de ariete hidráulico. | 132 |
| Figura 59: Captación e instalación de la línea de conducción..... | 133 |
| Figura 60: Instalación de la cámara de carga. | 134 |
| Figura 61: Instalación de la línea de suministro. | 135 |
| Figura 62: Construcción de la plataforma. | 135 |
| Figura 63: Bomba de ariete montado a la plataforma. | 136 |
| Figura 64: Instalación de la línea de descarga. | 136 |
| Figura 65: Calibración de la carrera del vástago. | 139 |
| Figura 66: Medición de presión (cuando la llave de descarga está cerrada) | 139 |



| | |
|--|-----|
| Figura 67: Bomba de ariete hidráulico en funcionamiento. | 140 |
| Figura 68: Entrega de agua a 35 metros de altura respecto a la bomba de ariete..... | 141 |
| Figura 69: Medición de presiones en el manómetro. | 142 |
| Figura 70: Numero de golpes por minuto vs caudal de suministro. | 156 |
| Figura 71: Numero de golpes por minuto vs caudal de descarga..... | 156 |
| Figura 72: Numero de golpes por minuto vs eficiencia de la bomba de ariete hidráulico. | 157 |
| Figura 73: Eficiencia vs caudal de descarga..... | 158 |



INDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1: Acceso a la zona del proyecto | 60 |
| Tabla 2: Materiales empleados en la construcción de la bomba de ariete hidráulico.... | 61 |
| Tabla 3: Materiales para la instalación | 62 |
| Tabla 4: Equipos, herramientas y otros materiales de campo. | 63 |
| Tabla 5: Datos sacados en el manantial. | 71 |
| Tabla 6: Calculo de la demanda de agua para el consumo | 77 |
| Tabla 7: Longitud de la tubería de suministro en función del diámetro | 80 |
| Tabla 8: Longitud de la tubería de suministro en función de la altura de suministro.... | 81 |
| Tabla 9: Longitud de tubería de suministro para diferentes diámetros. | 82 |
| Tabla 10: Diámetro de tubería de entrega en función al caudal. | 83 |
| Tabla 11: Resultados de parámetros iniciales de diseño | 86 |
| Tabla 12: Resultados del cálculo de diseño | 87 |
| Tabla 13: Accesorios del cuerpo de la bomba de ariete hidráulico. | 88 |
| Tabla 14: Componentes de la válvula de impulso | 96 |
| Tabla 15: Coeficientes de pérdidas de cargas locales..... | 102 |
| Tabla 16: Características técnicas de la tubería PVC-PN-7.5 | 108 |
| Tabla 17: Datos de los componentes que integran la bomba de ariete hidráulico..... | 116 |
| Tabla 18: Materiales para la construcción del cuerpo de la bomba..... | 120 |
| Tabla 19: Materiales utilizados en la construcción de la bomba de ariete hidráulico. | 131 |
| Tabla 20: Componentes instalados en el sistema de bombeo..... | 137 |
| Tabla 21: Aforo de alimentación a la cámara de carga. | 143 |
| Tabla 22: Aforo de rebose a 40 golpes por minuto. | 145 |
| Tabla 23: Aforo de caudal de descarga a 40 golpes por minuto..... | 146 |
| Tabla 24: Aforo de rebose a 50 golpes por minuto | 147 |
| Tabla 25: Aforo de caudal de descarga a 50 golpes por minuto..... | 149 |
| Tabla 26: Aforo de rebose a 60 golpes por minuto | 150 |
| Tabla 27: Aforo de caudal de descarga a 60 golpes por minuto..... | 151 |
| Tabla 28: Resumen de datos obtenidos en la prueba de campo. | 155 |
| Tabla 29: Eficiencia de la bomba de ariete hidráulico | 155 |
| Tabla 30: Costo total de la instalación del sistema de bombeo. | 159 |



INDICE DE ACRÓNIMOS

- to*** : Es el tiempo que demora la onda en transcurrir una vez la distancia entre la válvula y el embalse es
- Hs*** : Altura de suministro (*m*).
- Hd*** : Altura de entrega (*m*).
- q*** : Caudal de entrega (*m³/s*).
- D*** : Diámetro interno de la tubería de suministro (*m*).
- uc*** : Velocidad de cierre de la válvula de impulso (*m/s*).
- Cd*** : Coeficiente de descarga.
- Cvi*** : Carrera de la válvula de impulso (*mm*).
- Ql*** : Caudal libre (*m³/s*).
- g*** : Gravedad (*m/s²*).
- Δh** : Diferencia de alturas (*m*).
- A*** : Área a la salida del fluido (*m²*).
- γ** : Peso específico del agua (*N/m³*).
- hA*** : Energía añadida o agregada al fluido mediante un dispositivo mecánico (*m*).
- hR*** : Energía removida o retirada del fluido mediante un dispositivo mecánico (*m*).
- hL*** : Pérdidas de energía (pérdidas mayores y menores) por parte del sistema (*m*).
- L*** : Longitud de la corriente de flujo (*m*).
- f*** : Factor de fricción.
- ε** : Rugosidad (*m*).
- NRE*** : Número de Reynolds.
- v*** : Viscosidad cinética (*m/s²*).
- Rr*** : Rugosidad relativa.
- Q*** : Caudal de suministro (*m³/s*).



- Q_p** : Caudal desechado (m^3/s).
- nv** : Rendimiento volumétrico (%).
- P** : Potencia (W).
- F_a** : Fuerza de arrastre sobre la válvula de impulso (Kaf).
- Ca** : Coeficiente de arrastre.
- Av** : Área de sección transversal de la válvula de impulso (m^2).
- V** : Velocidad del fluido en el cuerpo del ariete (m/s).
- HG** : Hierro Galvanizado
- UPR** : Unión de Presión Roscada
- PVC** : Policloruro de vinilo
- HDPE** : Polietileno de alta densidad
- D_s** : Demanda semanal.
- n** : Eficiencia (%).
- PRFV** : Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio
- H_r** : Coeficiente total de pérdidas (m)
- λ** : Coeficiente de fricción o resistencia de la tubería.
- D_i** : Diámetro interno de la tubería de impulso
- e** : Rugosidad absoluta.
- K** : Coeficiente de pa



RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de abastecer de agua para el consumo humano en el fundo Pachaticgra de la comunidad de Pinaya, distrito de Santa Lucia, provincia de Lampa, región Puno, aprovechando un fenómeno físico conocido en la ingeniería hidráulica como golpe de ariete, tenemos como objetivo general que el diseño de la bomba de ariete logra cumplir con los requisitos de caudal y altura de descarga para abastecer de agua al fundo Pachaticgra. El diseño de la bomba de ariete hidráulico es un trabajo experimental, que consiste en la manipulación de la válvula de impulsión con la finalidad de crear tres escenarios con distintos números de golpes por minuto; como resultado se calibro la válvula de impulsión a 50 golpes por minuto obteniendo un caudal de descarga de 7.06 l/min a través de una tubería de ½ pulgada, bombeando una distancia de 50 metros y 35 metros de altura donde se localiza el punto más alto, la bomba de ariete hidráulico logró cumplir los objetivos propuestos en la investigación ; con esta investigación se pudo encontrar un tipo de bomba de ariete hidráulico óptimo, que nos permite aprovechar las fuentes renovables, ya que el presupuesto de construcción no es elevada.

Palabras clave: Ariete hidráulico, caudal, contraimpulso, energías alternativas, hidrodinámica.



ABSTRACT

The present research work was carried out in order to supply water for human consumption in the Pachaticgra farm of the Pinaya community, Santa Lucia district, Lampa province, Puno region, taking advantage of a physical phenomenon known in hydraulic engineering as water hammer, our general objective is that the design of the ram pump meets the flow and discharge head requirements to supply water to the Pachaticgra farm. The design of the hydraulic ram pump is an experimental work, which consists of manipulating the impulsion valve in order to create three scenarios with different numbers of strokes per minute; As a result, the impulsion valve was calibrated at 50 strokes per minute, obtaining a discharge flow of 7.06 l / min through a ½-inch pipe, pumping a distance of 50 meters and 35 meters high where the highest point is located. , the hydraulic ram pump managed to meet the objectives proposed in the investigation; With this research it was possible to find an optimal type of hydraulic ram pump, which allows us to take advantage of renewable sources, since the construction budget is not high.

Keywords: Hydraulic ariete, flow rate, counter-impact, alternative energies, hydrodynamics.



CAPITULO I

INTRODUCCION

Desde hace mucho tiempo uno de los problemas más frecuentes es transportar el fluido hacia los lugares más elevados de la superficie en lugares donde aún no se cuenta con energía eléctrica y el uso de combustibles fósiles resulta costosos, no es posible usar bombas eléctricas ni bombas de combustión interna (Pauro Chavez, 2016), para ello el presente estudio está enfocado en el transporte y elevación de una cantidad de fluido hacia el lugar más alto del terreno, utilizando una técnica muy antigua que se vale de un fenómeno físico denominado golpe de ariete.

Como se puede ver las bombas de ariete hidráulico no son nada nuevo, estas han sido utilizadas desde 1776, con el pasar del tiempo y por ende el avance de la tecnología, con la aparición de motores de combustión interna y los motores eléctricos este sistema entro en desuso ya que no tenía una buena eficiencia, comparadas con estas. Pero aportan de manera considerable para el transporte y elevación de fluido, en tal sentido su aplicación viene nuevamente aflorando en diferentes países y pequeñas localidades o aldeas de bajos recursos económicos donde la instalación de una bomba eléctrica o de combustión interna resultaría imposible.

El diseño de la bomba de ariete hidráulico se realizó con el objetivo de proporcionar un caudal de 7 l/min. y una altura de descarga de 30 metros ya que se calibro la bomba de ariete a 50 golpes por minuto para lograr cumplir con los objetivos y abastecer de agua para el consumo humano al fundo Pachaticgra de la comunidad de Pinaya, distrito de Santa Lucia.

En el primer capítulo se desarrolló el planteamiento de problema. En el segundo capítulo se detalla la revisión de literatura respecto a la bomba de ariete hidráulico. En el



tercer capítulo se desarrolló los materiales y el método que se utilizó en la construcción y funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico. En el cuarto capítulo se desarrolló los resultados que se obtuvieron a partir de los tres escenarios creados durante el funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico, también se detallan las discusiones que se compararon con investigaciones similares. En el quinto y sexto capítulo tenemos las conclusiones y recomendaciones del trabajo realizado. En el séptimo capítulo presentamos las literaturas citadas.

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACION

En el medio rural no se cuenta con electricidad ni con agua potable para el consumo diario, para resolver estos problemas se requieren dispositivos que bombeen el agua la cual se encuentra en zonas distantes en embalses o mantos freáticos, estos dispositivos no deberán consumir energía eléctrica o combustibles, de lograrse esto se resolverá los problemas de agua potable en los lugares apartados de las ciudades y se evitara cualquier tipo de contaminación del medio ambiente (Mendez Rodriguez & Rosas Cortes, 2011).

En el fundo Pachaticgra comunidad Pinaya del distrito de Santa Lucia región Puno, carece de abastecimiento de agua para el consumo humano, por este motivo el presente estudio se enmarca en el aprovechamiento del recurso hídrico y las condiciones geográficas del lugar la misma que ayuda a aprovechar la energía cinética y potencial para elevar una parte del caudal existente hacia un lugar de mayor altura donde se almacenara en un pequeño reservorio.

Para dar solución a la problemática de abastecimiento de agua en el fundo se construyó una bomba de ariete hidráulico, al cual se realizó una modificación en la válvula de impulsión a fin de mejorar la eficiencia, dicha bomba no requiere de energía eléctrica ni combustibles para su funcionamiento.



1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿El Diseño de la bomba de ariete logrará cumplir con el requerimiento de caudal y altura necesarios para abastecer de agua al fundo Pachaticgra de la comunidad de Pinaya, 2020?

1.2.2. Problema específico

- a) ¿El caudal que proporcionara la bomba de ariete a diseñar tendrá un valor superior a 7 l/min?
- b) ¿La altura que proporcionara el diseño propuesto alcanzara un valor superior a 30 m.?

1.3. OBJETIVOS DE INVESTIGACION

1.3.1. Objetivo general

Determinar si el diseño de la bomba de ariete lograra cumplir los requisitos de caudal y altura necesarios para abastecer de agua al fundo Pachaticgra, 2020.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Determinar si el caudal proporcionado por la bomba de ariete diseñado tendrá un valor superior a 7 l/min.
- b) Investigar si la altura que proporcionara el diseño propuesto alcanzara un valor superior a 30 m.

1.4. HIPOTESIS

1.4.1. Hipótesis general

El diseño propuesto del golpe de ariete, mediante la bomba de ariete hidráulico lograra cumplir con el requisito de caudal y altura necesarios para abastecer de agua al fundo Pachaticgra, 2020.



1.4.2. Hipótesis específica

- a) El caudal proporcionado por la bomba de ariete diseñado tendrá un valor superior 7 l/min.
- b) La altura que proporciona el diseño propuesto alcanzara un valor superior a 30 m.



CAPITULO II

REVISION DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

En el trabajo de investigación (Ruiz Santos, Silva Hidalgo, Alvarez Herrera, & Santos Garcia, 2019) “PROBLEMÁTICA DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN SISTEMAS DE CONDUCCIÓN A GRAVEDAD, FINGUACH. REVISTA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA” el abastecimiento de agua potable a representado un problema que ha evolucionado a lo largo del tiempo por su complejidad y una de las razones para ello, es que anteriormente las fuentes que proveían el vital líquido se encontraban cercanas a las comunidades y relativamente sencilla la captación y conducción. En la actualidad a muchos factores, pero principalmente por el aprovechamiento a niveles superiores a los recomendables en cuencas y acuíferos, las fuentes de abastecimiento se localizan más alejadas y en condiciones topográficas adversas para su conducción.

En el trabajo de investigación (Ramirez & Gonzales, 2019) “CONSTRUCCION E INSTALACION DE UNA BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO PARA ALIMENTAR EL SISTEMA DE RIEGO DE UN AREA PARA UNA FINCA AGRICOLA” se expone la teoría utilizada para construir una bomba de ariete hidráulico, resaltando los criterios de selección de cada elemento utilizado. Por otra parte, se muestran las variables que se deben tener en cuenta para el diseño hidráulico del hydram para bombear agua, aprovechando un potencial de 1.8m de altura para llegar a una a altura de cabeza de 26m con una longitud de aproximadamente 85m, esto el fin de recolectar el agua bombeada a futuro por el propietario de una finca ubicada en el municipio de Bituima (Cundinamarca, Colombia). Así mismo se muestran los resultados obtenidos que



permiten caracterizar el ariete construido de 1 pulgada, mostrando las variables que implican la selección de factores para garantizar un diseño óptimo.

En el trabajo de investigación (Chero Lizana, 2018) “DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE ARIETE HIDRAULICO” la tesis busca diseñar y construir un equipo de bombeo mediante ariete hidráulico en el caserío de Feical, perteneciente al distrito de Sondorillo (provincia de Huancabamba, Piura), zona que posee tierras de cultivo, pero que no pueden ser utilizadas debido a la falta de agua de riego, lo cual genera una baja productividad en el sector agropecuario. Para ello, se propone un sistema cuya función es bombear el agua que viene de la quebrada y almacenarla en un reservorio, la cual debe elevarse a un punto más alto, permitiendo que las personas cuenten con este recurso hídrico para poder cultivar sus tierras. La investigación tiene como propósito advertir a la gente que existen otros tipos de bombeos que hoy en día pueden satisfacer sus necesidades, siendo tecnológicamente accesibles, eficientes y ecológicos. Finalmente, se diseñó una bomba de ariete hidráulico de fácil construcción, montaje y buena operatividad, para lo cual se utilizó materiales de buena calidad, durabilidad y resistencia. Adicionalmente, para su funcionamiento, no necesita electricidad ni combustible, haciendo posible el proyecto de una bomba ecológica, es decir, que no contamina el medio ambiente.

En el trabajo de investigación (Fernandez & Salas, 2018) “DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA UTILIZANDO LA BOMBA DE ARIETE EN LA LOCALIDAD LIMABAMBA, SOITOR, MOYOBAMBA” la presente investigación se realizó en la localidad de Limabamba-Soritor-Moyobamba, desde los meses de abril hasta diciembre del 2018. Los objetivos fueron los siguientes: Proponer un diseño de sistema de abastecimiento de agua utilizando bomba ariete para la localidad Limabamba, Soritor, revisando los escenarios topográficos. Para lo cual también se



realizó el estudio de la fuente para el sistema de abastecimiento de agua utilizando el método del aforo y un estudio de calidad que posee el agua para el consumo para plantear un diseño de abastecimiento de agua se realizaron cálculos que permitió dar origen a la propuesta de diseño. Donde se obtuvo las conclusiones de la identificación de las condiciones topográficas las cuales permitieron desarrollar los cálculos y diseños para la bomba de ariete. Además, el análisis físico químico y microbiológico de la quebrada de Limabamba (captación) cumple con los parámetros establecidos. Y el estudio del caudal para determinar el volumen suficiente para el abastecimiento de la población. Así mismo se logró establecer el abastecimiento futuro de 204 pobladores, donde se determinó una captación tipo barraje, desarenador, línea de conducción y posteriormente un reservorio que tendrá un sistema de cloración por goteo.

En el trabajo de investigación (Peralta Surco, 2015) “APLICACIÓN DEL GOLPE DE ARIETE HIDRAULICO PARA EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA DE MANANTIAL EN QUEQUERANA MOHO” se plantea la instalación en la comunidad de Quequerana provincia de Moho, en el cual la fuente encontrada para que sirva de suministro de agua a la bomba de ariete, en épocas de estiaje la disminución de su caudal es mínimo, esta fuente de agua hasta la actualidad no es aprovechado para su uso. El caudal suministrado de la fuente de agua es 3.2 litros/seg. La diferencia de elevación que se tiene en cuanto a la fuente de alimentación y la primera propuesta de la instalación del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, es de 5 metros de desnivel, lo cual nos indica que el ariete hidráulico puede funcionar con normalidad elevando un caudal al reservorio de almacenamiento. Los resultados que se obtienen es, cuando la altura de alimentación es de 4 metros, el caudal elevado es de 18 lt/min, eficiencia es de 43%. Sin embargo cuando el desnivel de alimentación es de 8 metros el caudal de bombeo y/o elevación es de 48.60 lt/min, y su eficiencia es de 60%. El lugar a aprovechar como punto



de alimentación, debido a que el desnivel del terreno tiene una altura de más de 5 metros, llegando incluso a los 8 metros.

2.2. MARCO TEORICO

2.2.1. Hidráulica

La hidráulica es una de las ramas de la física, que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los fluidos (líquidos) dependiendo de las fuerzas a que pueden ser sometidos.

2.2.2. Energía hidráulica

Es la energía renovable que se obtiene de los fluidos (agua), provenientes de ríos, embalses, cuencas, saltos naturales o cualquier otra fuente que aumente la energía cinética y potencial del fluido.

2.2.3. Energía potencial

Es la energía que almacena un objeto y que depende de su posición con respecto a otros objetos, o de que exista un campo de fuerzas dentro de él.

2.2.4. Energía cinética

Dentro de la hidráulica, se le define como el trabajo necesario para aumentar la velocidad de los fluidos desde su estado de reposo hasta alcanzar su máxima velocidad.

2.2.5. Bomba hidráulica

Es una maquina capaz de transformar la energía con la que funciona (generalmente mecánica o eléctrica) en energía del fluido que intenta mover. Dicho de otra forma, suministra al fluido el caudal y la presión necesaria para cumplir determinada función.



2.3. GOLPE DE ARIETE

2.3.1. Principio básico del golpe de ariete

En algunos de los casos la existencia del fenómeno de golpe de ariete representa un problema no deseado en muchos de los sistemas de traslado de fluido, el mismo que puede originar sobre presiones y hasta roturas en los sistemas. El golpe de ariete se refiere a las fluctuaciones de presión originadas por un repentino aumento o disminución de la velocidad del flujo. Estas fluctuaciones de presión pueden ser lo suficientemente severas como para fracturar la tubería de agua. Los problemas potenciales del golpe de ariete pueden ser considerados al evaluarse el diseño de las tuberías y cuando se desarrolla un análisis detallado de las oscilaciones de presión, en diversos casos para evitar malos funcionamientos y reparaciones en el sistema de distribución (Rivadeneira Carlosama & Silva Espinosa, 2013).

Este fenómeno es un problema no deseado en conductos cerrados, pero se puede aprovechar valiosas ventajas al acumular cierta presión en sistemas de tuberías que, dependiendo del enfoque técnico, pueden resultar en una magnífica alternativa para el transporte del fluido

Este principio de golpe de ariete se puede emplear en una máquina simple para elevar agua, llamada bomba de ariete hidráulico.

2.3.2. Descripción del fenómeno físico golpe de ariete

a. Golpe de Ariete el fenómeno físico.

Durante el estudio del fenómeno del golpe de ariete hay que desentenderse de dos hipótesis generalmente utilizadas: fluido incompresible y régimen permanente. El golpe de ariete es un fenómeno temporal y por tanto de régimen variable, donde la tubería ya no es rígida y el líquido es compresible. (Mataix, 1986)

Este fenómeno se ocasiona en los conductos al cerrar o abrir una válvula, al poner en curso u parar una máquina hidráulica o también al reducir bruscamente el caudal.

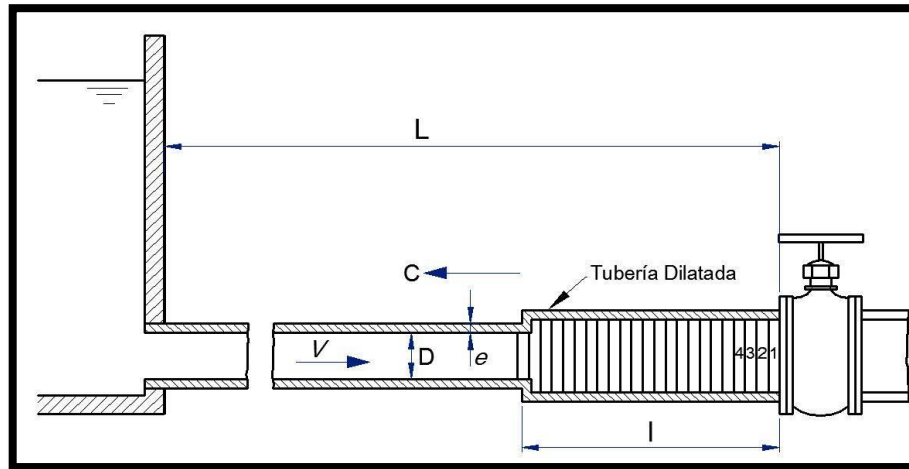


Figura 1: Onda de presión en el cierre instantáneo de una válvula

Fuente: (Mataix, 1986)

La Figura 1 señala una tubería de longitud (L), espesor (e) y diámetro interior (D) por la que transita agua proveniente de un embalse y que culmina en su extremo derecho en una válvula. Si se cierra ésta rápidamente, en eficacia del principio de conservación de energía, al disminuir la energía cinética, ésta se va modificando en un trabajo de compresión del fluido que llena la tubería y en el trabajo necesario para dilatar esta última: se ha ocasionado una sobrepresión, o un golpe de ariete positivo. Por el contrario, al abrir rápidamente una válvula se puede ocasionar una depresión, o golpe de ariete negativo.

b. Explicación del fenómeno golpe de ariete

Aun cuando es físicamente imposible cerrar una válvula instantáneamente, el estudio preliminar del caso de cierre instantáneo ayuda al estudio de los casos reales. Al cerrarse por completo brevemente la válvula de la Figura 1, si seccionamos

imaginariamente todo el fluido que llena la tubería en rodajas, como la 1, 2, 3 y 4 indicadas en la figura, se quedará primero en reposo la rodaja 1 y a sucesión la 2, 3, 4, etc.; necesitando un cierto tiempo. Esto quiere decir, en la válvula se ha producido una onda de presión que se extiende con velocidad C , la cual en el momento considerado tiene dirección opuesta a la velocidad V del fluido: se ha originado una onda elástica o sea una onda de presión que se extiende por la tubería, se refleja en el embalse, vuelve a la válvula, de nuevo al embalse, y así ininterrumpidamente; creando sobrepresiones y depresiones en la tubería, el cual se dilata o contrae al paso de la onda. Siendo L la longitud de la tubería y C la velocidad de la onda, el tiempo que demora la onda en transcurrir una vez la distancia entre la válvula y el embalse es $t_o = \frac{L}{C}$ (Mataix, 1986).

Si tenemos en presente una serie de sucesos en la tubería se obtendrá lo siguiente:

1. No habrá alteración. Régimen permanente. El líquido en la tubería transita con velocidad V del embalse a la válvula, ver figura 2

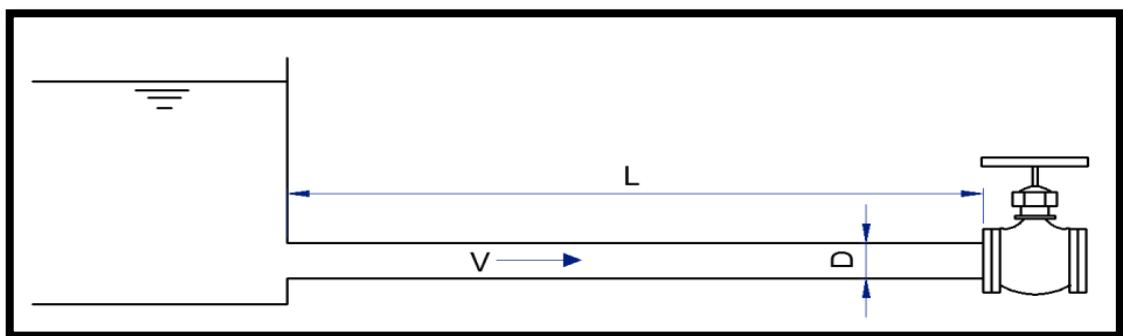


Figura 2: Tubería sin perturbaciones

Fuente: (Mataix, 1986)

2. En el tiempo 0. La válvula se cierra instantáneamente y la velocidad del líquido se anula a partir de la válvula, ver figura 3.

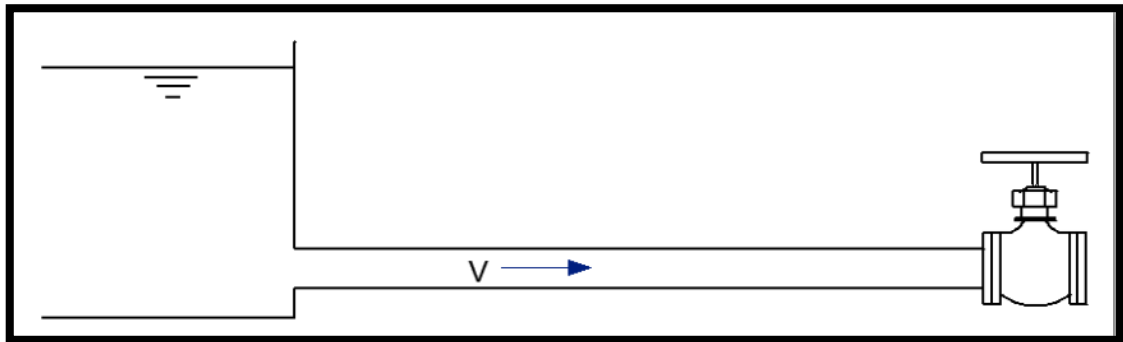


Figura 3: Cierre instantáneo de la válvula.

Fuente: (Mataix, 1986)

3. En el tiempo $\frac{t_0}{2} = \frac{1}{2} \frac{L}{C}$. La onda de presión se ha extendido hacia el embalse con celeridad C, llegando así la onda a la mitad de la tubería, la mitad izquierda de la tubería tiene un diámetro normal y la mitad derecha de la tubería esta dilatada por la sobrepresión, ver figura 4.

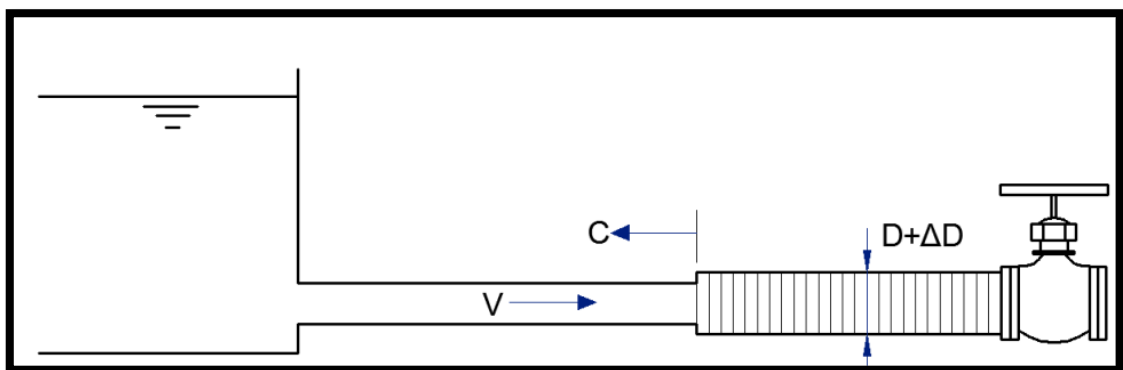


Figura 4: Propagación de la onda de presión.

Fuente: (Mataix, 1986)

4. En el tiempo $t_o = \frac{L}{C}$. La onda de presión ha alcanzado al embalse, de tal manera que el líquido está en reposo en toda la tubería asiendo que esta se dilate, ver figura 5.
- 5.

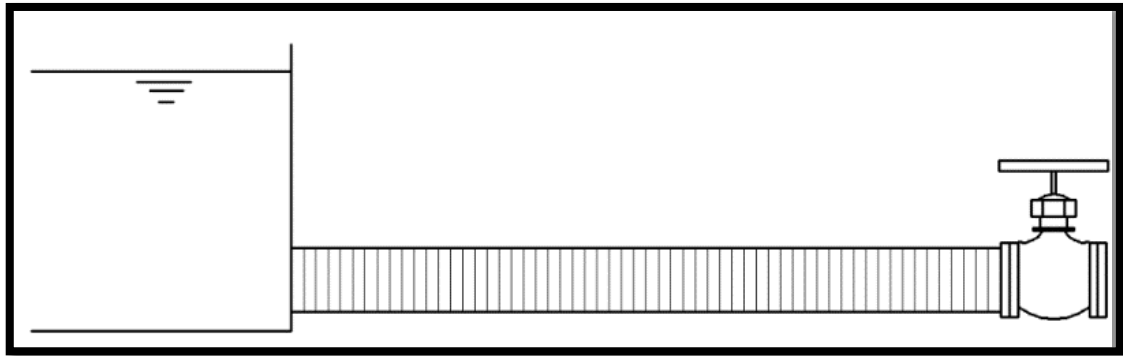


Figura 5: Llegada de la sobrepresión al estanque.

Fuente: (Mataix, 1986)

5. En el tiempo $\frac{3}{2}t_0 = \frac{3L}{2C}$. La parte izquierda de la tubería se ha contraído a su diámetro normal pero la onda sigue extendiéndose hacia la derecha con velocidad C y en la mitad izquierda de la tubería el líquido circula con la velocidad V , ver figura 6.

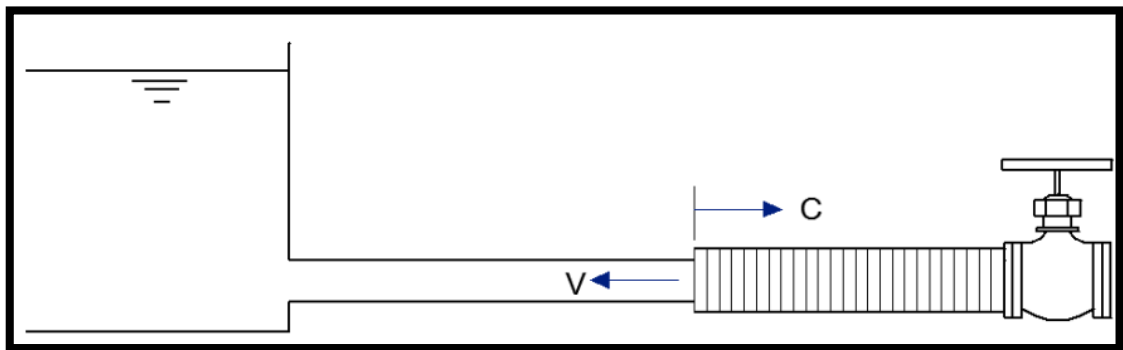


Figura 6: Tubería con la parte izquierda contraída.

Fuente: (Mataix, 1986)

6. En el tiempo $2t_0 = \frac{2L}{C}$. No habrá sobrepresión en toda la tubería, pero por la inercia la presión continua reduciéndose y la onda elástica se sigue propagando solo que ahora con depresión desde la válvula hacia el embalse con la velocidad C ; el diámetro de la tubería ira reduciéndose por debajo de su diámetro normal, ver figura 7.

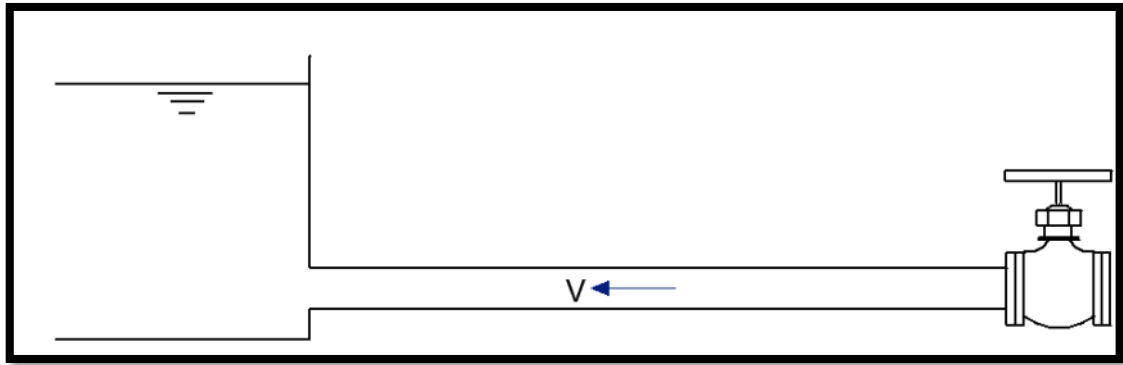


Figura 7: Diámetro de toda la tubería normal.

Fuente: (Mataix, 1986)

7. En el tiempo $\frac{5}{2}t_0 = \frac{5L}{2C}$. La depresión ha llegado a la mitad de la tubería de tal manera que la mitad derecha de la tubería contiene líquido en reposo y a una presión por debajo de la normal y el diámetro de la tubería en esta mitad es menor a la normal, ver figura 8.

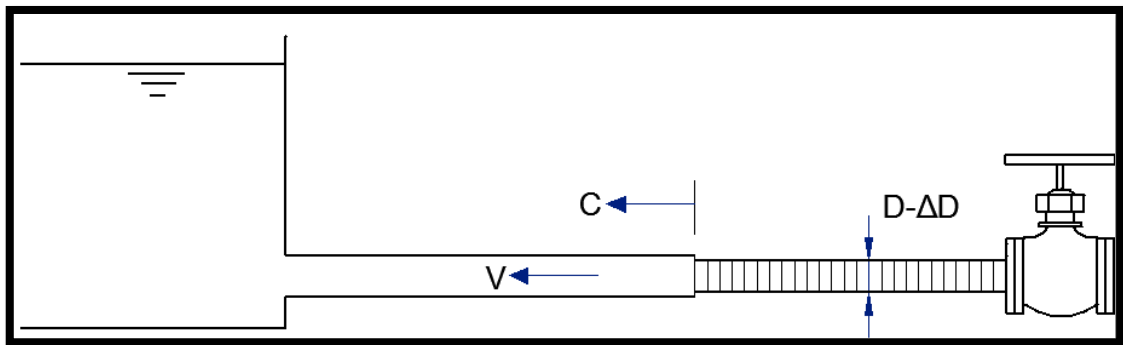


Figura 8: Depresión en la mitad de la tubería.

Fuente: (Mataix, 1986)

8. En el tiempo $3t_0 = 3\frac{L}{C}$. El líquido comienza su movimiento desde el embalse a la válvula con velocidad V y esta se dirige hacia la derecha de forma que la depresión está presente en toda la tubería y el diámetro de la tubería será inferior al normal, ver figura 9.

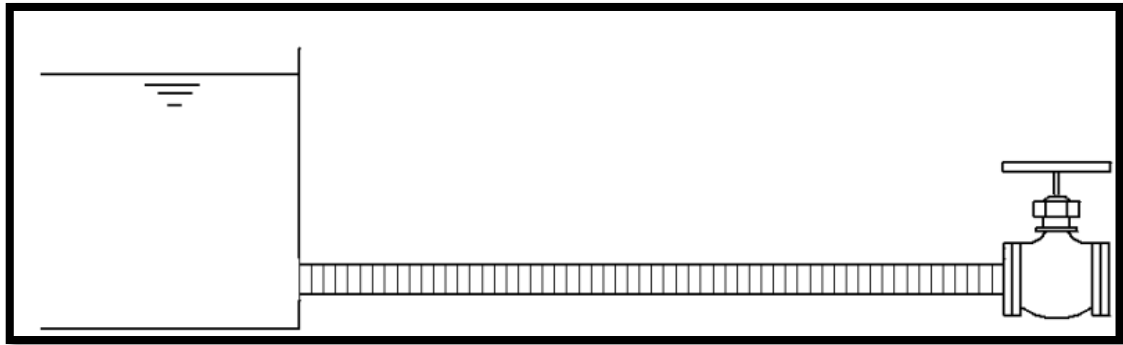


Figura 9: Depresión en toda la tubería.

Fuente: (Mataix, 1986)

9. En el tiempo $\frac{7}{2}t_0 = \frac{7L}{2c}$. En la mitad izquierda de la tubería el líquido está en movimiento con velocidad V y con el diámetro normal, la mitad derecha el líquido continúa en reposo y en depresión pero con el diámetro menor al normal, ver figura 10.

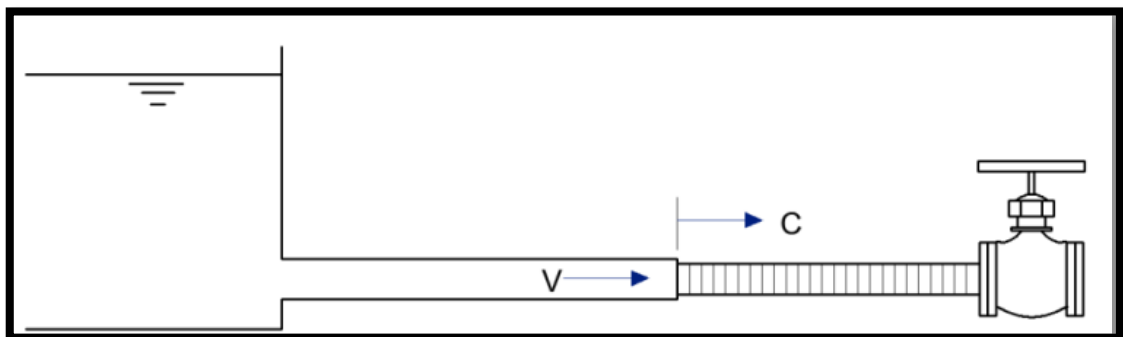


Figura 10: Tubería con la parte izquierda en movimiento.

Fuente: (Mataix, 1986)

10. En el tiempo $4t_0 = 4\frac{L}{c}$. Todo el líquido se encuentra en movimiento con velocidad V hacia la válvula al igual que en el tiempo 0, ver figura 11.

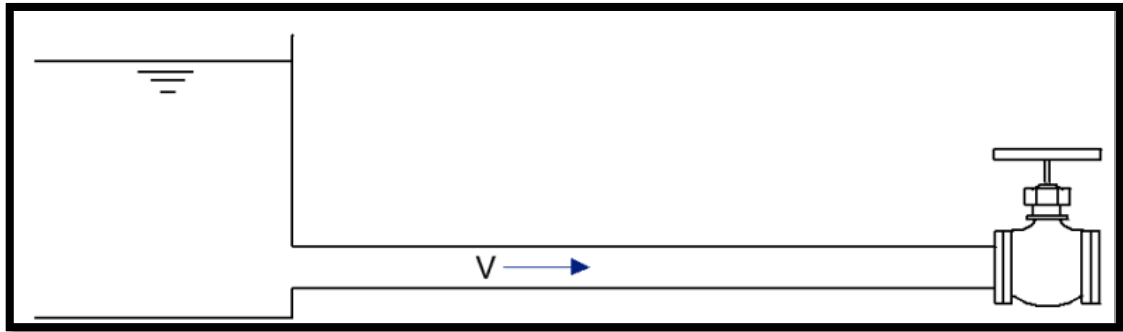


Figura 11: Diámetro de la tubería normal.

Fuente: (Mataix, 1986)

De esta forma el movimiento oscilatorio continúa indefinidamente logrando la deformación de la tubería y la viscosidad del líquido disipa la energía y las oscilaciones se amortiguan.

2.4. RESEÑA HISTORICA DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO

La primera bomba de ariete fue inventada por el francés Joseph Michel Montgolfier en el año 1796 para que esta elevara agua en su fábrica de papel en Voiron. En tanto su amigo Matthew Boulton hizo una patente británica a su nombre en 1797, se obtuvo una patente británica con una versión mejorada en 1817 por los hijos de Montgolfier y esta fue adquirida junto al diseño de Whitehurst en el año 1820 por Josiah Easton.

James hereda la firma de su padre Easton en (1796-1871), logrando convertirse en uno de los fabricantes de ingeniería más importantes en el Reino Unido, realizando grandes obras en Erith, Kent. Logrando especializarse en el abastecimiento de agua y alcantarillado en todas partes del mundo. Logrando popularizarse mucho en el siglo XIX pero con la llegada de la electricidad y los motores de bajo coste, estas caerían en desuso.



En el 2013 se menciona por Rivadeneira y Silva que un simple salto en el curso de un río y una bomba de ariete hidráulico, nos permitirá elevar agua a una altura muchas veces superior al desnivel de cause, todo esto sin recurrir a fuentes energéticas fósiles, eléctricas o nucleares.

En la historia indica que la bomba de ariete hidráulico irrumpe, ya que al principio de la era de los grandes inventos, esta alcanzó la adultez en paralelo al motor de combustión interna y las máquinas de vapor.

2.5. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE ARIETE

El principio de como es el funcionamiento de la bomba de ariete se muestra en la figura 12. El cálculo se basa en la conversión de la energía de velocidad del líquido que fluye en energía de elevación. El líquido fluye desde la fuente a través del tubo de accionamiento (A) y esta escapa a través de la válvula de desagüe (B) hasta que se acumula la presión necesaria para cerrar la válvula de desagüe. Luego, el líquido surge a través de la válvula de descarga interior (C) en la cámara de aire (D), comprimiendo el aire atrapado en la cámara. Cuando el líquido a presión alcanza el equilibrio con el aire atrapado esta rebota, haciendo que la válvula de descarga (C) cierre. El líquido a presión entonces se escapa de la cámara de aire a través de una válvula de retención y el tubo de descarga (E) a su destino. El cierre de la válvula de descarga (C) causa un ligero vacío de esta manera permite que la válvula de desagüe (B) se abra iniciando así un nuevo ciclo.

Este ciclo se repetirá entre 20 y 100 veces por minuto esto dependerá de la velocidad de flujo. Si se instala adecuadamente un ariete hidráulico operará en forma continua con un mínimo de atención, siempre y cuando el exceso de líquido se derrame fuera de la bomba y esta sea abastecida continuamente.

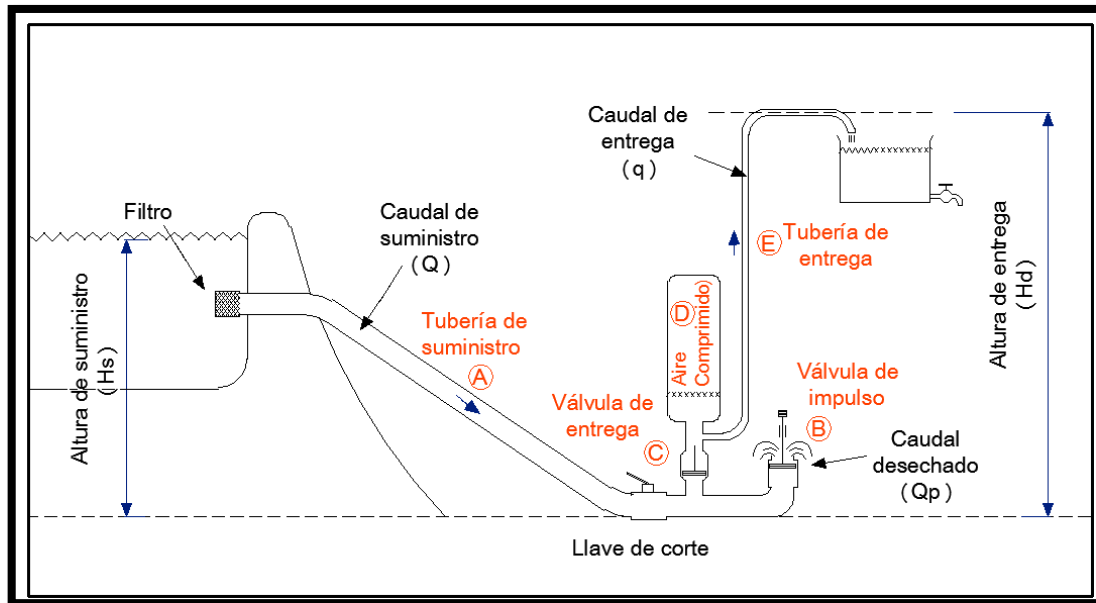


Figura 12: Elementos de la bomba de ariete hidráulico.

Fuente: (Rivadeneira Carlosama S. X., 2013)

2.6. COMPONENTES DEL ARIETE HIDRAULICO

2.6.1. Cuerpo del ariete hidráulico

La estructura del cuerpo del ariete está construido por una caja de válvulas el cual debe estar formado por un té y un codo el cual pueden estar unidos los elementos por pernos, tornillos, elementos roscados o mediante soldadura y el parámetro de diseño más elemental es la ubicación relativa de las válvulas de impulso y descarga ya que estas se encargaran de crear la sobrepresión y dar paso al líquido hacia la descarga.

2.6.2. Válvula de impulso

Una de las partes más importantes de la bomba de ariete vendría a ser la válvula de impulso, la cual una correcta selección y diseño nos asegurara la mayor eficiencia durante el funcionamiento del dispositivo. Constituirá la parte móvil más importante

durante el funcionamiento del equipo. La cual se encargara de generar el golpe de ariete debido al cierre brusco que se genera debido al incremento de la velocidad del líquido.

Haciendo variar el número de golpes por minuto, esta válvula nos permitirá regular la cantidad de líquido que ingresará a la cámara de aire.

2.6.3. Tipos de válvulas de impulso

a. *Válvula con resorte de pletina*

Este tipo de válvula se puede construir artesanalmente ya que está construida de materiales que fácilmente se pueden encontrar como planchas, pernos, pletina y tubos, este se puede fabricar fácilmente en cualquier taller mecánico, ver figura 13.

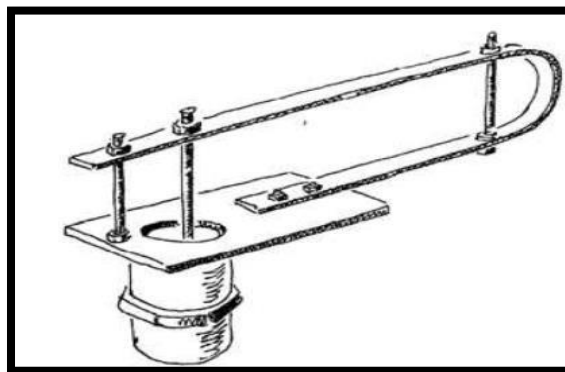


Figura 13: Válvula con resorte de pletina

Fuente: (Watt, 1981)

b. *Válvula con plato perforado*

Esta válvula tiene un alto índice de tolerancia a la fatiga ya que tiene un plato perforado de geometría variable y compleja ya que el material con el que esta echo tiene una gran flexibilidad y resistencia al desgaste.

Los materiales con los que está construido son muy costosos y hay una probabilidad de no tener acceso a estos, su construcción vendría a ser muy complicada y la vida útil es muy corta, ver figura 14.

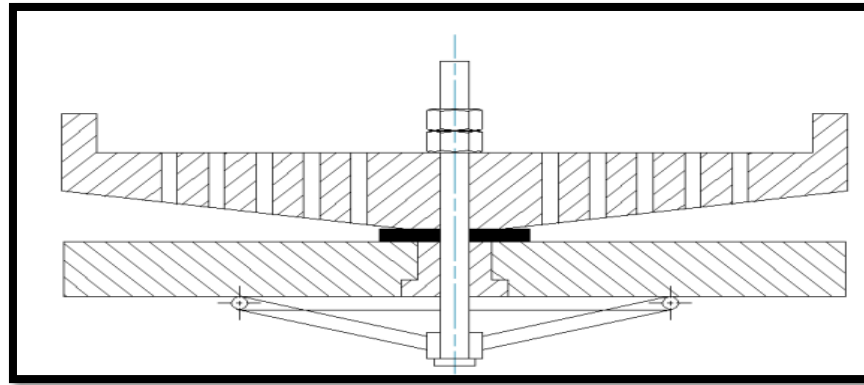


Figura 14: Válvula con plato perforado

Fuente: (Schiller, 1986)

c. Válvula regulada con resorte

La válvula tiene una construcción con elementos exactos debido a que implica cálculos previos de tal manera que el desplazamiento de la carreta lo gobernara un resorte y la válvula puede estar colocada en forma horizontal o vertical, ver figura 15.

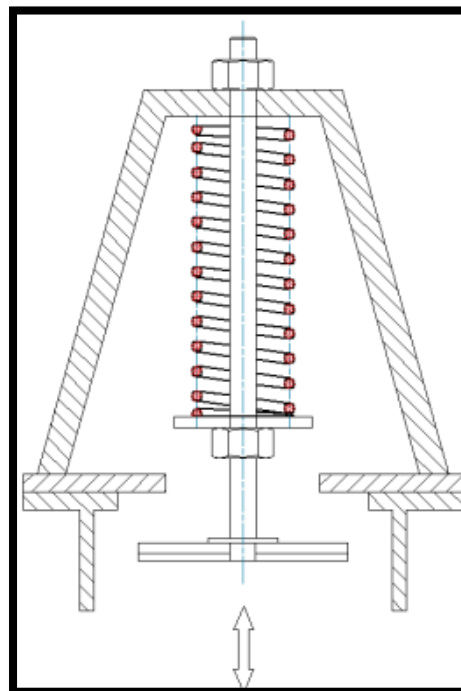


Figura 15: Válvula con resorte.

Fuente: (Rivadeneira Carlosama & Silva Espinosa, 2013)

d. Válvula con pesas encima

La construcción de esta válvula es fuerte lo que garantiza durabilidad para un ciclo de vida útil elevado ya que el diseño tiene la ventaja de poder ajustar la carreta y la velocidad de cierre con el cambio de conjunto de pesas, pero esta válvula solo trabaja de forma vertical para que las pesas actúen por la gravedad, ver figura 16.

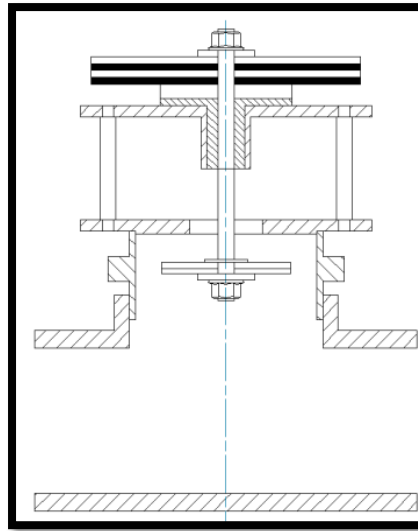


Figura 16: Válvula con pesas encima.

Fuente: (Schiller, 1986)

e. Válvula con pesas a debajo

Al igual que nuestro caso anterior la carreta será regulada por pesas, tendrá un diseño fuerte pero ligero ya que su configuración es sólida y las pesas se ubican en la parte debajo de la tapa de la válvula, ver figura 17.

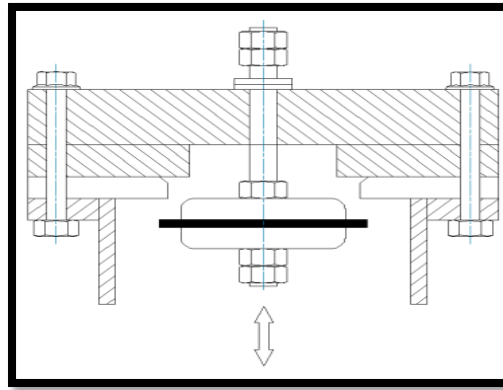


Figura 17: Válvula con pesas abajo.

Fuente: (Rivadeneira Carlosama & Silva Espinosa, 2013)

2.6.4. Válvula de entrega.

La válvula de entrega se encarga de dar paso al líquido, desde la caja de válvulas hacia la cámara de aire y no permitiendo su retorno al cerrarse por los efectos del rebote que se origina con el aire comprimido dentro de la cámara el cual hace que el líquido sea impulsada hacia un nivel superior al de captación.

Deberá evitar las pérdidas en la eficiencia y rendimiento, esto se lograra cuando sea construida de una manera que logre una buena hermeticidad.

2.6.5. Tipos de válvulas de entrega

a. Válvula de solapa

Esta válvula está compuesta de una tapa de goma sencilla que está colocada en el medio contra una placa perforada y el movimiento está restringido por el tipo de espesor del caucho que se utiliza, la cantidad de líquido que pasara el agujero en la placa de entrega está limitada por la resistencia del caucho y la presión de entrega.

Esta válvula mostrara una respuesta más rápida que otros tipos de válvulas debido a su baja inercia, ver figura 18.

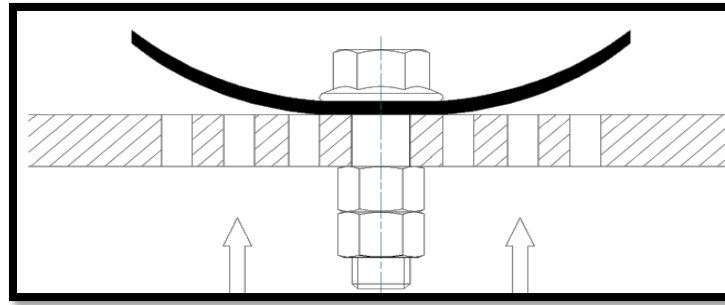


Figura 18: Válvula de solapa.

Fuente: (Jeffrey, 1992)

b. Válvula tipo cabezal

Esta válvula se caracteriza por que el obturador utiliza caucho más rígido como el material de la suela de zapato subiendo y bajando con un eje central, la carreta de esta válvula debe ser regulada haga desplazamientos muy cortos (menos de 5 mm) esto ayudara a prevenir el reflujo

En este tipo de válvulas están sujetas a un desgaste muy breve, pero tiene la ventaja de permitir agujeros de gran diámetro en la placa de entrega, ver figura 19.

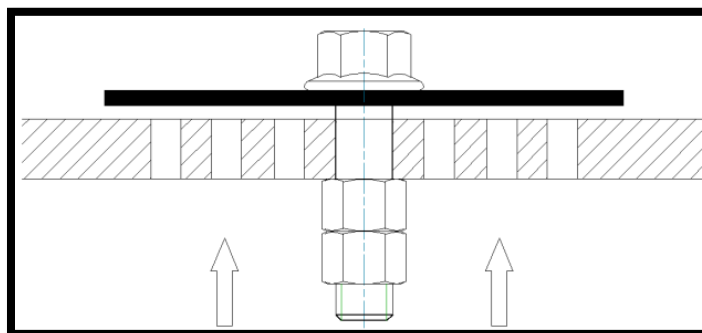


Figura 19: Válvula de solapa

Fuente: (Jeffrey, 1992)

c. Válvula de bisagra

Este tipo de válvula permite un agujero grande en la placa de entrega de esta manera minimiza la resistencia al flujo, ver figura 20.

Para construir esta bisagra serán crucial los materiales y el método de fijación ya que con frecuencia causan problemas.

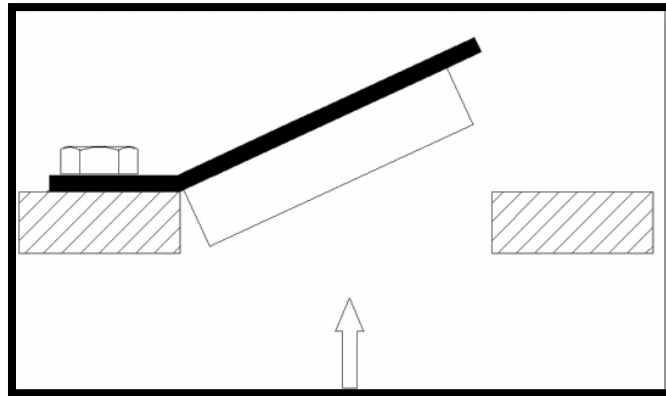


Figura 20: Válvula de bisagra.

Fuente: (Jeffrey, 1992)

d. Válvula de disco suelto

Esta válvula utiliza materiales similares al de tipo cabezal ya que está restringido por una jaula unida a la placa de suministro y esto hará que sea más difícil de fabricar, pero tiene una similitud a la válvula del tipo cabezal, ver figura 21.

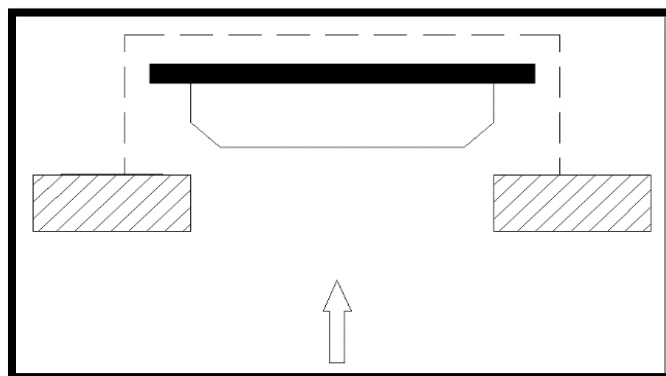


Figura 21: Válvula de disco suelto.

Fuente: (Jeffrey, 1992)

e. Válvula de tapón

En esta válvula se tendrá que superar el peso de la válvula con el motivo de levantarlo y esto se lograra con impulsos efectivamente invertida con la presión diferencial.

Una ventaja vendría a ser el flujo grande de la placa de entrega, también realiza la conducción a un flujo grande de retorno, mientras que la válvula se cierra. Podríamos facilitar un cierre rápido añadiendo un resorte, solo que esto se sumara a la presión diferencial requerida para abrirlo, ver figura 22.

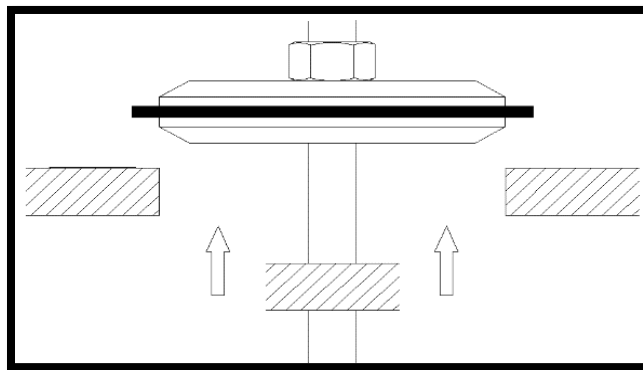


Figura 22: Válvula de tapón.

Fuente: (Jeffrey, 1992)

2.6.6. Cámara de aire

Este componente absorbe la sobrepresión (logrando amortiguar los golpes de ariete) e impulsa el líquido por la tubería, esto se da porque regula el flujo del líquido hacia la tubería de descarga, de esta forma se da un flujo casi continuo y logra un nivel superior al de captación, va puesta sobre su propia base en la caja de válvulas mediante tornillos o enroscados.

Debido a las condiciones de funcionamiento en el interior de la cámara de aire se produce dos presiones, una presión máxima cuando el líquido ingresa y el aire de la



cámara se comprime y otra presión mínima cuando la cantidad de aire soporta la columna del líquido presente en la tubería de entrega, se utiliza la Ley de Boyle como cálculo de estas presiones que relacionan el volumen y la presión de una cierta cantidad de aire que se mantiene a una constante temperatura.

$$P_1 * V1_{aire} = P_2 * V2_{aire} \quad (1)$$

Dónde:

P_1 = Presión mínima (Pa).

$V1_{aire}$ = Volumen inicial de aire en la cámara (m^3).

P_2 = Presión máxima (Pa).

$V2_{aire}$ = Volumen dos de aire en la cámara (m^3).

2.6.7. Válvula de aire

Esta válvula permite renovar el aire absorbido por el líquido que se pierde de la cámara y a su vez regular el aire. También permite el ingreso de aire de acuerdo al requerimiento de la cámara y esta se encuentra debajo de la válvula de descarga.

2.7. PARAMETROS DE DISEÑO PARA LA BOMBA DE ARIETE

2.7.1. Ubicación de la bomba

Determinar el lugar donde se va a utilizar la bomba es la etapa primordial que marcará factores determinantes para el diseño de la misma, debido a las necesidades en el caso específico para su funcionamiento.



2.7.2. Altura de entrega

La altura de entrega tiene el requerimiento de elevar el fluido a un nivel establecido, para indicar la utilización del líquido hacia una función específica entre las cuales se pueden mencionar; riego, almacenamiento de agua, distribución, potabilización del agua, entre otros.

2.7.3. Altura de suministro

Para establecer la altura con la cual se debe contar para llegar al nivel de descarga requerido se hace uso de relaciones matemáticas realizadas por fabricantes y estudiosos del tema como Wáter S.B Watt que en su publicación expresa que la altura de suministro se determina por medio de la siguiente formula y debe estar entre 1 y 12 m como rangos recomendados.

$$H_s = \frac{1}{3}H_d \quad (2)$$

Dónde:

H_s = Altura de suministro (m).

H_d = Altura de entrega (m).

2.7.4. Tubería de suministro

La tubería de suministro se identifica con dos objetivos fundamentales que son:

- Permitir la entrada de agua al cuerpo de la bomba desde el tanque de suministro con una ganancia adicional de velocidad.
- Soportar el efecto del impacto de martillo producidos por el golpe de ariete.



Los valores del diámetro y longitud de la tubería de distribución son factores determinantes para asegurar el buen funcionamiento de la bomba de ariete, ya que lleva el agua desde la fuente a la bomba y retiene la onda de presión producida por el golpe de ariete. Estas deben cumplir con ciertas relaciones desarrolladas de manera experimental y obviamente de acuerdo al espacio físico disponible. Es recomendable utilizar acero galvanizado de primera calidad o tuberías de hierro. El uso de otro tipo de materiales no apropiados conllevará a rutinas de mantenimiento seguidas y posibles fugas en la tubería de suministro.

Según S.B Watt en su publicación que menciona la siguiente relación como la más recomendada. Idealmente, el tren de tubos debe tener una longitud de al menos 100 veces su propio diámetro. Generalmente, la longitud del tren de tubos debe ser alrededor de tres a siete veces la altura de suministro. Los estudiosos del tema y los expertos fabricantes mencionan que, tanto el diámetro como la longitud de la tubería de caída son muy importantes, existen relaciones matemáticas desarrolladas experimentalmente que garantizan el buen funcionamiento del ariete.

La bomba funcionará bien si la relación entre la longitud (L) y el diámetro interno (D) se encuentra dentro de los límites.

$$\frac{L}{D} = 150 \text{ a } 500 \quad (3)$$

2.7.5. Tubería de entrega

La tubería de entrega tiene un propósito principal que es llevar el fluido hasta su descarga, la cual se compone de elementos de acople como uniones, codos, niples, etc. Son necesarios para armar el tren de tubos que cumpla con la distancia establecida.



El diámetro de la tubería de entrega normalmente se calcula como la mitad del diámetro de la tubería de suministro.

2.7.6. Caudal de entrega

Es el caudal que la bomba de ariete entrega una vez puesta en marcha, se utiliza la siguiente fórmula para su cálculo.

$$\frac{q * Hd}{Hs * D^2 * u_c} = \frac{\pi * C_d}{10} \quad (4)$$

Donde:

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

Hs = Altura de suministro (m).

Hd = Altura de entrega (m).

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

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

C_d = Coeficiente de descarga.

De donde el caudal de entrega queda:

$$q = \frac{Hs * D^2 * u_c * \pi * C_d}{Hd * 10} \quad (5)$$



2.7.7. Velocidad de cierre de la válvula de impulso

Para hallar la velocidad de cierre de la válvula de impulso es necesario utilizar la siguiente relación matemática.

$$u_c = 0.135 * C_{vi} \quad (6)$$

Donde:

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

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

2.7.8. Coeficiente de descarga

El coeficiente de descarga es un factor adimensional el cual relaciona el caudal con el cual el fluido se desplaza libremente por una tubería, junto al nivel del fluido en el embalse (Δh).

$$Q_l = C_d(\sqrt{2 * g * \Delta h})A \quad (7)$$

El coeficiente de descarga es igual a:

$$C_d = \frac{Q_l}{(\sqrt{2 * g * \Delta h})A} \quad (8)$$

Donde:

Q_l = Caudal libre (m^3/s).

C_d = Coeficiente de descarga.

g = Gravedad (m/s^2).



Δh = Diferencia de alturas (m).

A = Área a la salida del fluido (m^2).

2.7.9. Caudal libre

El caudal libre se obtiene tomando la siguiente consideración, la válvula de impulso tiene que mantenerse inmóvil permitiendo que el agua fluya hacia la atmosfera sin interrupción.

Mediante la Ecuación General de la Energía que es una expansión de la Ecuación de Bernoulli, es posible resolver problemas con presencia de perdidas, las cuales aparecen a medida que un flujo fluye por un conducto debido a la fricción interna en el fluido, la cual nos permite saber cuál será la velocidad del fluido en el interior de la tubería.

Ecuación General de la Energía:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (9)$$

Donde:

P_1 = Presión en el punto uno (Pa).

P_2 = Presión en el punto dos (Pa).

γ = Peso específico del agua (N/m^3).

Z_1 = Altura del punto uno sobre nivel de referencia (m).

Z_2 = Altura del punto dos sobre nivel de referencia (m).

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

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

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



h_A = Energía añadida o agregada al fluido mediante un dispositivo mecánico (m).

h_R = Energía removida o retirada del fluido mediante un dispositivo mecánico (m).

h_L = Pérdidas de energía (pérdidas mayores y menores) por parte del sistema (m).

2.7.10. Pérdidas mayores

Las pérdidas mayores son producto de la fricción del fluido con el conducto.

Se expresa por la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{V_2^2}{2g} \quad (10)$$

Donde:

h_L = Pérdida mayor (m).

L = Longitud de la corriente de flujo (m).

D = Diámetro interno de la tubería (m).

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

f = Factor de fricción.

2.7.11. Perdidas menores

Las pérdidas menores ocurren cuando hay un cambio u obstrucción de la trayectoria del flujo, debido a la presencia de conectores, válvulas o accesorios.



$$h_{Lm} = k * \frac{V_2^2}{2g} \quad (11)$$

Donde:

h_{Lm} = Pérdida menor (m).

k = Coeficiente de resistencia al flujo.

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

g = Gravedad (m/s^2).

2.7.12. Factor de fricción

La siguiente ecuación fue desarrollada por P. K. Swamee y A. K. Jain que permite el cálculo directo del factor de fricción.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{D}{\varepsilon} \right)} + \frac{5.74}{N_{RE}^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (12)$$

Donde:

f = Factor de fricción.

D = Diámetro interno de la tubería (m).

ε = Rugosidad (m).

N_{RE} = Numero de Reynolds.



2.7.13. Número de Reynolds

Para calcular la pérdida de energía debido a la fricción en un sistema de fluido, es necesario caracterizar la naturaleza del flujo. Un flujo lento y uniforme se conoce como fluido laminar, mientras que un flujo rápido y caótico se conoce como flujo turbulento.

$N_{RE} < 2000$ Flujo Laminar.

$N_{RE} > 4000$ Flujo Turbulento.

$2000 < N_{RE} < 4000$ Flujo Impredecible.

El tipo de flujo puede predecirse mediante el cálculo del Número de Reynolds:

$$N_{RE} = \frac{V * D}{\nu} \quad (13)$$

Donde:

V = Velocidad del flujo (m/s).

D = Diámetro interno de la tubería (m).

ν = Viscosidad cinética (m/s^2).

2.7.14. Rugosidad Relativa

Es la relación del diámetro de la tubería y la rugosidad promedio de su pared.

$$R_r = \frac{D}{\varepsilon} \quad (14)$$

Donde:

R_r = Rugosidad relativa.



D = Diámetro interno de la tubería (m).

ε = Rugosidad (m).

2.7.15. Caudal de suministro

Un sistema ideal vendría a ser una buena transferencia de líquido de donde se tiene:

$$q * Hd = Q * Hs \quad (15)$$

Donde:

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

Hd = Altura de descarga (m).

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

Hs = Altura de suministro (m).

Pero esto no sucede en un sistema real, ya que existen varias pérdidas producidas por fricción entre el líquido y los componentes que se utilizan para la configuración de la red de tubería que tienen como finalidad transportar el líquido.

El ariete no aprovechara toda el agua proveniente de la tubería de entrada. Su eficiencia puede variar desde 20 hasta 90 % en algunos casos y depende de la relación entre la cota de la toma y la cota de suministro, con el nivel de referencia en el aparato. La eficiencia vendría a ser directamente proporcional al valor de esta relación, es decir inversamente proporcional a la altura a la que se va a suministrar el agua. Con el fin de

calcular el caudal de suministro, si no se tiene la eficiencia se puede utilizar un valor asumido de 50 %.

$$\eta = \frac{q * Hd}{Q * Hs} \quad (16)$$

$$Q = \frac{q * Hd}{\eta * Hs} \quad (17)$$

2.7.16. Caudal desechado

El caudal desechado vendría a ser la cantidad de líquido que la bomba de ariete hidráulico hacia la atmosfera cuando está en funcionamiento, ver figura 23.

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

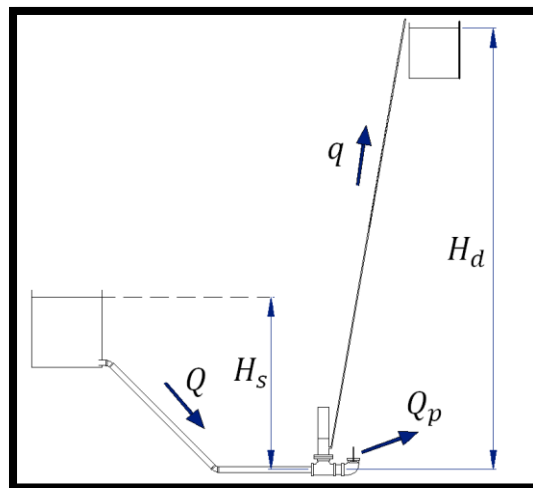


Figura 23: Esquema de funcionamiento respecto a diferentes caudales.

Fuente: (Rivadeneira Carlosama & Silva Espinosa, 2013)



Donde:

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

Q_p = Caudal desechado (m^3/s).

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

2.7.17. Rendimiento Volumétrico.

Vendría a ser la relación que existe entre el caudal de entrega y el caudal de suministro de la bomba de ariete hidráulico.

$$n_v = \frac{q}{Q} * 100 \quad (19)$$

Donde:

n_v = Rendimiento volumétrico (%).

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

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

2.7.18. Potencia de la bomba de ariete

La potencia que se necesita para elevar el fluido es proporcional a la tasa de flujo de agua multiplicado por la altura de descarga de la bomba de ariete y el peso específico del agua.

$$P = \gamma * q * Hd \quad (20)$$



Donde:

P = Potencia (W).

γ = Peso específico del agua (N/m^3).

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

Hd = Altura de entrega (m).

2.7.19. Fuerza de arrastre para la válvula de impulso.

Según E. J. Schiller en su publicación menciona que cuando el líquido acelera lo suficiente para cerrar la válvula de impulso se produce una fuerza de arrastre que genera este cierre y se describe por la siguiente fórmula.

$$F_a = C_a * A_v * \rho * \frac{V^2}{g} \quad (21)$$

Donde:

F_a = Fuerza de arrastre sobre la válvula de impulso (Kaf).

C_a = Coeficiente de arrastre.

A_v = Área de sección transversal de la válvula de impulso (m^2).

ρ = Densidad del agua (Kg/m^3).

V = Velocidad del fluido en el cuerpo del ariete (m/s).

g = Gravedad (m/s^2).



2.7.20. Peso máximo para la válvula de impulso

Para calcular el peso de la válvula de impulso se utiliza la siguiente relación:

$$0 < W_v < \frac{C_a * A_v * \rho * H_s}{M} \quad (22)$$

Donde:

W_v = Peso (Kg).

C_a = Coeficiente de arrastre para la válvula de impulso.

A_v = Área de sección transversal de la válvula (m^2).

H_s = Altura de suministro (m).

M = Sumatorio de pérdidas totales (m).

ρ = Densidad de agua a 20 grados Celsius (Kg/m^3).



CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. UBICACION GEOGRAFICA

La región Puno está ubicada en la sierra sudeste del país, en la meseta del Collao a: $13^{\circ}00'66''00''$ y $17^{\circ}17'30''$ de latitud sur y los $71^{\circ}06'57''$ y $68^{\circ}48'46''$ de longitud oeste del meridiano de Greenwich,

El fundo Pachaticgra se encuentra en la comunidad de Pinaya, departamento de Puno a 4392 msnm, entre los paralelos $15^{\circ} 60' 73''$ S y $70^{\circ} 93' 27''$ W, ver figura 25.

3.2. UBICACION POLITICA

Políticamente la zona donde se llevó a cabo la investigación corresponde a:

| | | |
|-----------|---|-------------|
| Región | : | Puno |
| Provincia | : | Lampa |
| Distrito | : | Santa Lucia |
| Comunidad | : | Pinaya |

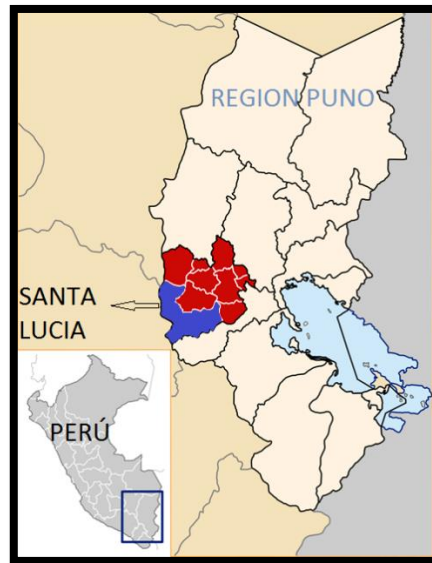


Figura 24: Ubicación geográfica del distrito de Santa Lucia.

Fuente: (Wikipedia, s.f.)

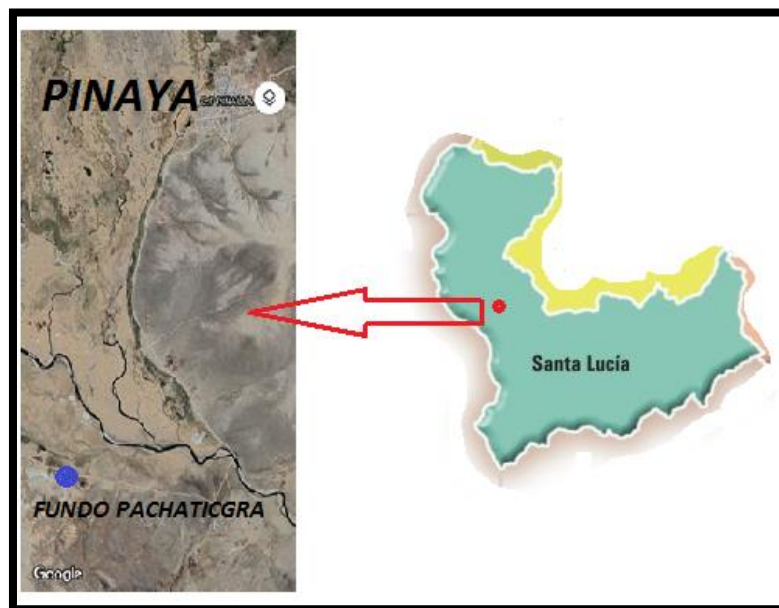


Figura 25: Ubicación de fundo Pachaticgra.

Elaborado por el equipo de trabajo.



3.3. LIMITES

El distrito de Santa Lucia limita:

- Por el Norte, con los distritos de Ocuvi y Paratia.
- Por el Sur, con el distrito de Cabanillas.
- Por el este, con el distrito de Cabanilla.
- Por el oeste, con el distrito de Callalli

3.4. CARACTERISTICAS DE LA ZONA.

La zona donde desarrollaremos el estudio de investigación presenta una topografía irregular, el cual está conformado por laderas y planicies. Es una zona netamente ganadera en la crianza de camélidos sudamericanos (alpaca, llama y vicuña) y ovinos (oveja). Tiene un clima de tundra, hace frio casi todo el año, la temperatura promedio es 11°.

El acceso al lugar es a través de la carretera asfaltada que interconecta la ciudad de Juliaca con el pueblo de Santa Lucia que corresponde una distancia de 62.9 km, del pueblo Santa Lucia se recorre 26.8 km de carretera asfaltada y 17.3 km de carretera no asfaltada para llegar a la comunidad de Pinaya, ver figura 26.

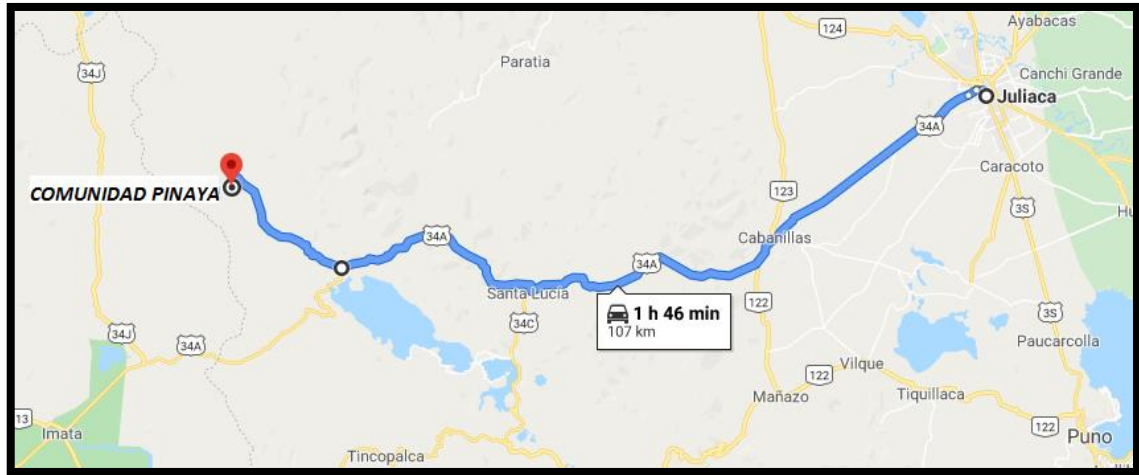


Figura 26: Ruta de Juliaca a la comunidad de Pinaya.

Fuente: (Maps, s.f.)

Tabla 1: Acceso a la zona del proyecto

| TRAMO | LONGITUD | TIEMPO | TIPO DE VIA |
|--------------------------------------|----------|-------------------|--|
| Juliaca – Santa Lucía | 62.9 km | 65 minutos | Carretera Asfaltada |
| Santa Lucía – Comunidad Pinaya | 44.1 km | 41 minutos | Carretera Asfaltada/ Carretera no Asfaltada |
| Comunidad Pinaya – Fundo Pachaticgra | 5 km | 10 minutos | Carretera no Asfaltada |
| TOTAL | 112 km | 1 hora 56 minutos | |

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.5. MATERIALES

3.5.1. Materiales de Gabinete

- ✓ 01 Laptop.
- ✓ 01 Impresora.
- ✓ Investigaciones de tesis.



- ✓ Material bibliográfico de repositorios de Universidades.
- ✓ AutoCAD 2018.
- ✓ Microsoft office.

3.5.2. Materiales de construcción de la bomba de ariete hidráulico.

Tabla 2: Materiales empleados en la construcción de la bomba de ariete hidráulico.

| DESCRIPCION | MATERIAL | UNIDAD | CANTIDAD |
|---|----------|--------|----------|
| Válvula check de 2 pulgadas. | Bronce | UND | 2 |
| Válvula check de 1/2 pulgadas. | Bronce | UND | 1 |
| Codo de 2 pulgadas de 90° | Acero | UDN | 1 |
| Te de 2 pulgadas. | Acero | UND | 2 |
| Niples de 2 pulgadas X 3 pulgadas De largo | Acero | UND | 6 |
| Reducción campana de 2 a 1 pulgada. | Acero | UND | 1 |
| Niple de 1 pulgada por 2 pulgadas de largo. | Acero | UND | 3 |
| Cámara de aire. | Acero | UND | 1 |
| Llave de paso de 2 pulgadas. | Acero | UND | 1 |
| Perno de 7 pulgadas INOX | Acero | UND | 1 |
| Arandelas planas | Acero | UND | 2 |
| Turcas hexagonales inoxidables | Acero | UND | 2 |
| Niple de 2 pulgadas x 4 pulgadas de largo | Acero | UND | 1 |
| Resortes de HG Y piano | Acero | UND | 2 |
| Cinta teflón de 50 metros | PTFE | UND | 1 |
| Tapón hembra de 2 pulgadas | Acero | UND | 1 |
| Adaptador UPR de 2 pulgadas | PVC | UND | 1 |
| Niple de 2 pulgadas x 5 pulgadas de largo | Acero | UND | 1 |
| Tee de 1 pulgada | Acero | UND | 1 |



Continuación....

| | | | |
|---------------------------------|-------------|-----|---|
| Reduccion bushing de 1" x ¼" | Acero | UND | 1 |
| Manómetro de glicerina de 6 bar | Acero inox. | UND | 1 |
| Llave de paso de 1 pulgada | PVC | UND | 1 |
| Reducción campana de 1" a ½" | Acero | UND | 1 |
| Niple de ½ pulgada | Acero | UND | 2 |
| Tee de ½ pulgada | Acero | UND | 1 |
| Llave esférica de ½ pulgada | Acero | UND | 1 |
| Acople de ½ pulgada | HDP | UND | 1 |

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.5.3. Materiales de la instalación.

Tabla 3: Materiales para la instalación

| DESCRIPCION | CANTIDAD | UNIDAD |
|--|----------|--------|
| Bomba de ariete hidráulico de 2 pulgadas | 1 | Equipo |
| Tubería PVC-PN-7.5 de 2 pulgadas | 30 | Metros |
| Tubería PVC-PN-5 de 2 pulgadas | 25 | Metros |
| Tanque de agua de 1100 litros | 1 | UND |
| Base de fierro de 20 x 14 pulgadas | 1 | UND |
| Manguera de HDPE de ½ pulgada | 50 | Metros |

Elaborado por el equipo de trabajo.



3.6. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

Tabla 4: Equipos, herramientas y otros materiales de campo.

| DESCRIPCION | CANTIDAD | UNIDAD |
|---------------------------|----------|--------|
| Pico | 2 | UND |
| Pala | 2 | UND |
| Arco de sierra | 1 | UND |
| Alicate | 1 | UND |
| Llave stillson | 2 | UND |
| Máquina de soldar | 1 | Equipo |
| Electrodo | 1 | Kilo |
| Cámara fotográfica | 1 | Equipo |
| Cronometro | 1 | Equipo |
| Wincha de 50 metros | 1 | UND |
| Flexómetro | 1 | UND |
| Taladro | 1 | Equipo |
| Amoladora | 1 | Equipo |
| Disco de corte y desgaste | 1 | Equipo |
| Brocas de 1/8" y 3/8" | 1 | UND |
| Carretilla | 1 | UND |
| Nivel | 1 | UND |
| Pintura spray | 1 | UND |
| Llave francesa | 1 | UND |
| Balde de 20 litros | 1 | UND |
| Lija para acero | 1 | UND |

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.7. METODO

3.7.1. METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN

a. Tipo de investigación

El trabajo de investigación se ajustó al tipo experimental, ya que se hizo la manipulación de variables, en la válvula de impulsión creando tres escenarios distintos con la finalidad de comprobar o rechazar la hipótesis.

b. Nivel de investigación

De acuerdo al trabajo de investigación, el nivel de investigación que se utilizó fue un nivel exploratorio.

En la investigación se consideró dos acciones:

- ✓ Búsqueda de la documentación existente: revisión de informes, archivos y todo tipo de documentos referentes al tema.
- ✓ Consistió en tener un contacto directo con la problemática de la investigación.

c. Diseño de investigación

El diseño de investigación para el presente trabajo se catalogó como experimental. Durante el avance de la investigación se maniobro intencionalmente una de las variables independientes con el fin de evaluar el efecto en las variables dependientes.



3.7.2. Población y muestra

a. Población

La población fue constituida por los habitantes de los 115 fundos (cabañas) con abastecimiento de agua mediante caída, traslado en baldes u otros recipientes y en algunos casos utilizan motobombas, en la comunidad de Pinaya del distrito de Santa Lucia, provincia de Lampa y región de Puno.

b. Muestra

La muestra tomada para el desarrollo del trabajo de investigación fue el fundo Pachaticgra de propiedad del Sr. Antonio Condori Coaquira perteneciente a la comunidad de Pinaya, este fundo fue seleccionado como muestra debido a que cuenta con un manantial disponible con un caudal de 65 l/min para su aprovechamiento.

c. Tipo de muestra

El tipo de muestra del trabajo de investigación fue no probabilístico o por conveniencia, ya que el fundo pachaticgra tiene una carretera que facilita el acceso para el traslado de los componentes de todo el sistema de bombeo.

d. Tamaño de muestra

Cada uno de los fundos y/o cabañas de la población del trabajo de investigación tuvo exactamente las mismas oportunidades; el tamaño requerido de la muestra fue solamente de uno.

3.7.3. PROCEDIMIENTOS

El procedimiento que se desarrollara en la ejecución del trabajo de investigación se describe de manera general en el siguiente esquema.

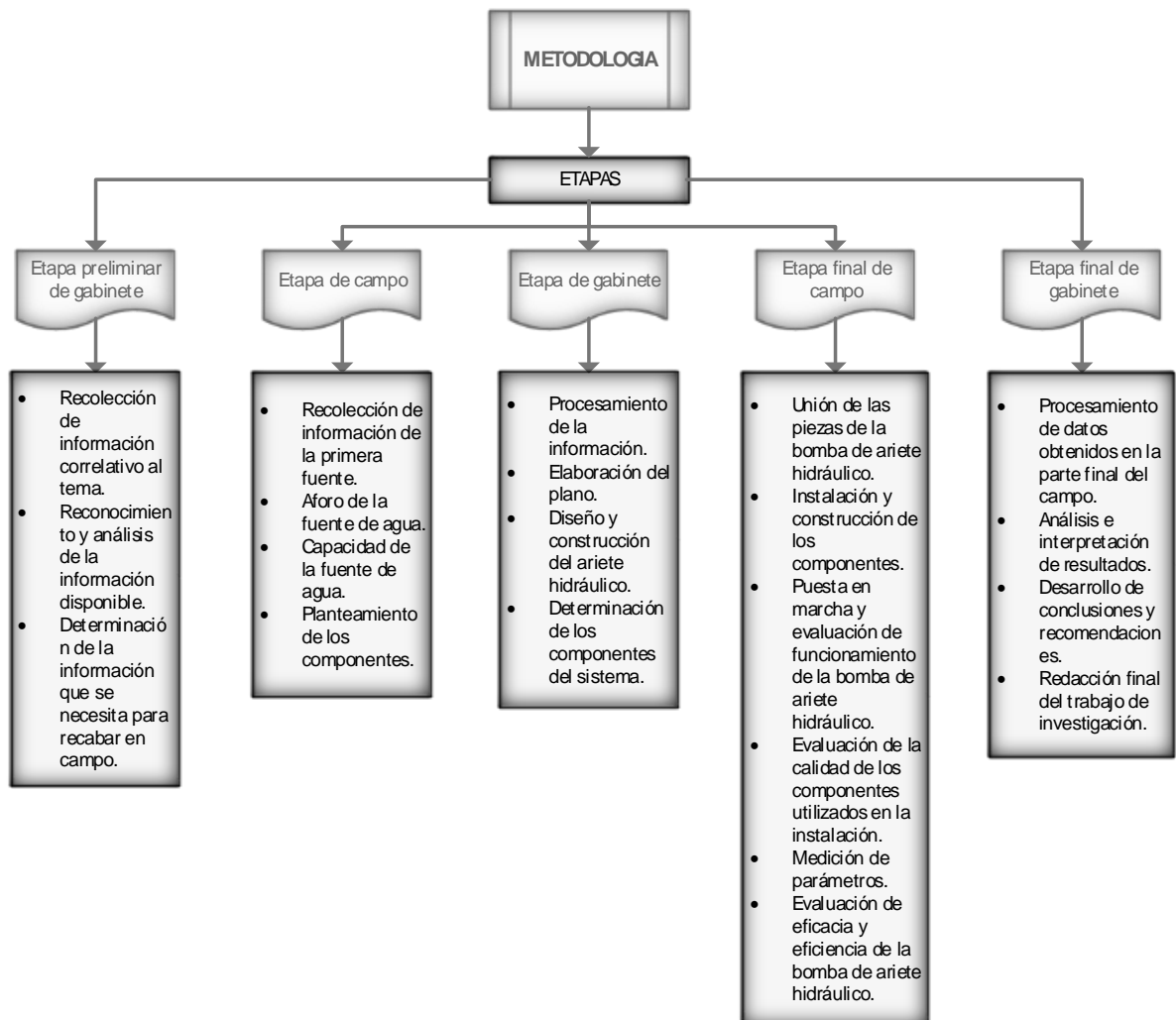


Figura 27: Esquema metodológico de la investigación.

Elaborado por el equipo de trabajo.

a. Etapa preliminar de gabinete.

a.1. Recolección y análisis de la información correlativa al tema.

Es la etapa en la que se realizó la recolección y análisis de la información obtenida sobre el tema de investigación, como por ejemplo: fenómeno sobre el golpe de ariete,



diseño, construcción e instalación de bombas de ariete hidráulico, para todo esto se utilizó fuentes como, libros, artículos y tesis. Para luego realizar el análisis de la información que se obtuvo, identificamos y determinamos los parámetros que darán inicio al diseño de acuerdo a los datos necesarios a recolectar en la etapa de campo, que serán los que nos permitirán diseñar e instalar la bomba de ariete hidráulico.

Los requisitos hidráulicos de diseño son.

- ✓ Altura de suministro (H)
- ✓ Longitud de la línea de suministro (L)
- ✓ Caudal de suministro (Q)
- ✓ Altura de descarga (h)
- ✓ Longitud de la línea de descarga (l)

b. Etapa de campo

En esta etapa se viajó al fundo Pachaticgra, propiedad del Sr. Antonio Condori, ubicado en la comunidad de Pinaya del distrito de Santa Lucia, donde se realizó las siguientes actividades.

b.1. Capacidad de la fuente de agua.

Se hizo la identificación del tipo de fuente de agua, cuya fuente es un manantial de ladera difuso correspondiente al del tipo de agua subterránea.

Se realizó el aforo de la fuente de agua el día 17 de agosto del 2020, en horas de la mañana, para realizar la capacidad de la fuente de agua se utilizó el método volumétrico, para esto se tomó el tiempo que demoro en llenar el recipiente de agua de 18 litros.



b.2. Levantamiento topográfico

Se realizó las actividades referentes al trabajo topográfico detallado del fundo Pachaticgra, en esta etapa quedo establecida la ubicación de la captación, cámara de carga, lugar de descarga y preliminarmente se ubicó el punto de instalación de la bomba de ariete hidráulico así como las líneas de impulsión y descarga.

b.3. Registro fotográfico

En esta actividad se realizó el registro fotográfico de las acciones que se realizaron en el campo a través de una cámara digital.

c. Etapa de gabinete

En esta etapa se realizó el procesamiento de la información que se obtuvo en el campo, la información recolectada referente al tema de investigación, para luego realizar el diseño de todo el sistema de bombeo.

c.1. Procesamiento de la información de campo

- ✓ El cálculo de caudal que sale de la fuente de agua, se realizó utilizando los datos obtenidos durante el aforo, para esto emplearemos la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (23)$$

Donde:

Q = Caudal (l/s)

V = Volumen (l)

t = Tiempo (s)



- ✓ Se realizó el proceso de cálculo con la determinación de la demanda hídrica por día en el fundo Pachaticgra, con este parámetro se inició los cálculos de dimensionamiento y elección del tipo de material de los elementos que integraran cada uno de los componentes del todo el sistema de bombeo, en esta fase se determinó la ubicación final de los componentes del sistema de bombeo. Habiendo determinado los parámetros iniciales de diseño para la bomba de ariete hidráulico se procedió a la elección de los materiales que integraran en la bomba de ariete hidráulico así como el cálculo de dimensionamiento, para finalizar se elaboró el plano para la construcción.

d. Etapa final de campo

- ✓ En el fundo Pachaticgra, se realizó el montaje de los componentes y piezas que integran la bomba de ariete hidráulico, para ello se hizo uso de los planos de montaje, conjunto, despiece y detalle (ANEXO G) de la bomba de ariete hidráulico, que está conformado por materiales de PVC, hierro galvanizado, bronce, acero inoxidable y HDPE los mismos que se detalla en el ítem 3.5.
- ✓ Se inició con el proceso de construcción e instalación de todos los componentes del sistema de bombeo tales como captación, línea de conducción, cámara de carga, cámara de bombeo, instalación de la tubería de suministro, instalación de la bomba de ariete hidráulico, finalizando con la instalación de la manguera de descarga.
- ✓ Se realizó la puesta en marcha de la bomba de ariete hidráulico asimismo del sistema de bombeo.



- ✓ Sometiendo el sistema de bombeo a la máxima presión producida por el golpe de ariete, se procedió a evaluar el comportamiento de los materiales utilizados en la construcción e instalación de los componentes del sistema de bombeo, principalmente de la línea de suministro, bomba de ariete hidráulico y línea de descarga.
- ✓ Para las pruebas de campo se creó tres escenarios; esto se logró con la variación de la válvula de impulsión y los resultados son los distintos números de golpes por minuto, con la finalidad de calcular la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico,
- ✓ Por último, durante el funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico se procedió a medir el aforo del caudal de suministro, rebose de la cámara de carga y caudal de descarga mediante el uso del método volumétrico en cada variación de la válvula de impulsión.

e. Etapa final de gabinete

En la etapa final del trabajo de investigación se realizó las siguientes actividades:

- ✓ Con los datos obtenidos en las pruebas que se desarrolló durante la operación del sistema de bombeo, se realizó la calibración adecuada de la carrera y el número de golpes por minuto en la válvula de impulsión, de esta manera cubrirá los requerimientos hídricos del fundo Pachaticgra para el consumo humano; para esto se determinó la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico. Se realizó las gráficas de las curvas de operación: número de golpes por minuto versus caudal de suministro, numero de golpes por minuto versus caudal de descarga, numero de golpes por minuto versus eficiencia de la bomba y eficiencia de la bomba versus caudal de descarga,



para todo esto se utilizó el programa Microsoft Excel, se realizó el cálculo de costo de instalación del sistema de bombeo mediante la cuantificación de los costos de mano de obra, materiales, equipos y herramientas utilizadas en todo el sistema.

3.8. SISTEMA DE BOMBEO

3.8.1. Cantidad de la fuente de agua

El aforo de realizado el día lunes 17 de agosto del 2020, mediante el método volumétrico nos permitió determinar el caudal total del manantial:

Tabla 5: Datos sacados en el manantial.

| Nº | TIEMPO (segundos) | VOLUMEN (litros) |
|----------|----------------------|---------------------|
| 1 | 57 | 65 |
| 2 | 61 | 65 |
| 3 | 59 | 65 |
| Promedio | 59 | 65 |

Elaborado por el equipo de trabajo.

Tomando los valores promedio del tiempo y volumen, se calculó el caudal mediante la siguiente fórmula:

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

$$Q = \frac{65L}{59s}$$

$$Q = 1.10 \text{ L/s}$$



Se obtuvo 1.10 l/s como caudal total del manantial, de los cuales la fracción equivalente 0.93 l/s sería el que alimenta a la bomba de ariete hidráulico, permitiendo el funcionamiento del sistema de bombeo.

3.8.2. Componentes integrantes del sistema de bombeo

Para el sistema de bombeo instalado en el fundo Pachaticgra, tiene los siguientes componentes:

a. Captación

Es el lugar donde se junta el agua del manantial para ser conducido hacia la cámara de carga.

b. Línea de conducción

Está constituido por un conducto que permite el transporte de agua, desde la captación hasta la cámara de carga.

c. Cámara de carga

Es donde se almacena el agua proveniente de la captación y tiene como finalidad abastecer el ingreso constante y uniforme de caudal hacia la bomba de ariete hidráulico para que este funcione adecuadamente.

d. Línea de suministro

En este tramo se une la cámara de carga y la bomba de ariete hidráulico mediante un conducto que será de un material resistente al fenómeno físico llamado golpe de ariete, se utilizó una tubería de material PVC.



e. Bomba de ariete hidráulico

Es el componente principal del sistema de bombeo, que aprovecha un salto de agua para elevar una fracción del caudal que ingresa a ella a un nivel superior del terreno donde se ubica la fuente de agua o cámara de carga.

f. Línea de descarga

En este tramo se une la bomba de ariete hidráulico y el reservorio de almacenamiento de agua, mediante un conducto liso donde fluye el caudal de descarga.

g. Depósito de almacenamiento

Es el depósito donde se almacena el agua que es bombeada durante las 24 horas de operación de la bomba de ariete hidráulico y a partir de esta se abastecerá agua según el requerimiento de los habitantes.

3.8.3. Ubicación de los componentes del sistema de bombeo

Los componentes del sistema de bombeo fueron ubicados en puntos estratégicos, debido a esto nos permitió establecer los parámetros de diseño de la bomba de ariete hidráulico.

La captación quedó establecida en un lugar adecuado, que permitió reunir las aguas del manantial en cantidad suficiente para ser transportado hacia la cámara de carga.

La cámara de carga fue ubicada definitivamente durante la primera etapa de campo, para ello se evaluó que el lugar sea propicio para la instalación del depósito de agua, estableciéndose a una altitud de 4395 m.s.n.m.

El reservorio de almacenamiento fue situado definitivamente durante la primera etapa de campo, estableciéndose a una altitud de 4426 m.s.n.m. siendo esta el punto máximo a donde bombearía

Se realizó el siguiente esquema preliminar de ubicación de los componentes del sistema de bombeo y demás parámetros.

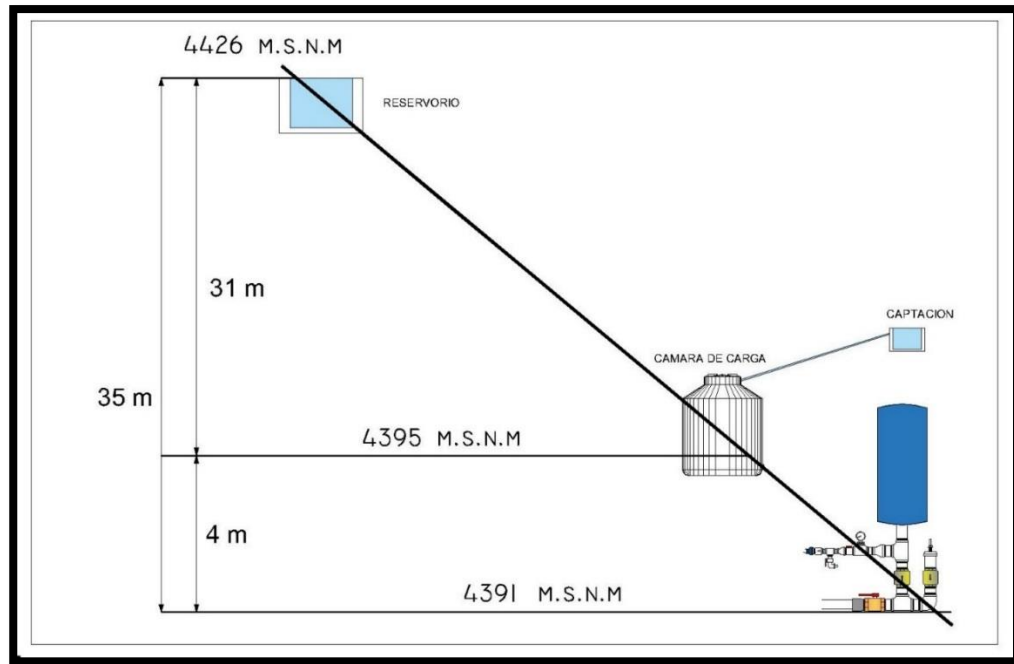


Figura 28: Esquema preliminar del sistema de bombeo.

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.8.4. Cálculo de la altura de suministro (H)

Para el cálculo de la altura de suministro se utilizara la ecuación (2)

$$H_s = \frac{1}{3} H_d$$

Teóricamente según S.B. Watt indica que la altura de descarga es tres veces la altura de suministro, pero durante las pruebas en campo nos dio una altura de descarga 9 veces la altura de suministro.



$$H_s = \frac{1}{9} H_d$$

Donde:

H_s = Altura de suministro (m).

H_d = Altura de descarga (m).

Si:

$$H_d = H_s * 31$$

Reemplazando en la ecuación (2)

$$H_s = \frac{1}{9} (H_s + 31)$$

$$H_s = \frac{31}{8}$$

$$H_s = 3.88 \text{ m}$$

Según la relación, la altura mínima que garantizará el buen funcionamiento del ariete es de 3.88 m, de tal manera se realizó el replanteo de la ubicación de ariete hidráulico estableciéndose a 30 metros de distancia inclinada respecto a la cámara de carga, el terreno donde se trabajó para la instalación era muy favorable ya que no había mucha presencia de rocas.

La altura o salto de agua es la caída aprovechable que suministra energía para accionar la válvula que produce el golpe de ariete. Ésta altura no debe ser inferior a 1m. El rango de las alturas varía entre 1 a 30 m. Con caídas menores a 1 m se tendrá una

deficiente operación y con alturas superiores a los 30 m, el funcionamiento de la bomba es inestable con el riesgo de desgaste de las válvulas y el percutor de la bomba, (Galarza Chacon, 2013)

$$1 m \leq H \leq 30 m$$

La longitud (L) puede variar entre 4 y 10 veces la altura de impulsión (H):

$$4H = L = 10H$$

Estableciéndose, 3.88 (4 metros) de altura de suministro y 35 metros de altura de descarga, se dio una relación de 1:9, cabe mencionar que estos parámetros están dentro de los rangos permitidos como criterio de diseño por investigación en trabajos relacionados al tema.

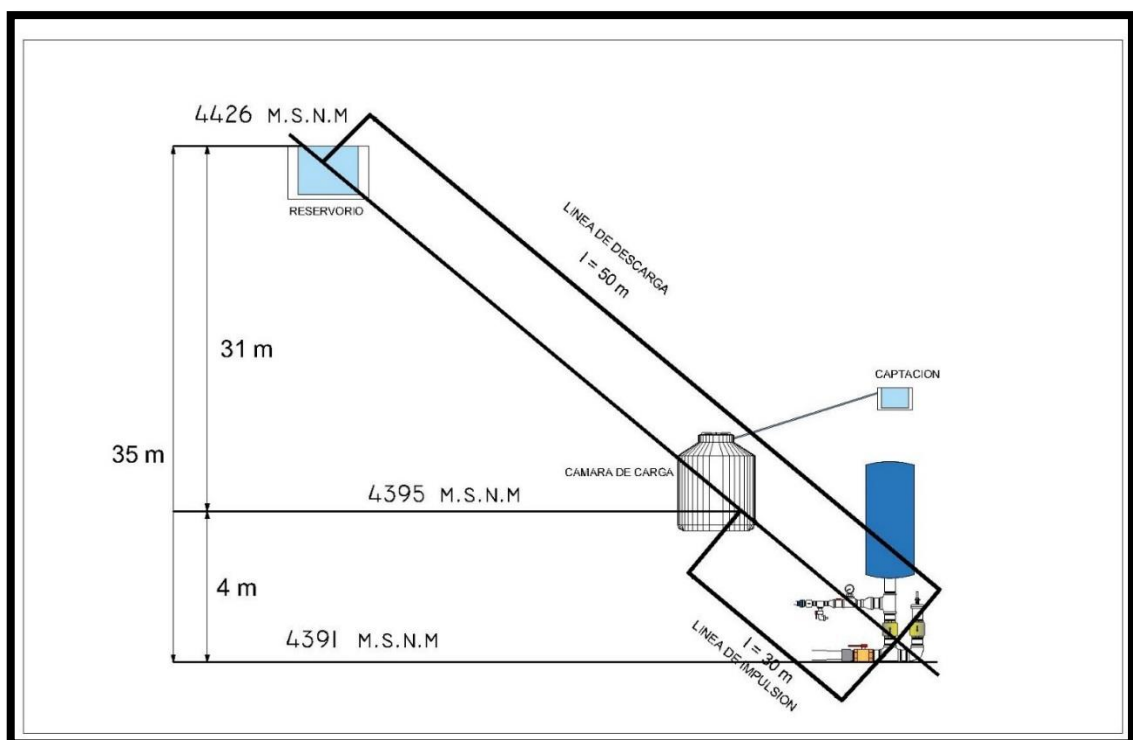


Figura 29: Esquema final del sistema de bombeo.

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.8.5. Calculo de la demanda de agua de consumo y del caudal de descarga.

El fundo Pachaticgra de propiedad del Sr. Antonio Condori Coaquira tiene un depósito de 1100 litros que carece de suministro de agua para el consumo; sin embargo, el manantial se encuentra casi al mismo nivel y a una distancia de 650 metros cuyo caudal está disponible para su aprovechamiento.

Se determinó la demanda de consumo de agua en la tabla presenta una demanda hídrica de 1900 Litros/semana, correspondiente a la semana en que más se consume agua. El diseño del sistema de bombeo requerirá satisfacer la demanda de agua, para esto la necesidad hídrica se adoptó como el caudal de descarga, con este parámetro se realizó el diseño de los componentes del sistema a de bombeo.

$$q = 1850 \text{ Litros/semana} = 0.18 \text{ Litros/minuto} = 0,0031 \text{ Litros/segundo}$$

Tabla 6: Calculo de la demanda de agua para el consumo

| DESCRIPCION | MES | | | |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | SEMANA 1 (litros) | SEMANA 2 (litros) | SEMANA 3 (litros) | SEMANA 4 (litros) |
| Cocina | 700 | 700 | 700 | 700 |
| Lavandería | 500 | 300 | 500 | 300 |
| Sanitarios | 700 | 800 | 700 | 800 |
| TOTAL | 1900 | 1800 | 1900 | 1800 |

Elaborado por el equipo de trabajo.

Se realizó el cálculo promedio por semana:

$$D_S = \frac{D_{s1} + D_{s2} + D_{s3} + D_{s4}}{4}$$



Donde:

Ds = Demanda semanal.

Reemplazando en la ecuación de la demanda promedio semanal

$$Dm = \frac{1900 + 1800 + 1900 + 1800}{4}$$

$$Dm = 1850 \text{ Litros/semana}$$

3.8.6. Calculo del caudal de abastecimiento (Q)

Es la cantidad de agua de ingreso a la cámara de carga, captado y conducido desde el ojo de agua.

Se sabe que para encontrar el caudal de suministro se debe asumir una eficiencia desde 10% hasta 90% para la bomba de ariete y se calcula mediante de la ecuación 17.

$$Q = (q * Hd) / (\eta * Hs)$$

Donde:

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

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

Hd = Altura de descarga (m).

Hs = Altura de suministro (m).

n = Eficiencia (%).

Como resultado se obtuvo los siguientes parámetros:

$$q = 0.12 \text{ l/s}$$



$$Hd = 35 \text{ m.}$$

$$Hs = 4$$

$$\eta = 90\%$$

Reemplazando los valores en la ecuación 17.

$$Q = \frac{(q * Hd)}{(\eta * Hs)}$$

$$Q = \frac{0.12 * 35}{0.90 * 4}$$

$$Q = 1.16 \text{ l/s}$$

$$Q = 70 \text{ l/min.}$$

El caudal mínimo que ingresaría a la cámara de carga sería de 70 l/m. durante el funcionamiento del sistema de bombeo. Pero desafortunadamente, esto no sucede en un sistema real; existen varias pérdidas producidas por fricción.

3.8.7. Elección de la tubería de suministro

Indica que para el funcionamiento satisfactorio de la bomba de ariete, la proporción de la longitud de la tubería (L) y el diámetro (D) deben encontrarse entre los límites de 150 a 1000; recomendando realizar la instalación con una relación L/D de 500 o elegir una longitud cuatro (4) veces la altura de impulsión seleccionando el que resulte menor, (Watt, 1981)

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



Donde:

L = Longitud de la tubería de suministro (m).

D = Diámetro de la tubería de suministro (mm).

Tabla 7: Longitud de la tubería de suministro en función del diámetro

| PARAMETROS | VALOR (m) |
|-----------------|--------------|
| Longitud mínima | $L = 150 D$ |
| Longitud optima | $L = 500 D$ |
| Longitud máxima | $L = 1000 D$ |

Fuente: (Watt, 1981)

Por lo general la longitud no debe ser muy corta ya que provocaría el cierre temprano de la válvula de impulsión lo cual no permitiría un aumento de presión adecuado. Si la dimensión fuera muy larga entonces las pérdidas por fricción dominan reduciendo la capacidad de la bomba y dañarían los elementos del sistema, por lo tanto la relación longitud diámetro de la tubería de impulsión debe encontrarse en el rango de:

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

Ya que fuera de este rango la operación del ariete puede verse afectada notoriamente.

En función de la altura de suministro “Hs”:

Tabla 8: Longitud de la tubería de suministro en función de la altura de suministro

| Altura de suministro (m) | Longitud de suministro (m) |
|--------------------------|----------------------------|
| $H_s \leq 4.5 m$ | $L = 5 H_s$ |
| $4.5 < H_s \leq 8 m$ | $L = 4 H_s$ |
| $4.5 < H_s \leq 16 m$ | $L = 3 H_s$ |
| $H_s \geq 16 m$ | $L = 2 H_s$ |

Fuente: (Watt, 1981)

Por lo cual, la longitud de la tubería de impulsión dependerá tanto del diámetro como de la altura de suministro, requerimientos de resistencia, consideraciones de costo, disponibilidad de materiales en el mercado para su respectivo dimensionamiento y selección.

a. Cálculo del diámetro de la tubería de suministro en función de su longitud.

Usando la ecuación (3) que fue planteada por S.B. Watt, el diámetro de la tubería de suministro deberá estar dentro del rango de:

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

$$\text{Diámetro máximo: } D = \frac{L}{150} = \frac{30}{150} = 0.2m = 7.8\text{pulg.} \cong 8\text{pulg.}$$

$$\text{Diámetro mínimo: } D = \frac{L}{1000} = \frac{30}{1000} = 0.03m = 1.18\text{pulg.} \cong 1\text{pulg.}$$

Según los datos obtenidos, el diámetro de la tubería de suministro podría ser elegido entre los rangos $1 \leq D \leq 8$

Para el cálculo del diámetro de la tubería de suministro haciendo uso de la tabla

9.



Tabla 9: Longitud de tubería de suministro para diferentes diámetros.

| DIAMETRO (mm) | LONGITUD (m) | |
|------------------|--------------|--------|
| | Mínimo | Máximo |
| 13 | 2 | 13 |
| 20 | 3 | 20 |
| 25 | 4 | 25 |
| 30 | 4.5 | 30 |
| 40 | 6 | 40 |
| 50 | 7.5 | 50 |
| 80 | 12 | 80 |
| 100 | 15 | 100 |
| 200 | 30 | 200 |

Fuente: (Campaña Calero & Guaman Alarcon, 2011)

Para la longitud de tubería de suministro que tenemos es 30 metros, según la tabla

9. El diámetro a escoger sería 50 mm (2pulg)

4.1.8. Tamaño de la bomba de ariete

Las dimensiones de la bomba de ariete se determinaron en función al diámetro de la tubería de suministro. En cuanto al diseño de sus componentes del sistema de bombeo el diámetro de la tubería de impulsión quedo determinado en 2 pulgadas.

3.8.8. Elección de la tubería de descarga

A diferencia de la tubería de suministro, la descarga o entrega puede ser de cualquier material; que sea capaz de soportar una pequeña presión de agua ascendiendo al tanque de entrega; generalmente es de la mitad del diámetro del tubo de suministro, aunque es

más lógico determinarlo según el caudal de bombeo, el largo del tubo y la potencia disponible.

Tabla 10: Diámetro de tubería de entrega en función al caudal.

| DIAMETRO DEL CONDUCTO DE ENTREGA (MM) | CAUDAL (L/MIN) |
|---|----------------|
| 15 | 2 – 8 |
| 30 | 9 – 36 |
| 40 | 37 – 60 |
| 50 | 61 – 90 |
| 80 | 91 – 234 |
| 100 | 235 – 360 |

Fuente: (Campaña Calero & Guaman Alarcon, 2011)

Tomando el criterio mencionado, además considerando el diámetro de la tubería de suministro y caudal de suministro se determinó ½ pulgada (13mm), como diámetro de la tubería de descarga; por otra parte.

✓ Elección del Material de la tubería de descarga

Este material deberá ser rígido, con paredes lisas, uniones herméticas, evitándose el uso de accesorios para no causar turbulencia en la descarga y mantener un caudal continuo.

El conducto que ofrece las características requeridas, es la tubería HDPE y PVC; de los cuales la tubería HDPE tiene mayor ventaja por la facilidad en su instalación y adaptación al perfil del terreno; por lo que, se eligió utilizar la manguera HDPE de ½ pulgada de diámetro.



3.8.9. Cámara de carga

La cámara de carga, es un componente indispensable para el sistema de bombeo, permite alimentar un caudal continuo a la tubería de suministro de acuerdo al funcionamiento y calibración de la bomba de ariete hidráulico, los tanques de captación varían con el sitio, y se los puede usar o no, dependiendo del tipo de fuente que se tenga o el uso que el agua requiera, prestando especial atención si es para consumo humano, en donde se debe evitar la contaminación.

El reservorio de alimentación debe cumplir con cierto volumen mínimo permanente de agua, para evitar la entrada de aire en el tubo de impulso por la formación de un remolino, se mantiene una distancia mínima, entre el espejo del agua en la presa y la entrada del tubo de impulso. El aire que entra en el sistema de forma incontrolada se comprime en el momento del golpe de ariete, amortiguando parcialmente el impulso, lo cual resulta en pérdida de energía de bombeo y puede provocar inestabilidad o interrupción en el funcionamiento de la instalación. Por otro lado, existe la necesidad de mantener el nivel de aire en la cámara, que sirve como colchón de amortiguación contra la propagación de los golpes de ariete en el tubo de bombeo. Con este fin se mantiene la válvula de aire suficientemente abierta, para compensar la fuga de aire por absorción en el agua, (Campana Calero & Guaman Alarcon, 2011)

El tanque, tiene un tubo de rebose y uno de limpia, también es necesario colocar la toma del tubo de impulsión, lo más arriba del fondo del tanque para evitar la entrada de sedimentos en el tubo, sobre la toma se recomienda por lo menos 30 cm. de agua para que el tubo no absorba aire.



Figura 30: Esquema de la cámara de carga.

Elaborado por el equipo de trabajo.

En el diseño del sistema de bombeo planteado, fue necesario solo una cámara de carga para el cual se utilizó un depósito de 1100 litros que mantenga constante el ingreso del agua a la tubería de suministro, dado que el caudal ofertado por el manantial fue de 1.10.l/s, superior a la demanda, siendo suficiente para cubrir el caudal de suministro requerido para satisfacer la demanda de agua para el consumo.

3.8.10. Reservorio de almacenamiento

El depósito de almacenamiento que se instalara es de vital importancia ya que en esta se almacena el agua bombeado y permite conseguir un caudal adecuado para el consumo humano.



Para lograr la cobertura total del fundo pachaticgra se instalara un depósito de 1100 litros en la cota más elevada a una distancia de 50m de la ubicación de la bomba de ariete y con un desnivel de 35m.

3.8.11. Resumen de resultado del diseño del sistema de bombeo

a. Resumen de los parámetros iniciales de diseño

Los parámetros iniciales necesarios que permitieron el diseño de los componentes del sistema de bombeo fueron:

Tabla 11: Resultados de parámetros iniciales de diseño

| PARAMETROS | VALOR | UNIDAD |
|--|-------|--------|
| Caudal de la fuente de agua | 65 | L/min. |
| Desnivel entre la cámara de carga y reservorio | 31 | m. |
| Demanda de agua para el consumo humano | 1850 | L/min. |
| Caudal de suministro | 55.6 | L/min |

Elaborado por el equipo de trabajo.

b. Resumen del diseño de los componentes del sistema de bombeo

El diseño de los componentes del sistema de bombeo que utiliza como impulsor de agua a la bomba de ariete hidráulico quedó diseñado con las siguientes dimensiones y características:

Tabla 12: Resultados del cálculo de diseño

| COMPONENTE | VALOR | UNID. | MATERIAL |
|--|-------|----------------|-----------------------------------|
| Captación | | | |
| Captación artesanal | | | ninguno |
| Línea de conducción | | | |
| Diámetro de tubería de línea de conducción | 2 | Pulg. | PVC |
| Cámara de carga | | | |
| Volumen de cámara de carga | 1.1 | m ³ | Polietileno |
| Línea de suministro | | | |
| Altura de suministro | 4 | m | |
| Longitud de tubería de suministro | 30 | m | |
| Caudal de suministro | 20 | L/min. | PVC |
| Diámetro de tubería de suministro | 2 | Pulg. | |
| Bomba de ariete hidráulico | | | |
| Diámetro de la bomba de ariete | 2 | Pulg. | Fierro galvanizado, Bronce y HDPE |
| Línea de descarga | | | |
| Altura de descarga | 35 | m | |
| Longitud de tubería de descarga | 50 | m | |
| Caudal de descarga | 8 | L/min. | Manguera HDPE |
| Diámetro de tubería de descarga | ½ | Pulg. | |
| Reservorio (proyectado) | | | |
| Volumen del reservorio de almacenamiento | 1.1 | m ³ | polietileno |
| Base del ariete hidráulico | | | |
| Área de la base (70x50) | 0.35 | m ² | Fierro, perno con tuerca |

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.9. DISEÑO DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO

3.9.1. Cuerpo de la bomba de ariete hidráulico

El cuerpo de la bomba de ariete debe ser capaz de soportar las presiones internas que se producirán y esto lo lograra a través de sus componentes como la válvula de impulso, válvula de descarga y cámara de aire. Estos componentes deberán tener las características de resistencia a la corrosión y soldabilidad.

El diámetro de la tubería de suministro está en relación al tamaño del cuerpo de la bomba, en el presente trabajo de investigación el diámetro de la tubería de suministro es de 2 pulgadas, por lo tanto el diámetro del cuerpo de la bomba también será de 2 pulgadas.

Los componentes elegidos para su construcción fueron fierro galvanizado, bronce y HDPE ya que estos materiales son fáciles de encontrar en la ferretería local.

Tabla 13: Accesorios del cuerpo de la bomba de ariete hidráulico.

| N° | DESCRIPCION | MATERIAL | CANTIDAD | UNIDAD |
|----|---------------------|----------|----------|--------|
| 1 | Llave de paso de 2" | Bronce | 1 | Pza. |
| 2 | Tee de 2" | F.G. | 1 | Pza. |
| 3 | Codo de 90° de 2" | F.G. | 1 | Pza. |
| 4 | Niple de 2" x3" | F.G. | 4 | Pza. |
| 5 | Adaptador UPR de 2" | PVC | 1 | Pza. |

Elaborado por el equipo de trabajo.

El diseño del cuerpo de la bomba de ariete hidráulico fue a base de elementos roscados y la calidad del material de los componentes fueron elegidos de tal manera que pudieran soportar las sobrepresiones a producirse por el golpe de ariete, ver figura 31.

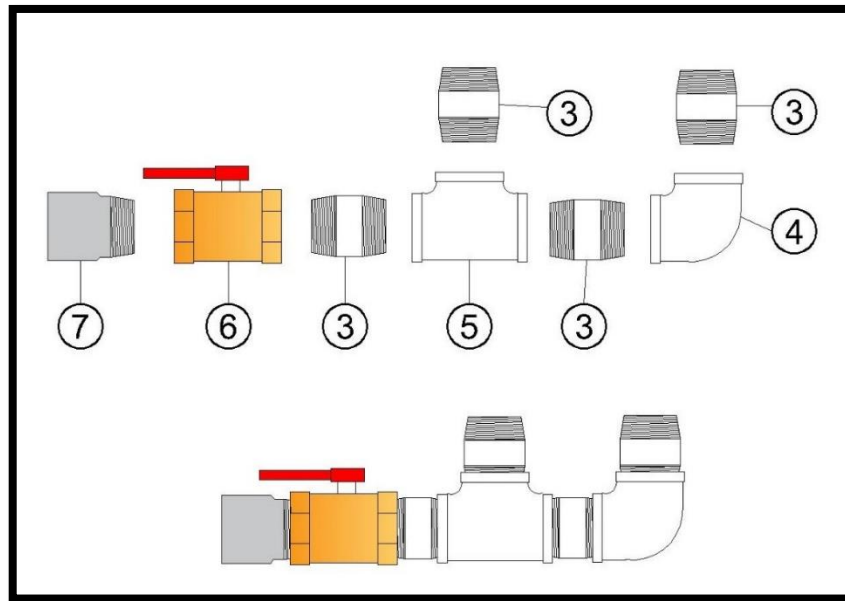


Figura 31: Accesorios del cuerpo de la bomba de ariete.

Elaborado por el equipo de trabajo.

Los componentes del cuerpo de la bomba de ariete están constituidos por fierro galvanizado, bronce y PVC ya que estos tienen una alta duración, resistencia y son fáciles de conseguir en la ferretería local. Los criterios de valoración realizada en el diseño para la manufactura de la estructura principal del ariete fueron:

Diseño : Garantiza bajas pérdidas de presión y velocidad.

Fiabilidad : Es regulable.

Robustez : Buena calidad y bajos costos de construcción.

Construcción : El proceso de manufactura es sencillo.

3.9.2. Diseño de la válvula de impulsión.

Esta válvula tiene un movimiento axial ya que su asiento es plano y tiene forma de cilindro, la función que cumple es cerrarse automáticamente por efecto de la presión



del líquido y se abre también de un modo automático al disminuir la presión a causa de su propio peso. Su dimensionamiento está en función al diámetro de la tubería de suministro.

Los criterios a seguir para una correcta selección del diseño de la válvula de impulso son:

- ✓ Debe ser hermético el sellado de la válvula.
- ✓ Esta válvula debe resistir de manera adecuada la fatiga a la que va a estar expuesta.
- ✓ Su sistema debe permitir la libre apertura y cierre de la misma rápidamente.
- ✓ Debe tener la capacidad de ser regulada con el fin de garantizar el máximo rendimiento de la bomba.

Es una de las partes más sensibles del ariete, por lo cual una selección adecuada garantiza un funcionamiento eficiente ya que debe soportar el golpe de ariete, resistencia a la fatiga y una vida útil prolongada.

Se eligió utilizar en este trabajo de investigación un resorte para la válvula de impulsión, por su fácil adaptación, montaje, no usar soldadura y por su versatilidad para su calibración, esta válvula se asienta sobre el codo del cuerpo de la bomba de ariete hidráulico, lo que gobernara la carrera de esta válvula será un resorte.

Los criterios más importantes que se consideraron para su diseño fueron:

- ✓ Sensibilidad: De esto dependerá el correcto funcionamiento del ariete.
- ✓ Fiabilidad: Opera por un periodo conveniente.
- ✓ Fácil regulación: Permite regular la frecuencia de las pulsaciones con ello variar el caudal de alimentación, caudal de descarga y la eficiencia.

- ✓ Precio moderado: Materiales de fácil adquisición como niple de 2"x 4" de largo con su tapa, pernos, resortes, tuercas, arandelas y se puede armar en cualquier taller mecánico.
- ✓ Montaje: Posee un fácil montaje.

Tomando en cuenta los aspectos mencionados, el diseño consistió en la adecuación de un niple de 2x4 pulgadas de largo fabricado con fierro galvanizado el cual fue comprado en una ferretería local, ver figura 32.

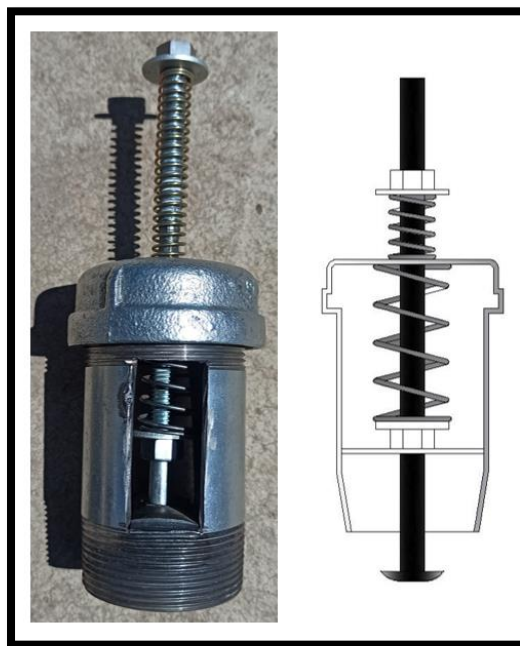


Figura 32: Niple modificado de 2x4 pulgadas.

Elaborado por el equipo de trabajo.

Se tuvo especial cuidado con el diseño del resorte de compresión y perno de acople, los cuales se detallan a continuación:

a. Resorte de compresión

El resorte reemplazara las pesas que se utilizan en el diseño de otros tipos de válvulas de impulsión; la única fuerza que permitirá el golpe de ariete será la elasticidad generada por el resorte.

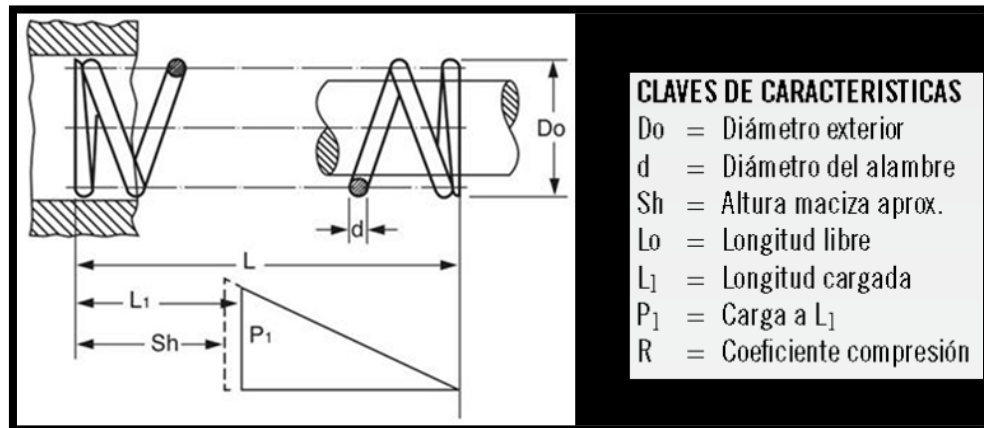


Figura 33: Esquema de características del resorte de compresión.

Fuente: (Barnes Group, 2016)

Se eligió el resorte con las siguientes características.

Resorte Principal

Material = Acero inoxidable.

Diámetro exterior (D_0) = 1.2 cm.

Diámetro de alambre (d) = 1.5 mm.

Longitud libre (L_0) = 8 cm.

Máxima compresión = 23.13% de la Longitud libre

Resorte secundario:

Material = alambre de piano

Diámetro exterior (D_0) = 2 cm.

Diámetro de alambre (d) = 1 mm.

Longitud libre (L_0) = 6.8 cm.

Máxima compresión = 64,7% de la Longitud libre



Figura 34: Resorte principal y secundario de la válvula de impulsión.

Elaborado por el equipo de trabajo.

b. Bancada

El mecanismo permitirá unir el pie del vástago con el vástago de la válvula check, está conformada por una primera bancada que sería la tapa del niple, en el cual se hizo una perforación con diámetro de 3/8", la segunda bancada es una de las paredes del niple que previamente fue cortada, doblada y perforada en la parte central para que guíe al vástago. Estas bancadas permiten mantener verticalmente al vástago durante los movimientos de subida y bajada al accionar el cierre y apertura de la válvula de impulso, ver figuras 35 y 36.



Figura 35: Primera bancada (tapa de niple de 2 pulgadas)

Elaborado por el equipo de trabajo.



Figura 36: Segunda bancada (niple modificado)

Elaborado por el equipo de trabajo.

c. Longitud del vástago

La longitud del vástago fue tomado considerando el largo del niple y la longitud del primer resorte. Se eligió como vástago de la válvula de impulso, un perno de acero inoxidable con rosca fina de 3/8" de diámetro y 20 centímetros de longitud (con 5 centímetros de no rosca), ver figura 37.

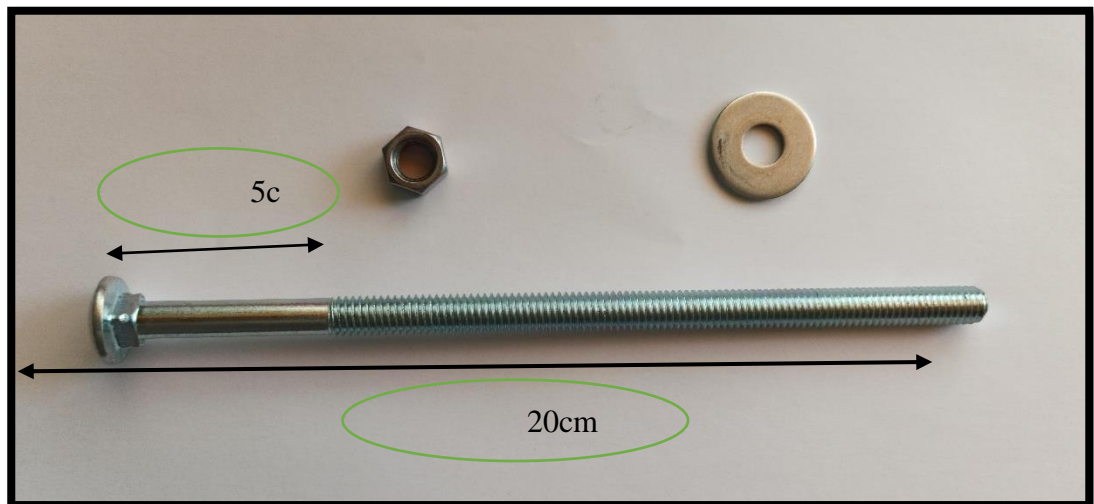


Figura 37: Perno, tuerca y arandela.

Elaborado por el equipo de trabajo.

d. Configuración final de la válvula de impulsión con resorte

La configuración final de diseño de la válvula de impulsión con resorte, adaptada a un niple de 2"x 4 pulgadas de largo, teniendo como característica principal que es regulable la longitud de desplazamiento del vástago, con ello se establece convenientemente el número de golpes por minuto, permitiendo la rapidez o lentitud de la apertura y cierre de la válvula de impulso durante la fase de operación de la bomba de ariete hidráulico, ver figura 38.

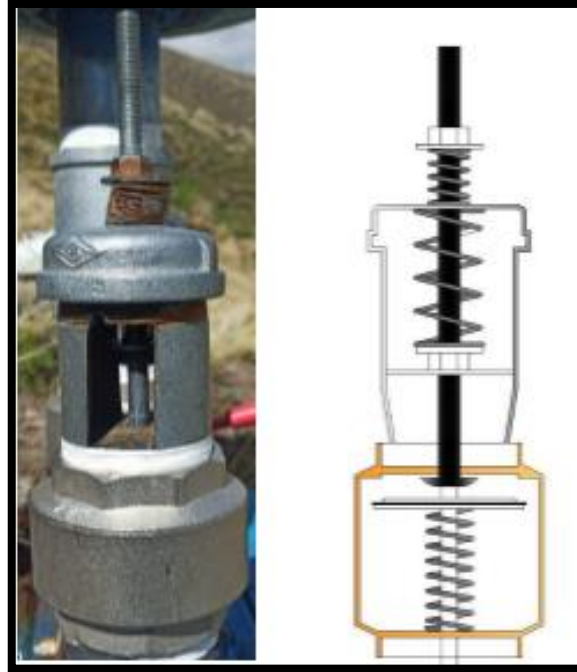


Figura 38: Válvula de impulsión gobernada por resorte.

Elaborado por el equipo de trabajo.

Las piezas que componen la válvula de impulsión se muestran en la tabla 14.

Tabla 14: Componentes de la válvula de impulso

| DESCRIPCION | MATERIAL | CANTIDAD | UNIDAD |
|-----------------------------|--------------------|----------|--------|
| Niple 2x4 pulgadas de largo | Fierro galvanizado | 1 | Pza. |
| Perno de 3/8" x 8" | Acero inoxidable. | 1 | Pza. |
| Tuerca de 3/8" | Acero. | 2 | Pza. |
| Arandela | Acero inoxidable. | 2 | Pza. |
| Resorte | Alambre de piano | 2 | Pza. |
| Tapa de niple | Fierro galvanizado | 1 | Pza. |

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.9.3. Selección de la válvula de descarga

La válvula de descarga permite que el flujo del agua tenga una sola dirección evitando que el agua bombeada regrese al cuerpo del ariete, ya que estará situada entre el pasaje de la cámara de aire y del cuerpo de la bomba de ariete hidráulico.

En nuestro trabajo de investigación se seleccionó la válvula check de 2 pulgadas, ya que posee una sensibilidad a los cambios de presión y su tamaño está en relación al cuerpo del ariete, este accesorio es fácil de adquirirlo en las ferreterías.

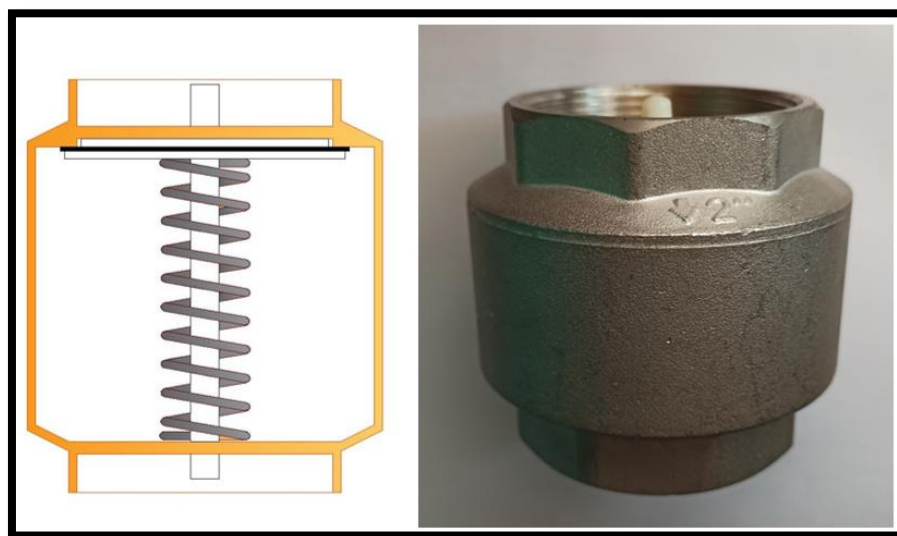


Figura 39: Válvula de descarga.

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.9.4. Determinación de la altura de carga total

La línea de suministro nos permite determinar la altura de la carga total realizando el cálculo de las características físicas del sistema, tales como:

a. Velocidad del flujo en la tubería de suministro

Se realizó el cálculo utilizando la fórmula de Hacen – Williams.



$$V = 0.8494 * C * (Rh)^{0.63} * S^{0.54}$$

Donde:

V = Velocidad media del agua en el tubo en (m/s).

C = Coeficiente que depende de la rugosidad del tubo.

- ✓ 90 para tubos de acero soldado.
- ✓ 100 para tubos de hierro fundido.
- ✓ 150 para tubos de PVC.
- ✓ 150 para tubos de PRFV.
- ✓ 128 para tubos de fibrocemento.
- ✓ 140 para tubos de polietileno de alta densidad (HDPE).

Rh = Radio hidráulico

S = Pendiente - Pérdida de carga por unidad de longitud del conducto (m/m).

Hallando el radio hidráulico (Rh)

$$Rh = \frac{D}{4}$$

Donde:

Diámetro (D) = 2"

$$Rh = \frac{D}{4}$$

$$Rh = \frac{2}{4}$$

$$Rh = 0.5 \text{ pulg.}$$



Hallando (S) Pendiente - Pérdida de carga por unidad de longitud del conducto
(m/m).

$$S = \frac{10,679 * Q^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,87}}$$

Donde:

Caudal (Q) = 0.00093 m³/s

Coefficiente que depende de la rugosidad del tubo (C) = 150

Diámetro (D) = 0.0508 m.

$$S = \frac{10,679 * 0.00093^{1,852}}{150^{1,852} * 0.0508^{4,87}}$$

$$S = 0.00486 \frac{m.c.a}{m}$$

Reemplazando en la ecuación de Hazen – Williams

$$V = 0.8494 * C * (Rh)^{0.63} * S^{0.54}$$

Si:

C = 150

Rh = 0.5 pulg. = 0.0127 m.

$$S = 0.00486 \frac{m.c.a}{m}$$

$$V = 0.8494 * 150 * (0.0127)^{0.63} * 0.00486^{0.54}$$

$$V = 0.46 \text{ m/s}$$



b. Cálculo de coeficiente total de pérdidas

Este cálculo viene determinada por la siguiente ecuación:

$$Hr = 1 + \lambda \frac{L}{Di} + \Sigma K$$

Donde:

Hr = Coeficiente total de pérdidas (m)

λ = Coeficiente de fricción o resistencia de la tubería.

L = Longitud de la tubería de impulso.

Di = Diámetro interno de la tubería de impulso

ΣK = Sumatoria de coeficiente de resistencia por accesorios.

✓ Cálculo de λ

El coeficiente de fricción o resistencia (λ), está en función del número de Reynolds (Re) y la Rugosidad relativa (ϵ).

✓ Número de Reynolds

Esta dada por la siguiente formula.

$$Re = \frac{V_0 * Di}{\gamma}$$

Donde:



Re = Número de Reynolds.

V_0 = Velocidad del agua disponible (m/s).

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

γ = Viscosidad cinemática del agua a 10 C°

Si:

$V_0 = 0.46$ m/s

$Di = 0.0508$ m

$\gamma = 1.3 \times 10^{-6}$ m²/s

$$Re = \frac{0.46 * 0.0508}{1.3 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 17975.38$$

Se observa que $Re \geq 4000$, por lo tanto el flujo es turbulento.

✓ **Rugosidad relativa**

Esta dada por la siguiente relación.

$$\varepsilon = \frac{e}{Di}$$

Donde:

ε = Rugosidad relativa.

e = Rugosidad absoluta.



D_i = Diámetro interior de la tubería (m)

Si:

$e = 1.5 \times 10^{-6}$ m. para tubería de PVC

$D_i = 0.0508$ m.

$$\varepsilon = \frac{1.5 \times 10^{-6}}{0.0508}$$

$$\varepsilon = \mathbf{0.00003}$$

Con los valores de rugosidad relativa (ε) y número de Reynolds (Re) en el diagrama de Moody intersectando cuyos datos se obtuvo el valor de:

$$\lambda = \mathbf{0.026}$$

✓ Cálculo de la ΣK

Los accesorios que fueron considerados en la línea de impulsión son roscados con diámetro nominal de 2 pulgadas.

Tabla 15: Coeficientes de pérdidas de cargas locales

| Accesorio | Cantidad | Le/D | fr | K |
|----------------------|----------|------|-------|-------|
| Entrada a la tubería | 1 | | | 0.50 |
| Válvula esférica | 1 | 3 | 0.019 | 0.057 |
| Tee | 1 | 20 | 0.019 | 0.38 |
| Codo de 90° | 1 | 30 | 0.019 | 0.57 |
| | Σ | | | 1.51 |

Fuente: (Crane-Mc Graw Hill)



✓ **Coefficiente de pérdida de la válvula de impulso**

El coeficiente de paso (K) de la válvula de impulso está dada por la ecuación:

$$K = \left(1.645 * \frac{Ac}{Ap} - 1 \right)^2$$

$$Ac = \frac{\pi(Dc)^2}{4}$$

$$Ap = \pi * D_0 * S$$

Donde:

Ac = Área del cuerpo del ariete (m^2).

Ap = Área de paso de la válvula de impulso (m^2).

$Dc = D_0$ = Diámetro del cuerpo del ariete (m).

S = Carrera de la válvula de impulso (m).

Si:

$$Dc = 0.051m$$

$$D_0 = 0.051m$$

$$S = 0.03m$$

Se calcula:

$$Ac = \frac{\pi(Dc)^2}{4} = \frac{\pi(0.051)^2}{4} = 0.0021m^2$$

$$Ap = \pi * D_0 * S = \pi * 0.051 * 0.03 = 0.0048m^2$$



Reemplazando estos valores en la ecuación de coeficiente de paso.

$$K = \left(1.645 * \frac{0.0021}{0.0048} - 1\right)^2$$

$$K = 0.079$$

La sumatoria total será igual a:

$$\Sigma K = 1.51 + 0.079$$

$$\Sigma K = 1.589$$

Reemplazando estos valores en la ecuación de coeficiente total de pérdidas.

$$Hr = 1 + \lambda \frac{L}{Di} + \Sigma K$$

$$Hr = 1 + 0.026 * \frac{30}{0.051} + 1.589$$

$$Hr = 17.88$$

c. Calculo de la velocidad de cierre de la válvula de impulso

Para que se cierre la válvula de impulsión por la velocidad del agua; se calculara con la siguiente ecuación.

$$Vc = 0.5 * \sqrt{\frac{2 * g * H}{Hr}}$$



Donde:

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

g = Gravedad (m/s²).

H = Altura disponible (m)

Hr = Pérdidas.

Si:

$H = 4\text{m}$

$Hr = 17.88$

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Reemplazando en la ecuación

$$Vc = 0.5 * \sqrt{\frac{2 * 9.81 * 4}{17.88}}$$

$$Vc = 1.05 \text{ m/s}$$

d. Cálculo de la presión total de carga

Esta viene determinada por la suma de la subida de presión debido al golpe de ariete (ha) y la altura disponible (H), y está dada por la siguiente ecuación.

$$Ht = H + ha$$

Para hallar la subida de presión debido al golpe de ariete se consideró la siguiente ecuación:



$$h_a = \frac{V_c * a}{g}$$

Donde:

a = velocidad de propagación de la onda de presión (m/s)

V_c = velocidad del agua en la tubería para el cierre de la válvula de impulsión
(m/s)

g = aceleración de la gravedad (m/s²)

✓ Cálculo de la velocidad de propagación de la onda de presión

Utilizando la ecuación (24).

$$a = \frac{\sqrt{\frac{E_o}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{E_o D}{E \delta}}} \quad (24)$$

Donde:

a = Celeridad onda elástica del fluido en tubería (m/s).

E_o = Módulo de elasticidad de volumen del fluido (N/m²).

ρ = Densidad del fluido (kg/m³).

D = Diámetro de la tubería (m).

E = Módulo de elasticidad del material de la tubería (N/m²).

δ = Espesor de la tubería (m)

Si:

E_o = 2.11 x 10⁹ N/m² (10°C)



$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$D = 0.06 \text{ m}$$

$$E = 2.8 \times 10^8 \text{ N/m}^2$$

$$\delta = 0.0022 \text{ m}$$

Reemplazando en la ecuación 24.

$$a = \frac{\sqrt{\frac{E_o}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{E_o D}{E \delta}}}$$
$$a = \frac{\sqrt{\frac{2.11 \times 10^9}{1000}}}{\sqrt{1 + \frac{2.11 \times 10^9 * 0.06}{2.8 \times 10^8 * 0.0022}}}$$
$$a = 101.08 \text{ m/s}$$

✓ Cálculo de la sobrepresión

Luego de haber calculado la velocidad de propagación de la onda de presión se procederá a calcular la sobrepresión que se produce cuando se genera el golpe de ariete con la siguiente ecuación.

$$ha = \frac{Vc * a}{g}$$

$$ha = \frac{1.05 * 101.08}{9.81}$$

$$ha = 10.82 \text{ m. c. a.}$$

Obteniendo los datos de la subida de presión debido al golpe de ariete (h_a) y la altura disponible (H), se reemplazaran en la siguiente ecuación.

$$H_t = H + h_a$$

$$H_t = 4 + 10.82$$

$$H_t = 14.82 \text{ m.c.a.}$$

e. Verificación de la clase de tubería seleccionada para la línea de suministro

La elección de esta tubería se determinó con anterioridad, las características técnicas que permitirá una resistencia a la máxima presión producida cuando ocurra el golpe de ariete, por lo que la tubería elegida fue de clase 7.5 que está diseñada para soportar una presión de 7.5 bar 75 m.c.a, comparando con el cálculo de la presión máxima de carga 14.82 m.c.a. se comprobó que la clase de tubería que se eligió fue la correcta.

Tabla 16: Características técnicas de la tubería PVC-PN-7.5

| Diámetro exterior | | longitud | | PN-7.5 (0.75MPa) | |
|-------------------|------|----------|----------|------------------|-----------|
| Nominal | Real | Total | Útil | Espesor | Peso |
| (pulg.) | (mm) | (metros) | (metros) | (mm) | (Kg/tubo) |
| 2 | 60 | 5 | 4.95 | 2.20 | 3 |

Fuente: (Tigre Perú tubos y conexiones S.A.)

3.9.5. Cámara de aire

La cámara de aire es un depósito cerrado con aire y agua que ayuda a proporcionar una continua entrega de agua relativamente uniforme, ya que el aire dentro de la cámara se comporta como un elemento elástico. Esta debe ser tan grande como sea posible para



poder amortiguar y comprimir el pulso de presión, por lo que algunos autores sugieren que el volumen de la cámara de aire debería ser igual al volumen del agua de la tubería de suministro. El volumen de la cámara de aire deberá estar entre 20 a 50 veces el volumen entregado en un ciclo y está probado que un funcionamiento apropiado se consigue cuando el nivel de agua dentro de la cámara de aire se encuentra por encima de la salida de la tubería de descarga.

a. Cálculo de la pérdida de carga durante el período de bombeo

Este cálculo viene dado por la siguiente ecuación durante el periodo de retardación en la tubería de suministro.

$$hr = 5.64 \left(1 - \frac{h}{hmáx} \right)$$

Donde:

hr = Pérdida de carga (m).

h = Altura de suministro (m)

$hmáx$ = Sobrepresión “ ha ” (m.c.a)

Si:

$h = 4$ m.

$hmáx = ha = 10.82$ m.

Reemplazando en la ecuación de pérdida de carga.

$$hr = 5.64 \left(1 - \frac{4}{10.82} \right)$$

$$hr = 3.55 \text{ m}$$



b. Cálculo del tiempo del ciclo del golpe de ariete

Este cálculo está definido por el periodo, el cual será el tiempo en que todo será igual que en el tiempo cero y se calculara por la siguiente ecuación.

$$T = 4 * \frac{L}{a}$$

Donde:

T = periodo (seg)

L = longitud de la tubería de suministro (m)

a = velocidad de propagación de la onda de presión (m/s)

Si:

L = 30 m.

a = 101.08 m/s

Reemplazando en la ecuación de periodo.

$$T = 4 * \frac{30}{101.08}$$

$$T = 1.19 \text{ seg/ciclo}$$

c. Cálculo del volumen de agua descargado en un ciclo del golpe de ariete

El volumen del agua descargado por ciclo se calculara con la siguiente ecuación.

$$q' = \frac{q}{T}$$



Donde:

q' = Caudal descargado por ciclo de bombeo (litros/seg.)

q = caudal de descarga (litros/seg.)

T = tiempo en que se desarrolla el ciclo del golpe de ariete (seg/ciclo)

Si:

$q = 0,12$ Litros/segundo

$T = 1.19$ seg/ciclo

Reemplazando en la ecuación.

$$q' = \frac{0.12}{1.19}$$

$$q' = 0.10 \text{ l/ciclo}$$

d. Cálculo de la capacidad de volumen de agua en la cámara de aire

Según (Campaña Calero & Guaman Alarcon, 2011), da como criterio que el volumen de la cámara de aire deberá encontrarse entre 20 y 50 veces el volumen entregado en un ciclo, ya que está comprobado que el funcionamiento adecuado se consigue cuando el volumen de agua dentro de la cámara de aire se encuentra por encima de salida del volumen de la tubería de entrega.

El volumen de agua dentro de la cámara de aire viene dada por la siguiente ecuación:



$$Vc = \frac{(1 + x)Q_{max}(h + hr)}{Pat}$$

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

Donde:

Vc = Volumen de la cámara de aire (m³)

Pat = Presión atmosférica (m)

h = Presión de la altura de carga (m)

hr = Perdida de carga durante el periodo de retardación (m)

Qmax = q' = caudal bombeado por el ariete en un ciclo (m³/ciclo)

x = fracción de aumento de presión que permite el bombeo

Si:

h = 35 m.

hr = 3.55 m.

Qmax = 0.10 L/ciclo = 0.0001 m³/ciclo

Pat = 5.9 m.

Donde:

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

$$x = \frac{35}{35 + 3.55}$$



$$x = 0.91$$

Reemplazando en la ecuación de volumen de la cámara de aire.

$$V_c = \frac{(1 + x)Q_{max}(h + hr)}{Pat}$$

$$V_c = \frac{(1 + 0.91) * 0.0001 * (35 + 3.55)}{5.9}$$

$$V_c = 0.0012 \text{ m}^3$$

$$V_c = 1.2 \text{ L}$$

e. Configuración final de la cámara de aire

Para este componente se eligió un tanque de aire con diámetro de 28 centímetros y 64 centímetros de largo, además la cámara de aire está conformado complementariamente por los accesorios que permiten la unión a la válvula de descarga; estos accesorios unidos harán una longitud de 20 centímetros con un diámetro de 2 pulgadas, estas dos partes formaran el volumen total de la cámara de aire.

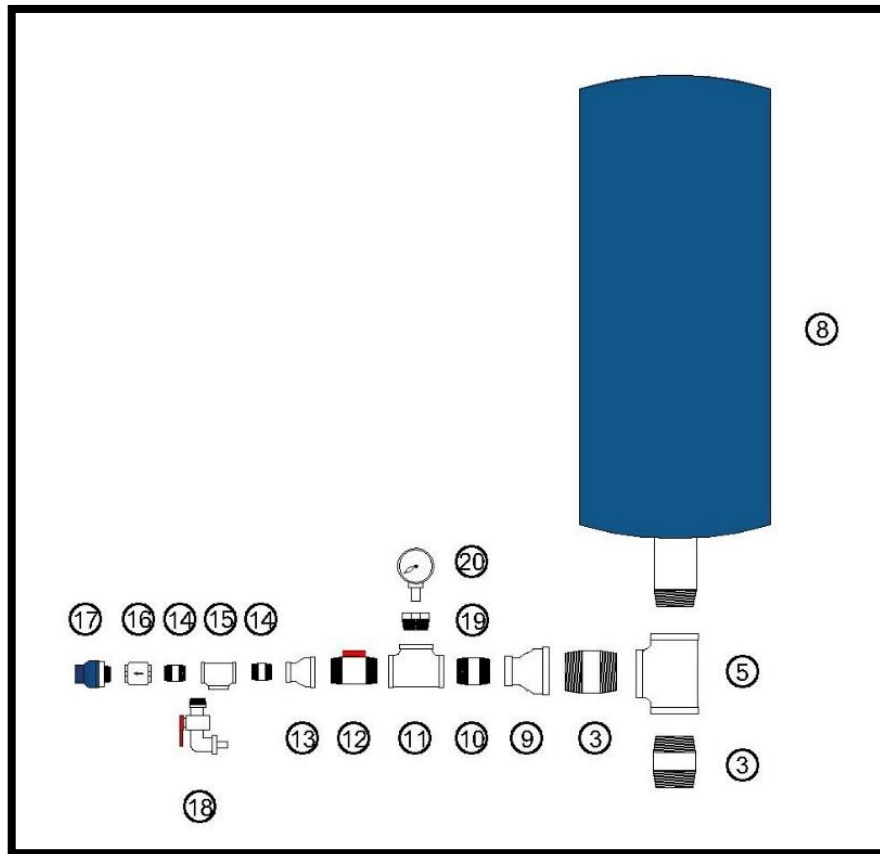


Figura 40: Configuración de la cámara de aire.

Elaborado por el equipo de trabajo.

La captación total de la cámara de aire se calculará con la ecuación

$$V_c = V_1 + V_2$$

Donde:

V_1 = Volumen del tanque de aire

V_2 = Volumen de espacio conformado por accesorios de unión (3 y 5)

Si:

$D_1 = 0.28\text{m}$ (diámetro interior del tanque de aire)

$D_2 = 0.0508\text{m}$ (diámetro interior de accesorios)



Haciendo los cálculos se obtuvo.

$$V1 = \pi * \frac{0.28^2}{4} * 0.64 = 0.0394m^3 = 39.4 \text{ litros}$$

$$V2 = \pi * \frac{0.0508^2}{4} * 0.2 = 0.00041m^3 = 0.41 \text{ litros}$$

Reemplazando en la ecuación de la capacidad total de la cámara de aire:

$$Vc = 39.4 + 0.41$$

$$Vc = 39.81 \text{ litros}$$

Observamos que 39.81 Litros es mayor que los 1.2 Litros de capacidad requerida, entonces los accesorios escogidos fueron las adecuadas para la cámara de aire.

3.9.6. Válvula de aire

El aire absorbido por el agua de la cámara de aire durante el ciclo de operación se compensara seleccionando un niple de fierro galvanizado de 2 pulgadas que se encuentra antes de la válvula check de descarga, se le ha realizado un orificio de 1 mm de diámetro en el niple por el cual se inyectara el aire en cada golpe de la válvula de impulso.



Figura 41: Orificio de 1mm (recuperador de aire)

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.9.7. Resumen del diseño de los componentes de la bomba de ariete hidráulico

Tabla 17: Datos de los componentes que integran la bomba de ariete hidráulico.

| COMPONENTE | VALOR | UNIDAD | MATERIAL |
|---|-------|--------|-----------------------------------|
| Cuerpo de la bomba | | | |
| Diámetro de la bomba de ariete hidráulico | 2 | Pulg. | Fierro galvanizado, bronce y PVC. |
| Válvula de impulsión | | | |
| Diámetro del pie de válvula | 2 | Pulg. | |
| Diámetro del vástago | 3/8 | Pulg. | Bronce, Fierro galvanizado y |
| Longitud de vástago | 20 | cm | acero inoxidable |
| Carrera | 35 | mm | |
| Resorte de compresión | 2 | N/mm | |

Continuación

| | | | |
|----------------------------------|------------------|-------|--------------------|
| Espesor de la bancada principal | 2 | mm | |
| Espesor de la bancada secundaria | 2 | mm | |
| Diámetro de la válvula check | 2 | pulg | |
| Válvula de descarga | | | |
| Válvula check | 2 | Pulg. | Bronce |
| Cámara de aire | | | |
| Volumen de la cámara de aire | 39.81 | L | |
| Diámetro de la cámara de aire | 0.28 y 0.0508 | m | Fierro galvanizado |
| Longitud de la cámara de aire | 0.84 | m | |

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.10. CONSTRUCCION DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO

Durante la construcción de la bomba de ariete hidráulico, se tuvo en consideración la sobrepresión que existe dentro del cuerpo del ariete hidráulico, por tal motivo se escogió materiales adecuados y duraderos para garantizar su buen funcionamiento.

La bomba de ariete hidráulico, fue construida principalmente del material de fierro galvanizado, estos accesorios de unión roscada son capaces de soportar altas presiones y son resistentes a la corrosión por el fluido que transportara.

Los componentes que integran parte del montaje final de la bomba de ariete son:

- ✓ Cuerpo de la bomba.
- ✓ Válvula de impulsión.
- ✓ Válvula de descarga.

- ✓ Cámara de aire.

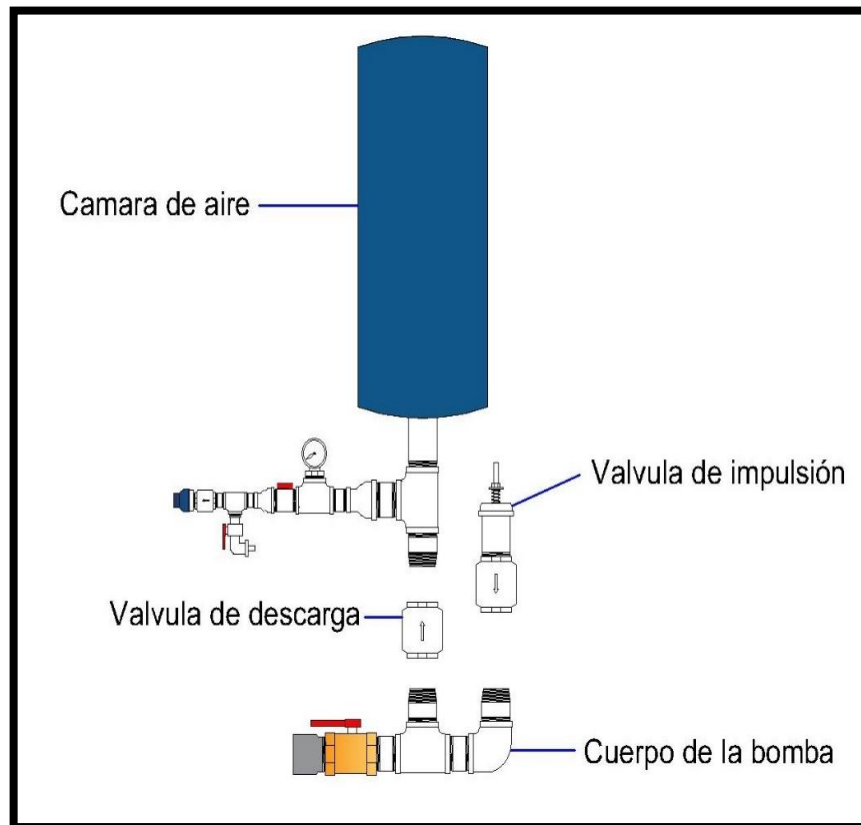


Figura 42: Componentes de la bomba de ariete hidráulico.

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.10.1. Etapas de construcción de la bomba de ariete hidráulico.

Para la construcción de cada uno de los componentes de la bomba de ariete hidráulico se desarrolló en el siguiente orden:

- ✓ Adquisición de accesorios y materiales.
- ✓ Ensamblaje de la bomba de ariete hidráulico.
- ✓ Instalación y puesta a punto.

Los accesorios y materiales adquiridos para la construcción de la bomba de ariete hidráulico se muestran en la figura 43.



Figura 43: Componentes adquiridos de la bomba de ariete hidráulico.

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.10.2. Construcción de la bomba de ariete hidráulico

Culminado ya el diseño y los cálculos de las dimensiones de los componentes que integraran el ensamblaje de la bomba de ariete hidráulico, para esto se utilizó los planos de detalle elaborados, los mismos que se adjuntan en la sección de anexos. Cuyos componentes se detallan a continuación:

a. Construcción del cuerpo de la bomba

El material escogido fue resistente e indeformable, ya que se encargara de soportar la sobrepresión a causa del cierre brusco de la válvula de impulsión y evitara pérdidas de energía a causa del ensanchamiento de las paredes, de este modo se aprovechara la energía para un mayor levantamiento de altura bajo las mismas condiciones de operación de la bomba; los accesorios utilizados fueron de fierro galvanizado y complementado con una llave de paso y un adaptador UPR, como se muestra en la tabla 18.

Tabla 18: Materiales para la construcción del cuerpo de la bomba.

| N° | DESCRIPCION | MATERIAL | CANTIDAD | UNIDAD |
|----|-----------------------------|--------------------|----------|--------|
| 1 | Niple de 2x3 pulg. | Fierro galvanizado | 4 | pieza |
| 2 | Codo de 90° de 2 pulg | Fierro galvanizado | 1 | pieza |
| 3 | Tee de 90° de 2 pulg. | Fierro galvanizado | 1 | pieza |
| 4 | Válvula esférica de 2 pulg. | Bronce | 1 | pieza |
| 5 | Adaptador UPR de 2 pulg. | pvc | 1 | pieza |

Elaborado por el equipo de trabajo.

Para la construcción primeramente se adquirió los accesorios en una ferretería de la ciudad de Juliaca. Se colocó teflón en los niples y adaptador UPR, como se muestra en la figura 44; posteriormente se procedió con la unión roscada de los accesorios (niples, codo, tee, llave de paso y adaptador), con la ayuda de una llave stillson, ver figuras 45 y 46.



Figura 44: Colocación de teflón en las uniones roscadas.

Elaborado por el equipo de trabajo.



Figura 45: Montaje de los componentes de cuerpo de la bomba de ariete hidráulico

Elaborado por el equipo de trabajo.



Figura 46: Ajuste necesario con ayuda de una llave stillson.

Elaborado por el equipo de trabajo.

Se hizo una modificación al niple que une el cuerpo de la bomba y la válvula de descarga, en un taller de mecánica; consistió en realizar un orificio con un diámetro de 1 mm como se muestra en la figura 47 a fin de que este actué como la válvula de aire automático, el cual recargara en cada golpe de ariete de aire a la cámara de aire, esto permitirá mantener la cantidad de aire inicial.



Figura 47: Cuerpo de la bomba de ariete con orificio de 1mm.

Elaborado por el equipo de trabajo.

b. Construcción de la válvula de impulsión

Esta válvula cuenta con un juego de resortes que permiten producir un cierre brusco, deteniendo el movimiento del líquido y posteriormente regresando a su posición inicial. Su construcción consistió en la modificación de un niple y su tapa roscada de 2 pulgadas de diámetro.

En la tapa de hierro galvanizado se hizo una perforación en la parte central, un orificio de 3/8 de pulgada de diámetro, la cual se convirtió en la bancada principal de la válvula de impulsión, en donde se fijó el vástago que es un perno de 3/8 de pulgada de diámetro y 20 centímetros de largo (5 cm de no rosca), en el cual van alojados los dos resortes de compresión.



Figura 48: Tapa de niple antes de la perforación.

Elaborado por el equipo de trabajo.

Se modificó el niple de 2 pulgadas, haciendo dos ventanas de lados opuestos con una medida de 2x5 cm en la cual una de las ventanas se dobló hacia el lado opuesto con

un ángulo de 90° como se muestra en la figura 48, esto a fin de que se formara nuestra bancada secundaria para posteriormente ser perforada en la parte central con un diámetro de $3/8$ de pulgada, para fijar la posición vertical del vástago durante su movimiento de subida y bajada al accionar el cierre y apertura de la válvula de impulsión.



Figura 49: Bancada secundaria con perforación.

Elaborado por el equipo de trabajo.

El vástago utilizado, está constituido por un perno con diámetro de $3/8$ de pulgada y 20 centímetros de largo que atraviesa las dos perforaciones una que está en la tapa del niple y otra que es una de las ventanas que esta doblada a 90° , también atraviesa por el interior de los dos resortes de compresión, ver figuras 50 y 51.



Figura 50: Vástago y resortes de la válvula de impulsión.

Elaborado por el equipo de trabajo.



Figura 51: Válvula de impulsión.

Elaborado por el equipo de trabajo.

Uno de los resortes está ubicado dentro del niple modificado sin ninguna compresión, y el segundo resorte se encuentra en la parte externa superior de la tapa del niple y comprimido el cual nos permitirá regular el número de golpes por minuto durante

la operación de la bomba de ariete, ambos resortes están fijados con una tuerca y contra tuerca que descansa sobre una arandela. Como resultado nos quedó la válvula de impulsión como se muestra en la figura 52.



Figura 52: Válvula de impulsión instalada.

Elaborado por el equipo de trabajo.

c. Construcción de la válvula de descarga

Se utilizó la válvula check de retención vertical, sin hacerle ninguna modificación, permite la circulación del flujo de agua en una sola dirección, de esta manera evitara que el agua que ingresa a la cámara de aire por efecto del golpe de ariete regrese al cuerpo de la bomba y en consecuencia bombeara el agua. La válvula consta de un orificio que

permitirá el paso de la mayor cantidad de agua, tiene una válvula tipo plato de caucho con una empaquetadura de goma que al cerrarse retiene el flujo durante la fase de expansión del aire en la cámara.



Figura 53: Válvula de descarga instalada.

Elaborado por el equipo de trabajo.

d. Construcción de la cámara de aire

La cámara de aire deberá ser resistente a la presión suscitada en su interior, por lo cual está construida por materiales de fierro galvanizado, acero inoxidable.

Su construcción consistió en la unión de un tanque de aire con un niple de 2 pulgadas por 5 pulgadas de largo, mediante soldadura, ver figura 54.



Figura 54: Cámara de aire.

Elaborado por el equipo de trabajo.

Se colocó el teflón en los nipples de fierro galvanizado y se unieron a los accesorios como tee y reducciones. En la tee de fierro galvanizado de 2 pulgadas se unieron accesorios roscados como nipple de 2"x3", reducción de 2" a 1" bushing de fierro galvanizado, formándose así el orificio de salida del agua a bombearse, a su seguida se instaló una tee de 1" para la instalación del manómetro de glicerina de 6 bar, se prolongó con la instalación de una reducción de 1" a ½", para añadir una válvula de llave de ½" para el mantenimiento que se le dará en ciertos periodos a la bomba de ariete hidráulico, finalmente se le añadió una válvula check de ½" para que no retorne el agua que ha sido bombeada; ver figura 55.



Figura 55: Cámara de aire instalada.

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.10.3. Montaje final de los componentes de la bomba de ariete hidráulico.

En esta etapa se unió todos los componentes de la bomba de ariete hidráulico, mediante la unión roscada uniendo al cuerpo de ariete la válvula de impulsión, válvula de descarga y cámara de aire, utilizando una llave stillson para el apriete de los componentes a unirse.



Figura 56: Llaves stillson para el apriete de la bomba de ariete hidráulico.

Elaborado por el equipo de trabajo.

Finalmente se concluyó con la construcción de la bomba de ariete hidráulico de 2 pulgadas, como se muestra en la figura 57.



Figura 57: Bomba de ariete hidráulico de 2 pulgadas.

Elaborado por el equipo de trabajo.



3.10.4. Resumen de materiales que integraron a la bomba de ariete hidráulico.

Los materiales que integraron en la construcción de la bomba de ariete hidráulico se detallan en la tabla 19.

Tabla 19: Materiales utilizados en la construcción de la bomba de ariete hidráulico.

| N° | DESCRIPCION | MATERIAL | CANTIDAD | UNIDAD |
|-----------------------------|------------------------------------|--------------------|----------|--------|
| Cuerpo de la bomba | | | | |
| 1 | Válvula esférica de 2" | Fierro galvanizado | 1 | Pza. |
| 2 | Adaptador UPR de 2" | PVC | 1 | Pza. |
| 3 | Niple de 2" x 3" | Fierro galvanizado | 4 | Pza. |
| 4 | Tee de 2" | Fierro galvanizado | 1 | Pza. |
| 5 | Codo de 90° de 2" | Fierro galvanizado | 1 | Pza. |
| Válvula de impulsión | | | | |
| 1 | Niple de 2" x 4" | Fierro galvanizado | 1 | Pza. |
| 2 | Tapa de 2" | Fierro galvanizado | 1 | Pza. |
| 3 | Válvula check de 2" | Fierro galvanizado | 1 | Pza. |
| 4 | Perno de 1/8" x 8" | Acero inoxidable | 1 | Pza. |
| 5 | Turca de 1/8" | Acero inoxidable | 2 | Pza. |
| 6 | Arandela de 1/8" | Acero inoxidable | 2 | Pza. |
| 7 | Resorte | Acero inoxidable | 2 | Pza. |
| Válvula de descarga | | | | |
| 1 | Válvula check (anti retorno) de 2" | Fierro galvanizado | 1 | Pza. |
| Cámara de aire | | | | |
| 1 | Tanque de aire | fierro | 1 | Pza. |
| 2 | Niple de 2" x 4" | Fierro galvanizado | 1 | Pza. |
| 3 | Tee de 2" | Fierro galvanizado | 1 | Pza. |
| 4 | Niple de 2" x 3" | Fierro galvanizado | 2 | Pza. |
| 5 | Reducción Bushing de 2" a 1" | Fierro galvanizado | 1 | Pza. |
| 6 | Tee de 1" | Fierro galvanizado | 1 | Pza. |

Continuación

| | | | | |
|----|--------------------------------------|--------------------|---|------|
| 7 | Niple de 1" x 2" | Fierro galvanizado | 2 | Pza. |
| 8 | Reducción Bushing de 1" a 1/4" | Fierro galvanizado | 1 | Pza. |
| 9 | Reducción Bushing de 1" a 1/2" | Fierro galvanizado | 1 | Pza. |
| 10 | Manómetro de glicerina de 6 Bar. | Acero inoxidable | 1 | Pza. |
| 11 | Tee de 1/2" | Fierro galvanizado | 1 | Pza. |
| 12 | Válvula de grifo de 1/2" | Acero inoxidable | 1 | Pza. |
| 13 | Válvula check (anti retorno) de 1/2" | Fierro galvanizado | 1 | Pza. |
| 14 | Niple de 1/2" x 1" | Fierro galvanizado | 2 | Pza. |
| 15 | Adaptador de 1/2" | HDPE | 1 | Pza. |

Elaborado por el equipo de trabajo.

El resultado del prototipo de la bomba de ariete hidráulico, se muestra en la figura

58.

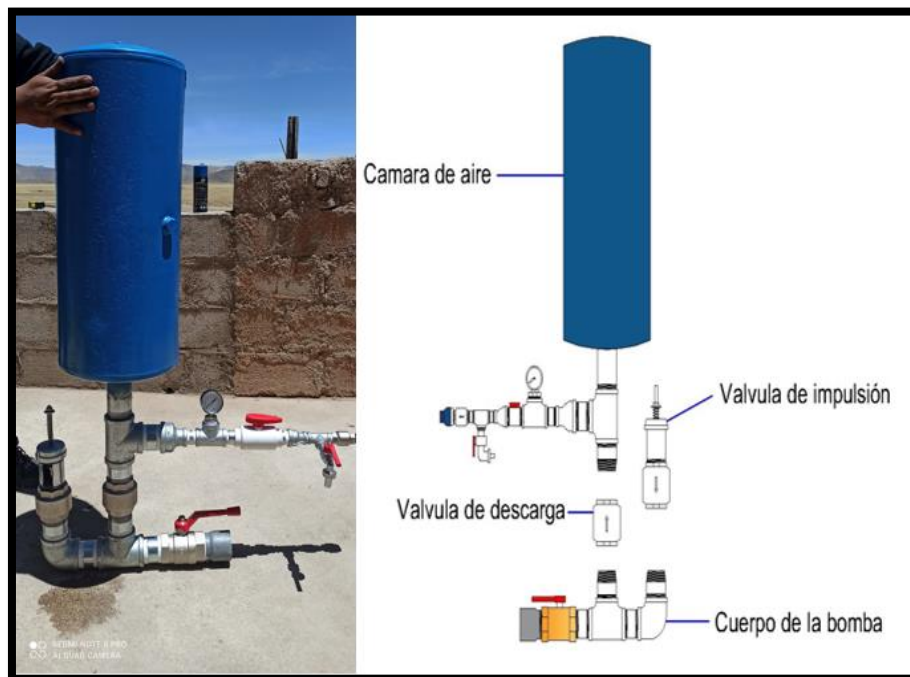


Figura 58: Construcción final de la bomba de ariete hidráulico.

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.11. INSTALACION DEL SISTEMA

La instalación de la bomba de ariete hidráulico se realizó en el fundo Pachaticgra de la comunidad de Pinaya, el cual consta de las siguientes etapas:

- ✓ Captación e instalación de la línea de conducción.
- ✓ Instalación de la cámara de carga.
- ✓ Instalación de la línea de impulsión
- ✓ Construcción de la cámara de bombeo.
- ✓ Instalación de la bomba de ariete hidráulico.
- ✓ Instalación de la línea de descarga.

3.11.1. Captación e instalación de la línea de conducción

La captación se dio de manera artesanal desde el ojo de agua, siendo llevada por el tramo denominado línea de conducción ; la instalación consistió en los trabajos según el plano general del sistema de bombeo, excavación de zanja, instalación de tubería PVC de 2" de diámetro, culminando con el relleno de la zanja; ver figura 59.



Figura 59: Captación e instalación de la línea de conducción.

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.11.2. Instalación de la cámara de carga

La cámara de carga que se instaló es un tanque de almacenamiento de agua de 1100 litros, que permitirá el ingreso constante de caudal de impulsión. La instalación consistió en ubicar el punto estratégico, donde se colocó nuestro tanque de almacenamiento.



Figura 60: Instalación de la cámara de carga.

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.11.3. Instalación de la línea de suministro

Vendría a ser el tramo que une la cámara de carga con la plataforma de bombeo donde se encuentra instalada la bomba de ariete hidráulico; el trabajo consistió en realizar la instalación de la tubería de PVC de 2 pulgadas de diámetro, unidas mediante pegamento azul cemento para PVC, ver figura 61.



Figura 61: Instalación de la línea de suministro.

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.11.4. Construcción de la plataforma de bombeo

La plataforma de bombeo esta hecho de fierro, donde se empotro el cuerpo de la bomba de ariete hidráulico de 2 pulgadas. La construcción consistió en unir 5 tubos rectangulares mediante soldadura; ver figura 62, donde se atornillara el cuerpo de la bomba de ariete hidráulico, de tal modo que esta pueda ser sostenida.



Figura 62: Construcción de la plataforma.

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.11.5. Instalación de la bomba de ariete hidráulico

La instalación consistió en el montaje de la bomba de ariete hidráulico, en la plataforma de metal, fijándose mediante dos pernos de tal modo que esta quede bien sujeta; ver figuras 63.



Figura 63: Bomba de ariete montado a la plataforma.

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.11.6. Instalación de la línea de descarga

En esta etapa se hizo la unión o conexión de la manguera de descarga y la bomba de ariete, esto se logró mediante el adaptador HDPE de la cámara de aire; ver figura 64.



Figura 64: Instalación de la línea de descarga.

Elaborado por el equipo de trabajo.

3.11.7. Resumen de los componentes

Como resultado de unión de todos los componentes utilizados durante la instalación, se obtuvo el sistema hidráulico que se detallan en la tabla 20.

Tabla 20: Componentes instalados en el sistema de bombeo.

| COMPONENTES | CARACTERISTICAS |
|-----------------------------------|--|
| Captación | Captación de forma artesanal desde el ojo de agua. |
| Línea de conducción | En la instalación se usó tubería PVC de 2" de diámetro con una longitud de 25 metros. |
| Cámara de carga | Instalación de tanque de almacenamiento de agua de 1100 litros. |
| Línea de suministro | En la instalación se usó tubería de PVC de 2" de diámetro con una longitud de 30 metros y una altura de 4 metros. |
| Plataforma de bombeo | Fue construida con metal para que pudiera sujetar al cuerpo de la bomba de ariete hidráulico, siendo sus dimensiones (70 cm. de largo, 50 cm. de ancho y 5 cm. de altura) |
| Bomba de ariete hidráulico | Se realizó el montaje de la bomba de ariete hidráulico. |
| Línea de descarga | En la instalación se usó una manguera de HDPE de ½" de diámetro y una longitud de 50 metros y una altura de 35 metros. |

Elaborado por el equipo de trabajo.



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. PUESTA EN MARCHA DE LA BOMBA DE ARIETE

Cuando el ciclo es lento o muy rápido el rendimiento de la bomba se verá afectado, por lo el prototipo de la bomba de ariete que se desarrolló completa un ciclo cada 1.2 segundo; esto se logró debido a que se tomó en consideración los siguientes detalles.

- ✓ Cuando la tubería de impulsión es demasiado corta o la válvula de impulsión tiene un resorte de rigidez baja, entonces el ciclo será rápido.
- ✓ Cuando la tubería de impulsión es demasiado largo o la válvula de impulsión tiene un resorte de rigidez alta, entonces el ciclo será largo.

Puesta en marcha

En esta etapa se puso en funcionamiento el dispositivo hidráulico, en el cual se evaluó a la bomba de ariete hidráulico en condiciones reales de operación.

- ✓ Primeramente se cerró las válvulas esféricas que se encuentran ubicadas en el cuerpo y la cámara de aire de la bomba de ariete.
- ✓ Se procedió a llenar nuestra cámara de carga de agua de 1100 litros; agua que es captada y trasladada mediante tuberías desde el ojo de agua hasta la cámara de carga.
- ✓ Una vez llenado el tanque de almacenamiento de agua se procedió con la apertura de la válvula esférica de paso del cuerpo del ariete.
- ✓ Se continuó con la calibración de la carrera del vástago de la válvula de impulsión.



Figura 65: Calibración de la carrera del vástago.

Elaborado por el equipo de trabajo.

- ✓ Cuando la válvula de impulsión estuvo trabajando, y la llave de paso estuvo cerrada hacia la tubería de descarga, se observó que la presión incrementaba con cada golpe de ariete, logrando alcanzar una máxima presión de 0.7 bares, el cual se lectura a través de un manómetro incorporado en la cámara de aire de la bomba de ariete.



Figura 66: Medición de presión (cuando la llave de descarga está cerrada)

Elaborado por el equipo de trabajo.

- ✓ Una vez hecha la lectura en el manómetro, se procedió con la apertura de la llave de paso hacia la línea de descarga, con lo que dio inicio al bombeo de agua a través de la tubería de descarga.



Figura 67: Bomba de ariete hidráulico en funcionamiento.

- ✓ Elaborado por el equipo de trabajo.
- ✓ Por último se da inicio con las acciones de evaluación; para lograr el máximo caudal de descarga de la bomba de ariete hidráulico, se buscó la calibración óptima de la carrera y el número de golpes por minuto.



Figura 68: Entrega de agua a 35 metros de altura respecto a la bomba de ariete.

Elaborado por el equipo de trabajo.

4.2. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CAMPO

Se utilizaron instrumentos de medición como: manómetro, cronometro y recipiente para medir caudales.

Para que las pruebas pudieran garantizar un óptimo rendimiento y la suficiente fiabilidad, se realizó acciones previas, tales como:

- ✓ Primeramente se verifico que la cámara de carga este lleno con agua y que la alimentación sea constante de tal modo se lograra mantener el nivel de rebose.
- ✓ Posteriormente se abrió la llave de paso de agua para el funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico e iniciamos con la toma de datos, tales como: Medición de presión con ayuda del manómetro instalado en la cámara de aire; aforo del caudal de suministro, caudal de rebose y caudal de descarga, con la ayuda de un cronometro y un recipiente de volumen definido se lograron tomar los datos de tiempo y volumen.

- ✓ Por último se hizo la variación de la carrera de la válvula de impulsión, teniendo un golpe de ariete en distintos tiempos, lo cual nos dio diferentes escenarios.

4.2.1 Comportamiento de los componentes.

Se evaluó el comportamiento de la línea de suministro y la bomba de ariete ya que estos componentes son los más críticos del sistema de bombeo; dicha evaluación se realizó cuando el sistema está en funcionamiento y sometido a las distintas presiones generadas por el golpe de ariete, mismas presiones que soportara la tubería de suministro y la bomba de ariete.

Para comenzar se mantuvo cerrada la llave de paso de 1 pulgada que permite circular el agua a la tubería de descarga, se procedió con la apertura de la llave de paso que permite el funcionamiento de la bomba de ariete, en donde la presión de la cámara de aire empezó a elevarse progresivamente con cada golpe de ariete hasta llegar a una presión de 0.7 bar (18 Psi); posteriormente se apertura la llave de paso hacia la línea de descarga en donde la presión llegó hasta 2.1 bar (30 Psi) en donde la manecilla del manómetro quedó estable.



Figura 69: Medición de presiones en el manómetro.

Elaborado por el equipo de trabajo.



Dada las condiciones generadas, por la presión causada por el golpe de ariete en los componentes del sistema de bombeo, se realizó la evaluación del comportamiento y de esta manera se obtuvo los siguientes resultados.

Línea de suministro

Se utilizó una tubería de PVC-PN-7.5 de 2 pulgadas, dicho material utilizado tuvo un comportamiento satisfactorio ya que no presentó ninguna falla ante el golpe de ariete.

Bomba de ariete hidráulico

En el cual se encuentra el cuerpo de la bomba, válvula de impulso, válvula de descarga y cámara de aire, los materiales utilizados como fierro galvanizado, PVC y bronce tuvieron un comportamiento satisfactorio ya que no presentaron ninguna falla ante el golpe de ariete.

4.2.2. Aforo de caudal de alimentación a la cámara de carga

Esta medición consistió en medir la cantidad de agua que ingresa a la cámara de carga, que es alimentada por el ojo de agua, se empleó el método volumétrico para lo cual se utilizó un recipiente de 18 litros.

Tabla 21: Aforo de alimentación a la cámara de carga.

| N° | VOLUMEN (Litros) | TIEMPO (segundos) |
|----|---------------------|----------------------|
| 1 | 18 | 16.62 |
| 2 | 18 | 16.50 |
| 3 | 18 | 16.70 |
| 4 | 18 | 16.65 |



Continuación

| | | |
|-----------------|----|-------|
| 5 | 18 | 16.55 |
| 6 | 18 | 16.60 |
| PROMEDIO | 18 | 16.60 |

Elaborado por el equipo de trabajo.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla 21 se determinara el caudal que alimenta a la cámara de carga.

$$Q_{alimentacion} = \frac{18}{16.60}$$

$$Q_{alimentacion} = 1.08 \text{ l/s}$$

$$Q_{alimentacion} = 64.8 \text{ l/min}$$

4.2.3. Evaluación de la bomba de ariete a 40 golpes/minuto.

El primer escenario creado para la medición del caudal de descarga y suministro fue de 40 golpes por minuto a la cual funcionaba la válvula de impulsión, dicha medición fue realizada en plena operación de la bomba de ariete hidráulico. Teniendo como datos:

- ✓ Altura de suministro: 4 metros.
- ✓ Diámetro de la tubería de suministro: 2 pulgadas.
- ✓ Longitud de la tubería de suministro: 30 metros.
- ✓ Caudal de alimentación a la cámara de carga: 65 L.P.M.
- ✓ Altura de descarga: 35 metros.
- ✓ Diámetro de la manguera de descarga: ½ pulgada.
- ✓ Longitud de la manguera de descarga: 50 metros.



Medición del caudal de suministro

Dicho caudal fue calculado mediante la diferencia del caudal de rebose durante el funcionamiento de la bomba y el caudal proveniente de la fuente de agua.

Primero hallaremos el aforo de caudal de rebose se realizó con la ayuda de un recipiente de 4 litros y un cronometro, dando como resultado los siguientes datos:

Tabla 22: Aforo de rebose a 40 golpes por minuto.

| N° DE VECES | VOLUMEN (litros) | TIEMPO (segundos) | ALTURA DE SUMINISTRO (metros) |
|-------------|---------------------|----------------------|-------------------------------------|
| 1 | 4 | 40.80 | 4 |
| 2 | 4 | 41.30 | 4 |
| 3 | 4 | 41.00 | 4 |
| PROMEDIO | 4 | 41.03 | 4 |

Elaborado por el equipo de trabajo.

Según la tabla 22, determinaremos el caudal de rebose:

$$Q_R = \frac{4}{41.03}$$

$$Q_R = 0.097 \text{ L. P. S.}$$

$$Q_R = 5.82 \text{ L. P. M.}$$

Si:

Caudal de alimentación a la cámara de carga (Q_A) = 64.80 l/min.

Caudal de rebose (Q_R) = 5.82 l/min.

Reemplazando en la diferencia de caudal.



$$Q = Q_A - Q_R$$

$$Q = 64.80 - 5.82$$

$$Q = 58.98 \text{ L.P.M.}$$

Obteniendo como resultado el caudal de suministro que nos dio 58.98 l/min, que vendría a ser el aforo de agua que ingresa a la bomba de ariete hidráulico.

Medición del caudal de descarga

El aforo del caudal bombeado a 35 metros de altura con respecto a la ubicación de la bomba de ariete se determinó con la ayuda de un cronometro y un recipiente de 20 litros.

Tabla 23: Aforo de caudal de descarga a 40 golpes por minuto.

| Nº DE VECES | VOLUMEN (litros) | TIEMPO (minutos) | ALTURA DE DESCARGA (metros) |
|-------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|
| 1 | 18 | 2.40 | 35 |
| 2 | 18 | 2.42 | 35 |
| 3 | 18 | 2.38 | 35 |
| PROMEDIO | 18 | 2.40 | 35 |

Elaborado por el equipo de trabajo.

Según la tabla 23 a una frecuencia de 50 golpes por minuto nos permitirá calcular el caudal de descarga.

$$q = \frac{18}{2.40}$$

$$q = 7.5 \text{ l/min}$$

4.2.4. Evaluación de la bomba de ariete a 50 golpes/minuto

El segundo escenario fue creado con la finalidad de ver el comportamiento a 50 golpes por minuto, al igual que el anterior caso se determinara el caudal de suministro y descarga.

Para lograr aumentar los golpes por minuto se tuvo que ajustar la tuerca ubicada en la válvula de impulsión, hasta alcanzar los 50 golpes por minuto y los demás datos del funcionamiento del sistema de bombeo permanecerán como el primer caso.

Medición del caudal de suministro

Al igual que el anterior caso, este caudal se determinara con la diferencia del caudal proveniente de la fuente de agua y caudal de rebose, siempre y cuando la bomba de ariete hidráulico esté en funcionamiento.

Pero antes se calculara el aforo de caudal de rebose en la cámara de carga con la ayuda de un recipiente de 4 litros y un cronometro.

Tabla 24: Aforo de rebose a 50 golpes por minuto

| Nº DE VECES | VOLUMEN (litros) | TIEMPO (segundos) | ALTURA DE SUMINISTRO (metros) |
|-------------|---------------------|----------------------|-------------------------------------|
| 1 | 4 | 25.30 | 4 |
| 2 | 4 | 25.70 | 4 |
| 3 | 4 | 25.20 | 4 |
| PROMEDIO | 4 | 25.40 | 4 |

Elaborado por el equipo de trabajo.



Según la tabla 24, determinaremos el caudal de rebose:

$$Q_R = \frac{4}{25.40}$$

$$Q_R = 0.16 \text{ L.P.S.}$$

$$Q_R = 9.6 \text{ L.P.M.}$$

Si:

Caudal de alimentación a la cámara de carga (Q_A) = 64.80 l/min.

Caudal de rebose (Q_R) = 9.6 l/min.

Reemplazando en la diferencia de caudal.

$$Q = Q_A - Q_R$$

$$Q = 64.80 - 9.6$$

$$Q = 55.2 \text{ L.P.M.}$$

Para este segundo escenario se obtuvo como resultado 55.2 l/minuto que vendría a ser nuestro caudal de suministro el cual abastecerá a la bomba de ariete hidráulico.

Medición de caudal de descarga

Al igual que el primer escenario, el aforo de caudal bombeado a 35 metros de altura con respecto a la ubicación de la bomba de ariete se determinó con la ayuda de un cronometro y un recipiente de 18 litros.

Tabla 25: Aforo de caudal de descarga a 50 golpes por minuto.

| N° DE VECES | VOLUMEN (litros) | TIEMPO (minutos) | ALTURA DE DESCARGA (metros) |
|-------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|
| 1 | 18 | 2.60 | 35 |
| 2 | 18 | 2.50 | 35 |
| 3 | 18 | 2.55 | 35 |
| PROMEDIO | 18 | 2.55 | 35 |

Elaborado por el equipo de trabajo.

Según la tabla 25, a una frecuencia de 50 golpes por minuto nos permitirá calcular el caudal de descarga.

$$q = \frac{18}{2.55}$$

$$q = 7.06 \text{ l/min}$$

4.2.5. Evaluación de la bomba de ariete a 60 golpes/minuto

Fue creado un último escenario aumentando a 60 golpes por minuto, este aumento de golpes por minuto se logró de la misma manera que el anterior caso, ajustando la tuerca ubicada en la válvula de impulsión. Ahora podremos determinar el caudal de suministro y descarga.

Medición del caudal de impulsión

Al igual que en los casos anteriores, este caudal se determinara con la diferencia del caudal proveniente de la fuente de agua y caudal de rebose, siempre y cuando la bomba de ariete hidráulico esté en funcionamiento.



Pero antes se calculara el aforo de caudal de rebose en la cámara de carga con la ayuda de un recipiente de 4 litros y un cronometro.

Tabla 26: Aforo de rebose a 60 golpes por minuto

| N° DE VECES | VOLUMEN (litros) | TIEMPO (segundos) | ALTURA DE SUMINISTRO (metros) |
|-------------|---------------------|----------------------|-------------------------------------|
| 1 | 4 | 6.5 | 4 |
| 2 | 4 | 6.9 | 4 |
| 3 | 4 | 6.6 | 4 |
| PROMEDIO | 4 | 6.7 | 4 |

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 26, determinaremos el caudal de rebose:

$$Q_R = \frac{4}{6.7}$$

$$Q_R = 0.60 \text{ L. P. S.}$$

$$Q_R = 36 \text{ L. P. M.}$$

Si:

Caudal de alimentación a la cámara de carga (Q_A) = 64.80 l/min.

Caudal de rebose (Q_R) = 36 l/min.

Reemplazando en la diferencia de caudal.

$$Q = Q_A - Q_R$$

$$Q = 64.80 - 36$$



$$Q = 28.8 \text{ l/min}$$

Para este último escenario se obtuvo como resultado 28.8 L.P.M. que vendría a ser nuestro caudal de suministro el cual abastecerá a la bomba de ariete hidráulico.

Medición de caudal de descarga

Al igual que los anteriores escenarios, el aforo de caudal bombeado a 35 metros de altura con respecto a la ubicación de la bomba de ariete se determinó con la ayuda de un cronometro y un recipiente de 18 litros.

Tabla 27: Aforo de caudal de descarga a 60 golpes por minuto

| N° DE VECES | VOLUMEN (litros) | TIEMPO (minutos) | ALTURA DE DESCARGA (metros) |
|-------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|
| 1 | 18 | 4.80 | 35 |
| 2 | 18 | 4.95 | 35 |
| 3 | 18 | 4.85 | 35 |
| PROMEDIO | 18 | 4.87 | 35 |

Elaborado por el equipo de trabajo.

Según la tabla 27, a una frecuencia de 60 golpes por minuto nos permitirá calcular el caudal de descarga.

$$q = \frac{18}{4.87}$$

$$q = 3.7 \text{ l/min}$$



4.3. EFICIENCIA DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO

Para el cálculo de la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico se utilizara los resultados obtenidos en las pruebas de campo, las cuales son: caudal de suministro y descarga medidos en los 3 tipos de escenarios creados al variar el número de golpes por minuto de la válvula de impulsión.

La relación entre el trabajo útil entregado en la descarga y el trabajo recibido del caudal de suministro, nos dará como resultado la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico el cual se calculara mediante la siguiente formula.

$$\eta = \frac{q * h}{Q * H} * R$$

Donde:

q = Caudal de descarga.

h = Altura de descarga.

Q = Caudal de suministro.

H = Altura de suministro.

R = Rendimiento.

El cálculo de la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico se realizara para los tres escenarios generados durante las pruebas de campo.



Escenario generado a 40 golpes por minuto

Si:

Caudal de suministro (Q): 58.98 l/min.

Altura de suministro (H): 4 m.

Altura de descarga (h): 35 m.

Caudal de descarga (q): 7.5 l/min.

Cuando la altura de descarga es 9 veces mayor que la altura de suministro: 50%

$$\eta = \frac{q * h}{Q * H} * 50\%$$

$$\eta = \frac{7.5 * 35}{58.98 * 4} * 50\%$$

$$\eta = 55.6 \%$$

Siendo la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico de 55.6 %.

Escenario generado a 50 golpes por minuto

Si:

Caudal de suministro (Q): 55.2 l/min.

Altura de suministro (H): 4 m.

Altura de descarga (h): 35 m.

Caudal de descarga (q): 7.06 l/min.

Cuando la altura de descarga es 9 veces mayor que la altura de suministro: 50%



$$\eta = \frac{q * h}{Q * H} * 50\%$$

$$\eta = \frac{7.06 * 35}{55.2 * 4} * 50\%$$

$$\eta = 55.96 \%$$

Para este segundo escenario la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico es de 55.96 %.

Escenario generado a 60 golpes por minuto

Si:

Caudal de suministro (Q): 28.8 l/min.

Altura de suministro (H): 4 m.

Altura de descarga (h): 35 m.

Caudal de descarga (q): 3.7 l/min.

Cuando la altura de descarga es 9 veces mayor que la altura de suministro: 50%

$$\eta = \frac{q * h}{Q * H} * 50\%$$

$$\eta = \frac{3.7 * 35}{28.8 * 4} * 50\%$$

$$\eta = 56.21 \%$$

Para el ultimo escenario la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico es de 56.21 %.

4.4. CURVAS DE OPERACIÓN DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos durante las pruebas de campo; en el cual se muestra caudal de suministro, caudal de descarga y eficiencia el cual se calculó a distintos golpes por minuto.

Tabla 28: Resumen de datos obtenidos en la prueba de campo.

| GOLPES POR MINUTO | ALTURA DE SUMUNISTRO (m) | ALTURA DE DESCARGA (m) | CAUDAL DE SUMINISTRO (l/min.) | CAUDAL DE DESCARGA (l/min.) |
|----------------------------------|---|---|--|--|
| 40 | 4 | 35 | 58.98 | 7.50 |
| 50 | 4 | 35 | 55.20 | 7.06 |
| 60 | 4 | 35 | 28.80 | 3.70 |

Elaborado por el equipo de trabajo.

Con los resultados obtenidos en la tabla 28, nos permitió hallar la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico, obteniendo los resultados que se muestra en la tabla 29.

Tabla 29: Eficiencia de la bomba de ariete hidráulico

| GOLPES POR MINUTO | EFICIENCIA (%) |
|------------------------------|---------------------------|
| 40 | 55.60 |
| 50 | 55.20 |
| 60 | 56.21 |

Elaborado por el equipo de trabajo.

Con los resultados obtenidos podremos generar las curvas representativas de operación de la bomba de ariete hidráulico.

Curva de numero de golpes por minuto vs caudal de suministro

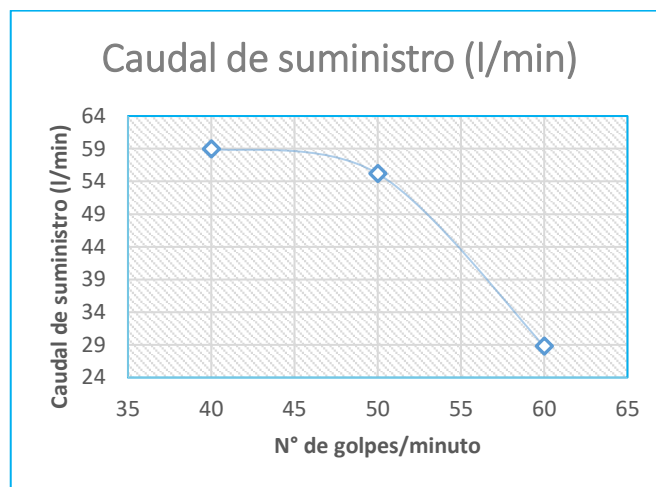


Figura 70: Numero de golpes por minuto vs caudal de suministro.

Elaborado por el equipo de trabajo.

La curva generada por el número de golpes por minuto vs caudal de suministro nos indica que cuanto más rápido son los golpes por minuto, se requerirá menor cantidad de caudal que alimente a la bomba de ariete hidráulico.

Curva de numero de golpes por minuto vs caudal de descarga

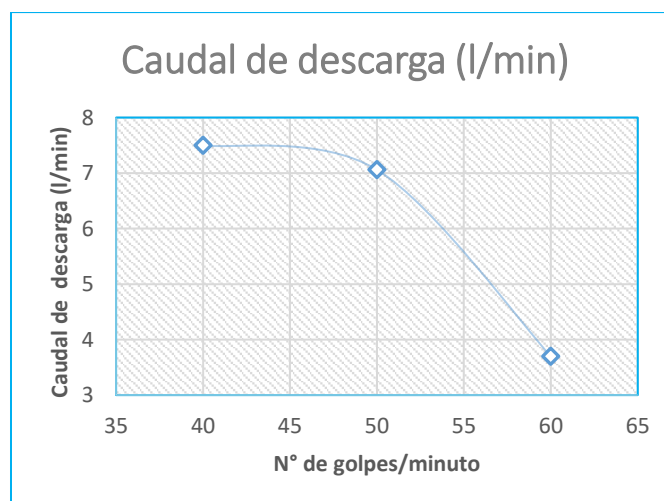


Figura 71: Numero de golpes por minuto vs caudal de descarga.

Fuente: Elaboración propia.

La curva generada por el número de golpes por minuto vs caudal de descarga nos muestra que a mayor número de golpes por minuto, la bomba de ariete hidráulico eleva poco caudal y a menor número de golpes por minuto se eleva mayor caudal.

Curva de numero de golpes por minuto vs eficiencia de la bomba

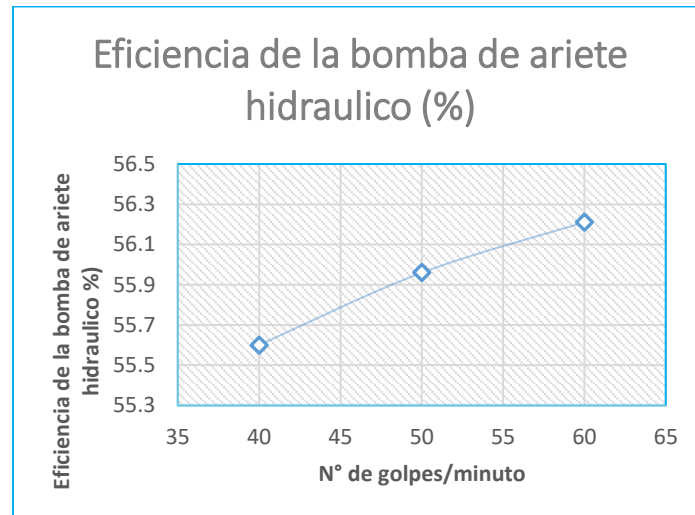


Figura 72: Numero de golpes por minuto vs eficiencia de la bomba de ariete hidráulico.

Elaborado por el equipo de trabajo.

La curva generada por el número de golpes por minuto vs eficiencia de la bomba nos indica que el funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico es más eficiente cuando trabaja a menor número de golpes por minuto pero el caudal de descarga disminuye.

Curva de eficiencia vs caudal de descarga

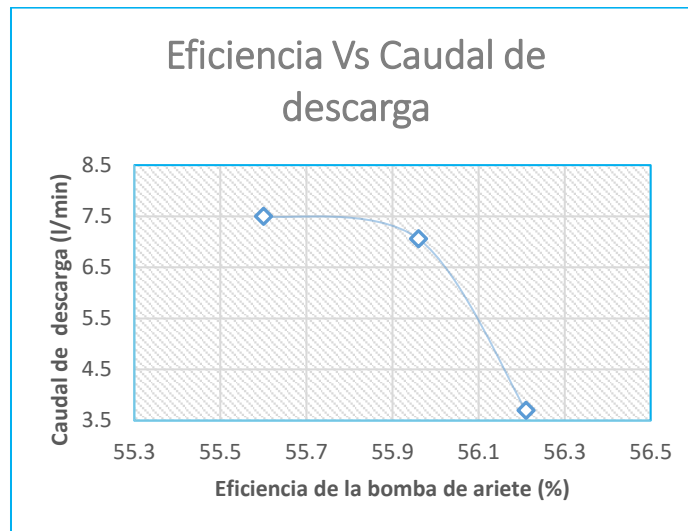


Figura 73: Eficiencia vs caudal de descarga.

Elaborado por el equipo de trabajo.

La curva generada por la eficiencia vs caudal de descarga nos indica que cuando la bomba de ariete hidráulico trabaja a menor número de golpes por minuto es menos eficiente pero aumenta el caudal de descarga.

4.5. CALIBRACION FINAL DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO

La bomba de ariete hidráulico instalado en el fundo Pachaticgra del señor Antonio fue calibrada para satisfacer la demanda de agua que es para el consumo humano, cuyo caudal de demanda fue calculada en la tabla 6 que fue de 0.18 l/min, por lo que regulando la carrera de la válvula de impulsión a 40, 50, y 60 golpes por minuto nos lograra dar un caudal de descarga de 7.5, 7.06, y 3.7 litros por minuto, entonces en los tres escenarios creados nos cubrirá la demanda de agua para consumo humano. Pero se graduó la válvula de impulsión a 50 golpes por minuto, de este modo el funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico no será rápido ni muy lento.



4.6. COSTO TOTAL DE LA INSTALACION DEL SISTEMA DE BOMBEO

Tabla 30: Costo total de la instalación del sistema de bombeo.

| N | COMPONENTE | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | PARCIAL | SUBTOTAL |
|----------|---------------------------------|--------|----------|-----------------|---------|---------------|
| 1 | CAPTACION | | | | | 45.00 |
| | Mano de obra | | | | | |
| | Peón | Jornal | 1 | 45.00 | 45.00 | |
| 2 | LINEA DE ABASTECIMIENTO | | | | | 114.75 |
| | Mano de obra | | | | | |
| | Peón | Jornal | 0.50 | 45.00 | 22.50 | |
| | Materiales | | | | | |
| | Tubería PVC-PN-5 de 2"x6m | UND | 5 | 15.00 | 75.00 | |
| | Pegamento azul cemento para PVC | UND | 1 | 15.00 | 15.00 | |
| | Equipos y herramientas | | | | | |
| | 10 % de M.O. | % | 0.10 | 22.50 | 2.25 | |
| 3 | CAMARA DE CARGA | | | | | 474.75 |
| | Mano de obra | | | | | |
| | Peón | Jornal | 0.50 | 45.00 | 22.50 | |
| | Materiales | | | | | |
| | Tanque de agua de 1100 litros | UND | 1 | 450.00 | 450.00 | |
| | Equipos y herramientas | | | | | |
| | 10 % de M.O. | % | 0.10 | 22.50 | 2.25 | |
| 4 | LINEA DE SUMINISTRO | | | | | 144.75 |
| | Mano de obra | | | | | |
| | Peón | Jornal | 0.50 | 45 | 22.50 | |
| | Materiales | | | | | |
| | Tubería de PVC-PN-7.5 de 2"x6m | UND | 5 | 20 | 100.00 | |
| | Pegamento azul cemento para PVC | UND | 1 | 15.00 | 15.00 | |



Continuación

| | | | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|------|--------|----------------|
| Adaptador UPR | UND | 1 | 5.00 | 5.00 |
| Equipos y herramientas | | | | |
| 10 % de M.O. | % | 0.10 | 22.50 | 2.25 |
| 5 | BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO | | | 1007.00 |
| 5.1 | CUERPO DE LA BOMBA | | | 170.00 |
| Adaptador UPR | UND | 1 | 5.00 | 5.00 |
| Válvula esférica de bronce | UND | 1 | 90.00 | 90.00 |
| Niple F.G. de 2x3 pulgadas | UND | 4 | 10.00 | 40.00 |
| Tee F.G. de 2 pulg. | UND | 1 | 20.00 | 20.00 |
| Codo de F.G. de 90° de 2 pulg. | UND | 1 | 15.00 | 15.00 |
| 5.2 | VALVULA DE IMPULSION | | | 146.00 |
| Válvula check | UND | 1 | 90.00 | 90.00 |
| Perno coche de 3/8 x 8 pulg. | UND | 1 | 5.00 | 5.00 |
| Tuerca HC G2 de 3/8 pulg. | UND | 2 | 2.00 | 4.00 |
| Arandela plana de 3/8 pulg. | UND | 2 | 1.00 | 2.00 |
| Resorte | UND | 2 | 10.00 | 20.00 |
| Niple F.G. de 2x4 pulg. | UND | 1 | 15.00 | 15.00 |
| Tapón hembra de 2" | UND | 1 | 10.00 | 10.00 |
| 5.3 | VALVULA DE DESCARGA | | | 90.00 |
| Válvula check | UND | 1 | 90.00 | 90.00 |
| 5.4 | CAMARA DE AIRE | | | 299.00 |
| Tanque de aire | UND | 1 | 100.00 | 100.00 |
| Niple de F.G. 2x5" | UND | 1 | 20.00 | 20.00 |
| Tee F.G. de 2 pulg. | UND | 1 | 20.00 | 20.00 |
| Niple de F.G. 2x3" | UND | 2 | 10.00 | 10.00 |



Continuación

| | | | | |
|-----------------------------------|--------|---|-------|---------------|
| Reducción campana de 2x1 pulg. | UND | 1 | 10.00 | 10.00 |
| Niple de F.G. 1x2" | UND | 3 | 5.00 | 15.00 |
| Tee F.G. de 1 pulg. | UND | 1 | 6.00 | 6.00 |
| Reducción bushing de 1x1/4 pulg. | UND | 1 | 5.00 | 5.00 |
| Manómetro de glicerina de 6 bar. | UND | 1 | 35.00 | 35.00 |
| Llave de paso de PVC de 1 pulg. | UND | 1 | 18.00 | 18.00 |
| Reducción campana de 1x1/2 pulg. | UND | 1 | 5.00 | 5.00 |
| Niple de F.G. de 1/2" | UND | 2 | 4.00 | 8.00 |
| Tee de F.G. de 1/2 " | UND | 1 | 5.00 | 5.00 |
| Llave de grifo | UND | 1 | 12.00 | 12.00 |
| Válvula check de 1/2" | UND | 1 | 30.00 | 30.00 |
| 5.6 MANO DE OBRA | | | | 100.00 |
| Peón | Jornal | 2 | 50.00 | 100.00 |
| 5.7 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS | | | | 202.00 |
| Máquina de soldar | Jornal | 1 | 30.00 | 30.00 |
| Electrodo | Kg | 1 | 15.00 | 15.00 |
| Esmeril | Jornal | 1 | 25.00 | 25.00 |
| Disco de corte | UND | 2 | 8.00 | 16.00 |
| Disco de desgaste | UND | 2 | 8.00 | 16.00 |
| Taladro | Jornal | 1 | 25.00 | 25.00 |
| Broca 1/16 pulg. | UND | 1 | 5.00 | 5.00 |
| Broca 3/8 pulg. | UND | 1 | 15.00 | 15.00 |
| Teflón | UND | 1 | 5.00 | 5.00 |



Continuación

| | | | | | |
|---------------------------------|---|--------|------|-------|------------------|
| | Llave stillson | Jornal | 2 | 25.00 | 50.00 |
| 6 | PLATAFORMA DE BOMBEO | | | | 112.00 |
| | Materiales | | | | |
| | Tubo de hierro rectangular | UND | 5 | 8.00 | 40.00 |
| | Plancha de hierro de 20x30 cm. | UND | 2 | 5.00 | 10.00 |
| | Perno de 3/8 x 8 pulg | UND | 2 | 3.00 | 6.00 |
| | Tuerca de 3/8 pulg. | UND | 2 | 1.00 | 2.00 |
| | Arandela plana de 3/8 pulg. | UND | 4 | 1.00 | 4.00 |
| | Mano de obra | | | | |
| | Peon | Jornal | 1 | 50.00 | 50.00 |
| 7 | LINEA DE DESCARGA | | | | 80.50 |
| | Materiales | | | | |
| | Manguera HDPE de 1/2 pulg. x 50 metros. | UND | 1 | 50.00 | 50.00 |
| | Adaptador HDPE de 1/2 pulg. | UND | 1 | 8.00 | 8.00 |
| | Mano de obra | | | | |
| | Peón | Jornal | 0.50 | 45 | 22.50 |
| COSTO DIRECTO | | | | | 1978.75 |
| COSTO INDIRECTO (15% CD) | | | | | 296.81.00 |
| COSTO TOTAL (S/.) | | | | | 2275.60 |

Elaborado por el equipo de trabajo.

El costo total de la instalación asciende a la suma de S/ 2275.60 soles en el cual se consideró los gastos de adquisición de materiales , traslado de materiales de Juliaca al



fundo Pachaticgra, mano de obra, alquiler de herramientas empleadas en la instalación y servicios de terceros.

4.7. DISCUSION

4.7.1. Discusión del diseño del sistema de bombeo

Las dimensiones y características de cada uno de los componentes del sistema de bombeo nos permitieron el diseño de la bomba de ariete hidráulico.

El diseño del sistema de bombeo se realizó con fines de abastecimiento de agua para consumo humano el cual inició desde los trabajos preliminares realizados en campo, donde quedo establecido la ubicación de los componentes (captación, línea de abastecimiento, cámara de carga y el punto de descarga del sistema de bombeo), los cuales nos permitió determinar 4 metros de altura de suministro y con ello se logró calcular la altura de descarga que resulto ser de 35 metros, el cual concuerda con el criterio de (Paredes Godoy, 2012) quien indica que es recomendable utilizar una caída mínima de 1 metro y una caída máxima de 13 metros, elevación mínima de 2 veces la caída de suministro y elevación máxima de 130 metros; pero este criterio es solo una recomendación ya que investigaciones sobre la bomba de ariete hidráulico concluyen que es capaz de elevar el agua hasta 10 a 12 veces la altura de suministro.

El punto de inicio para el diseño de los componentes fue la demanda de agua que requiere el fundo Pachaticgra, obteniendo una demanda hídrica de 0.18 litros/minuto para consumo humano, se consideró esta demanda hídrica como caudal de descarga. Teniendo el caudal de suministro definido mediante los criterios de dimensionamiento del diámetro y aplicando la fórmula de Hazen y Williams se determinó el diámetro de 2 pulgadas para la línea de suministro, esta línea es muy importante ya que es la encargada de transportar



el agua desde la cámara de carga hasta la bomba de ariete hidráulico y tendrá que soportar una sobrepresión generada por el golpe de ariete, por lo que se eligió una tubería de PVC por su bajo costo, facilidad de traslado e instalación; en el trabajo de investigación de (Bonilla Vásconez & Hidrono Nina, 2011) realizan un análisis de las características que ofrecen las tuberías de fierro galvanizado, PVC y acero comercial en la instalación de sistemas de bombeo mediante ariete hidráulico por lo que recomiendan el uso de la tubería de fierro galvanizado; pero siendo cuidadosos al elegir la clase y espesor de las tuberías de PVC que sea capaz de resistir las sobrepresiones que se generan por el golpe de ariete en el sistema de bombeo, nos garantiza un adecuado funcionamiento de la línea de suministro.

Para determinar el tamaño de diámetro de la bomba de ariete se tomó como consideración el diámetro de la línea de suministro, con la finalidad de evitar las transiciones que generen pérdidas de energía por lo que el tamaño de la bomba de ariete hidráulico fue de 2 pulgadas. (Campaña Calero & Guaman Alarcon, 2011) Indica que el diámetro de la tubería de descarga debería de ser la mitad de la tubería de suministro, pero este criterio es solo una recomendación ya que el diámetro que se consideró para la tubería de descarga fue de $\frac{1}{2}$ pulgada con la finalidad de elevar nueve veces la altura de suministro.

4.7.2. Discusión del diseño de la bomba de ariete hidráulico.

Teniendo establecido el diámetro de la tubería de suministro se pudo determinar el tamaño de la bomba de ariete hidráulico (válvula de impulsión, válvula de descarga, cámara de aire y cuerpo de la bomba de ariete). La bomba de ariete hidráulico fue diseñada y construida con materiales que se pudieran adquirir en ferreterías y tengan una vida útil prolongada.

Posee cuatro componentes el diseño de la bomba de ariete hidráulico.



- ✓ Cuerpo de la bomba de ariete hidráulico. Con la finalidad de evitar una contracción o expansión que genere pérdidas de energía se diseñó del mismo diámetro de la tubería de suministro que es de 2 pulgadas; para su diseño se eligió accesorios de fierro galvanizado de 2 pulgadas de diámetro y consta con una válvula esférica que permite controlar el ingreso de caudal a la bomba de ariete hidráulico para que este funcione o para su detención ante alguna falla o con fines de mantenimiento. La elección de dicho material fue con la finalidad de brindar mayor resistencia a la sobrepresión generada por el golpe de ariete; el trabajo de investigación de (Rivadeneira Carlosama & Silva Espinosa, 2013) da como resultado un adecuado comportamiento de los materiales usados durante la operación de la bomba de ariete hidráulico, con lo cual coincide los materiales que se usó (fierro galvanizado) en el cuerpo de la bomba de ariete hidráulico.

- ✓ Válvula de impulsión. Es el elemento principal de la bomba de ariete hidráulico, en su diseño se utilizó una válvula gobernada por un par de resortes las cuales accionan la apertura y cierre de la válvula; para el diseño de esta válvula de impulsión se unió la válvula check de 2 pulgadas y un niple modificado de 2x4 pulgadas. El niple modificado consistió en la apertura de dos ventanas laterales para la expulsión de agua, pero una de las ventanas laterales que se cortó y se dobló hacia adentro para que formara la banca secundaria y se utilizó una tapón hembra para la banca principal, ambas bancas fueron perforadas en la parte central para guiar al vástago de 3/8 de pulgada con una longitud de 20 cm. de largo, en el cual se introdujeron los resortes ya que tienen la función de la apertura o cierre de



la válvula de impulsión y el tiempo depende de la regulación para que se dé el golpe de ariete.

- ✓ Válvula de descarga. El diseño considero la elección de la válvula check tipo vertical, conocido también como válvula antirretorno de material bronce, el diámetro es de 2 pulgadas el cual permitirá el paso de una cantidad de agua suficiente a la cámara de aire y lograr bombear un caudal superior a la demanda de agua para el consumo humano. (Rivadeneira Carlosama & Silva Espinosa, 2013) eligen por sus buenas características de funcionamiento una válvula de no retorno tipo solapa, pero nuestra válvula check tipo vertical tiene buenas características de funcionamiento y es fácil de encontrar en ferreterías.

- ✓ Cámara de aire. Para el tamaño de la cámara de aire fue necesario conocer la sobrepresión que se produce por el golpe de ariete, calculando una sobrepresión de 10.82 m.c.a. al cual adicionado la altura de suministro de 4 m. que existe entre la cámara de carga y la bomba de ariete hidráulico y se totaliza una sobrepresión de carga de 14.82 m.c.a. siendo esta la presión teórica que soporta la cámara de aire; dicha presión nos permitió elegir el tipo de material a considerar en la cámara de aire. Para dimensionar el tamaño de la cámara de aire se calculó el volumen de agua que se descarga en cada ciclo de bombeo el cual resulto 0.14 litros/ciclo, con este dato y haciendo uso de las formulas empíricas utilizadas en (Campaña Calero &



Guaman Alarcon, 2011), se determinó el volumen de la cámara de aire el cual resulto resultando un volumen de 39.4 litros. El volumen que conformara la cámara de aire está formado por dos secciones, la primera sección integra los accesorios de 2 pulgadas que une a la válvula de descarga y a los accesorio de 1 y ½ pulgada que une a la manguera de descarga y la segunda por un niple de 2x5 pulgadas, soldado a una cámara cilíndrica de 0.0394 m^3 (64x28 cm.) de material fabricado de hierro, dicho material utilizado para una mayor seguridad de resistencia al golpe de ariete y básicamente funciona como un tanque hidroneumático, ya que en su interior alojara una cierta cantidad de aire y otra de agua por eso es de vital importancia que su construcción garantice hermeticidad y resistencia a la presión que suceda en su interior.

Los componentes elegidos para la bomba de ariete hidráulico, poseen un tamaño y dimensión correcta ya que se encuentran dentro de los rangos permisibles establecidos por investigaciones en trabajos similares, por lo cual la bomba de ariete hidráulico nos garantizara un adecuado funcionamiento.

4.7.3. Discusión de la construcción de la bomba de ariete

Se utilizaron materiales prefabricados de fierro galvanizado en la construcción de la bomba de ariete hidráulico de 2 pulgadas; teniendo ya todos los elementos que conformaran se procedió con el montaje de dichas piezas según lo establecido en los planos de diseño, se utilizaros dos llaves stillson para ajustar herméticamente las uniones roscadas a fin de evitar fugas de presión. Se determinó el tamaño de la bomba de ariete hidráulico en base a la demanda requerida para el consumo humano del fundo Pachaticgra, a diferencia de (Rivadeneira Carlosama S. X., 2013) construyeron la bomba



de ariete hidráulico de 2 pulgadas utilizando como material principal acero negro y siendo unidad mediante soldadura, lo que para descubrir alguna falla en la bomba de ariete hidráulico sería muy complejo desarmarla ya que están unidas mediante soldadura; sin embargo, la bomba de ariete hidráulico propuesto solo requiere de dos llaves stillson para su desmontaje.

4.7.4. Discusión de la instalación del sistema de bombeo

Se realizó la instalación del sistema de bombeo en el fundo Pachaticgra, donde se instaló todos los componentes necesarios para el funcionamiento del sistema de bombeo, en el cual está integrado por: captación artesanal, línea de conducción a base de tubería PVC-PN-5 de 2 pulgadas de diámetro y 25 metros de distancia, cámara de carga de 1100 litros, línea de suministro a base de tubería de PVC-PN-7.5 de 2 pulgadas de diámetro y 30 metros de distancia, bomba de ariete hidráulico de 2 pulgadas, línea de descarga instalado con manguera HDPE de ½ pulgada de diámetro y 50 metros de distancia; este sistema aprovecha 4 metros de caída de agua para bombear a 35 metros de altura, en comparación a la instalación del sistema de bombeo realizado en Predio de Utcucucho – Uchusquillo, distrito de San Luis – Ancash en el país de Perú realizado por (Crisostomo Armas, 2019) utilizando una bomba de ariete hidráulico de 2 pulgadas, tubería de suministro de 2 pulgadas de diámetro y una tubería de descarga 3/8 de diámetro que aprovechando 5 metros de caída de agua y siendo bombeada a una altura de 15 metros.

4.7.5. Discusión de las pruebas de campo.

Una vez culminado con la instalación del sistema de bombeo se pudo realizar pruebas de eficiencia de la bomba de ariete hidráulico, esto se logró porque previamente se diseñó y



construyó, de lo contrario solo tuviera resultados teóricos. Las pruebas de campo validan los resultados obtenidos en el diseño y construcción.

Se realizó una primera prueba en que los materiales utilizados durante la construcción del sistema de bombeo tuvieran un adecuado desempeño durante su operación; durante el diseño se procuró disminuir los costos en la línea de suministro, por ende se eligió materiales poco recomendables según investigaciones en trabajos similares, dichos trabajos de investigación recomiendan usar tuberías de acero galvanizado como lo hizo (Bonilla Arrazola, 2018); sin embargo en este trabajo de investigación se utilizó tubería de PVC-PN-7.5 cuya especificación técnica indica que está fabricada para soportar una presión de 0.75 MPa , por ello se dio una especial atención a la elección de qué clase de tubería de PVC se usaría en la línea de suministro ya que tendría que soportar la presión generada por el golpe de ariete. Manteniendo en funcionamiento por un periodo de 48 horas se evaluó el estado de los elementos que integran el sistema de bombeo, no encontrando deficiencias, desperfecto o falla alguna, de esta manera se demostró que eligiendo los correctos materiales durante el diseño y teniendo en cuenta las especificaciones técnicas de cada material se obtuvo un desempeño satisfactorio durante el funcionamiento del sistema de bombeo.

De acuerdo a la teoría la bomba de ariete es capaz de elevar agua de 10 a 12 veces aproximadamente la altura de suministro, dicha afirmación se comprobó puesto que en el sistema de bombeo instalado se tuvo una altura de suministro de 4 metros; generándose una sobrepresión debido al golpe de ariete de 18 Psi (0.13 MPa) con la llave de paso cerrada hacia la línea de descarga y 30 Psi (0.21 MPa) con la llave de paso abierto hacia la línea de descarga, lo cual nos indica que el prototipo de la bomba de ariete hidráulico fue diseñada y construida para bombear agua hasta 35 metros o incluso más, equivalente a 9 veces la altura de suministro.



En la segunda prueba se determinó el rango de la eficiencia que desarrolla la bomba de ariete hidráulico, creándose tres escenarios de prueba mediante la calibración de la válvula de impulsión, lo cual nos dio eficiencias de 55.6, 55.96 y 56.21 con los reglajes 40, 50 y 60 golpes por minuto, en los tres escenarios creados se logró elevar agua con caudales de 7.50, 7.06 y 3.70 litros/minuto siendo superior a 0.18 litros/minuto demandado por el fundo Pachaticgra; sin embargo lo más recomendable es calibrar la válvula de impulsión a 50 golpes por minuto ya que de esta manera el funcionamiento de la bomba de ariete no será rápido ni muy lento.

De las gráficas de curvas de operación de la bomba de ariete hidráulico nos muestra que a menor número de golpes por minuto resulta menos eficiente pero más eficaz; es decir, cuando menor sea el número de golpes por minuto se bombeara mayor cantidad de agua a 35 metros de altura.

Comparando con el sistema de bombeo diseñado e instalado por (Chero Lizana, 2018) en el cual utilizaron un ariete hidráulico de 4 pulgadas que aprovecha una caída de 5.3 metros de altura y con un caudal de suministro 13.2 l/segundo y eleva 0.5 l/segundo como caudal de descarga a una altura 50 metros desarrollando una eficiencia de 39% lo cual nos indica que a mayor altura de bombeo el caudal de descarga disminuye.



V. CONCLUSIONES

- ✓ Se logró tener un caudal de bombeo superior a 7 l/min (primer objetivo específico), ya que se crearon tres escenarios a distintos números de golpes por minuto (40,50 y 60), con caudales de descarga de (7.5, 7.06 y 3.7 l/min), con lo que a 40 y 50 golpes por minuto logra superar los 7 l/min planteado en el primer objetivo; pero se configuro en la válvula de impulsión a 50 golpes por minuto durante el funcionamiento, con un caudal de suministro de 55.2 l/min y eleva un caudal de 7.06 l/min (10166.4 l/día).
- ✓ La bomba de ariete hidráulico logra elevar una altura superior a 30 m (segundo objetivo específico); logrando elevar a 35 metros de altura, cabe recalcar que la bomba de ariete hidráulico puede elevar 12 veces la altura de suministro (48 metros en nuestro caso).



VI. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda tener información necesaria de topografía e hidrogeología de la zona donde se realizara el proyecto antes de proceder con el diseño, también tener en cuenta la movilización personal hasta la misma zona para observar las características del terreno.
- ✓ Se recomienda siempre colocar a continuación de la salida de flujo de la bomba de ariete una válvula check, el cual cumplirá dos funciones: La primera es que no permitirá que retorne el agua que se encuentra en la línea de descarga y segundo nos dará la facilidad para el mantenimiento de la bomba de ariete hidráulico.
- ✓ Al no escoger tuberías de fierro galvanizado para la línea de suministro, tener siempre en cuenta de escoger la categoría correcta de tubería de PVC ya que estas estarán sometidas a altas presiones generadas por el golpe de ariete.
- ✓ No es recomendable utilizar codos en la línea de suministro ya que estas generaran perdidas debido al cambio de dirección.
- ✓ La bomba de ariete hidráulico debe tener un mantenimiento preventivo para que tenga un correcto funcionamiento y cumplir satisfactoriamente su tiempo de vida útil.
- ✓ Asegurarse que la fuente de agua (captación) esté libre de partículas de arena que puedan dañar a las válvulas de impulsión y descarga.
- ✓ Difundir el uso de la bomba de ariete hidráulico en sistemas de bombeo de agua para fines de riego y consumo humano, a pesar de que esta tecnología es muy antigua es desconocida para algunas regiones del Perú.



VII. REFERENCIAS

- Pauro Chavez, R. P. (2016). *Diseño de bomba de ariete hidraulico, en la asociacion San Miguel - Yacango distrito Torata region Moquegua*. Moquegua.
- Barnes Group. (8 de Agosto de 2016). *Barnes Group*. Obtenido de Barnes Group: <http://www.bgespana.com/p/113/muelles-de-compresion-en-alambre-de-piano/>
- Bonilla Arrazola, O. (2018). *Uso del ariete hidráulico*.
- Bonilla Vásquez, J. L., & Hidrono Nina, F. O. (2011). *Diseño de un sistema de turbo Bombeo y Riego por Aspersión para la comunidad de San Francisco*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Campaña Calero, C. N., & Guaman Alarcon, D. A. (2011). *Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico*. Quito.
- Chero Lizana, A. (2018). *Diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidraulico*. Piura.
- Crane-Mc Graw Hill. (s.f.). *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. VALFISA S.A.
- Crisostomo Armas, E. F. (2019). *Eficiencia en el abastecimiento de agua por bomba de ariete al Predio de Utcucucho-Uchusquillo, distrito de San Luis - Ancash*. Ancash.
- Fernandez, C., & Salas, M. (2018). *Diseño del sistema de abastecimiento de agua utilizando la bomba de ariete*. Limabamba.
- Galarza Chacon, R. F. (2013). *Estudio de factores hidraulicos en una bomba de ariete y su efecto sobre la eficiencia*. Ambato.



Jeffrey, T. (1992). *Hydraulic Ram Pumps: A Guide to Ram Pump Water Supply Systems*. ITDG Publishing.

Maps, G. (s.f.). *Distancia de Juliaca a la Comunidad de Pinaya*. Obtenido de Educación en línea:
<https://www.google.com/maps/dir/Juliaca/Centro+Poblado+Pinaya,+Pinaya,,+Lampa/@-15.6373687,-70.7331643,10z/data=!4m18!4m17!1m5!1m1!1s0x9167f3e5361625b9:0x2a1629113760cbfc!2m2!1d-70.129653!2d-15.4996879!1m3!2m2!1d-70.79916!2d-15.6715523!1m5!1m1!1s0x9168>

Mataix, C. (1986). *Mecanica de fluidos y maquinas hidráulicas*. México: Alfaomega.

Mendez Rodriguez, M. L., & Rosas Cortes, R. (2011). *Construccion de una bomba aprovechando la energia potencial de una corriente de agua*.

Paredes Godoy, M. M. (2012). *Diseño e instalación de un sistema de bombeo mediante ariete hidraulico en la comunidad de Airón Cebadas, Ecuador*.

Peralta Surco, H. (2015). *Aplicacion del golpe de ariete hidraulico para el aprovechamiento del agua de manantial en Quequerana Moho. Quequerana*.

Ramirez , B., & Gonzales, J. (2019). *Construccion e instalacion de una bomba de ariete hidraulico para alimentar el sistema de riego de un area para una finca agricola. Cundinamarca*.

Rivadeneira Carlosama, S. X. (2013). *Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico con el desarrollo de un software para su dimensionamiento. Quito*.

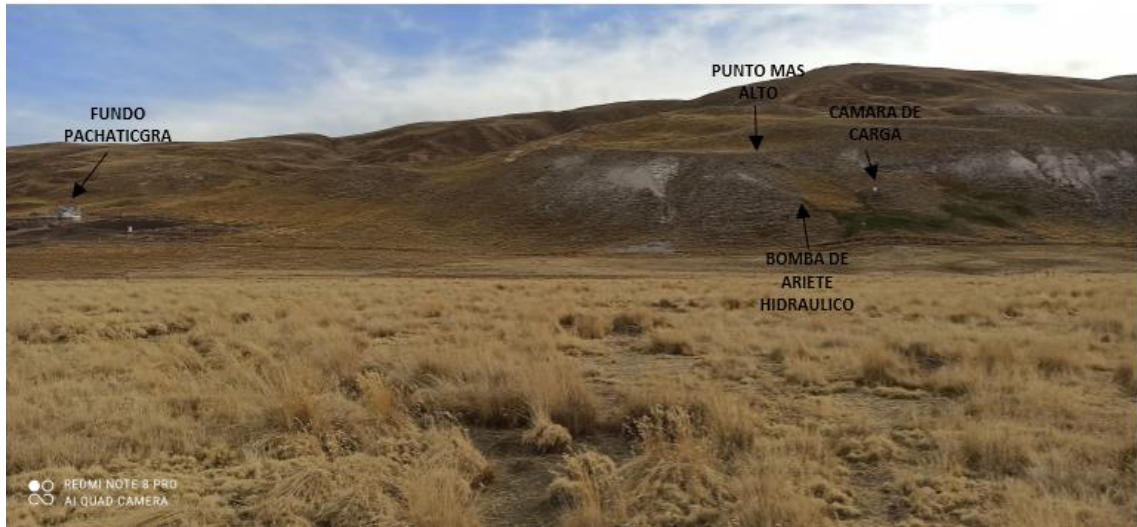
Rivadeneira Carlosama, S., & Silva Espinosa, L. (2013). *Diseño y construccion de una bomba de ariete hidraulico con el desarrollo de un software para su dimensionamiento. Quito*.



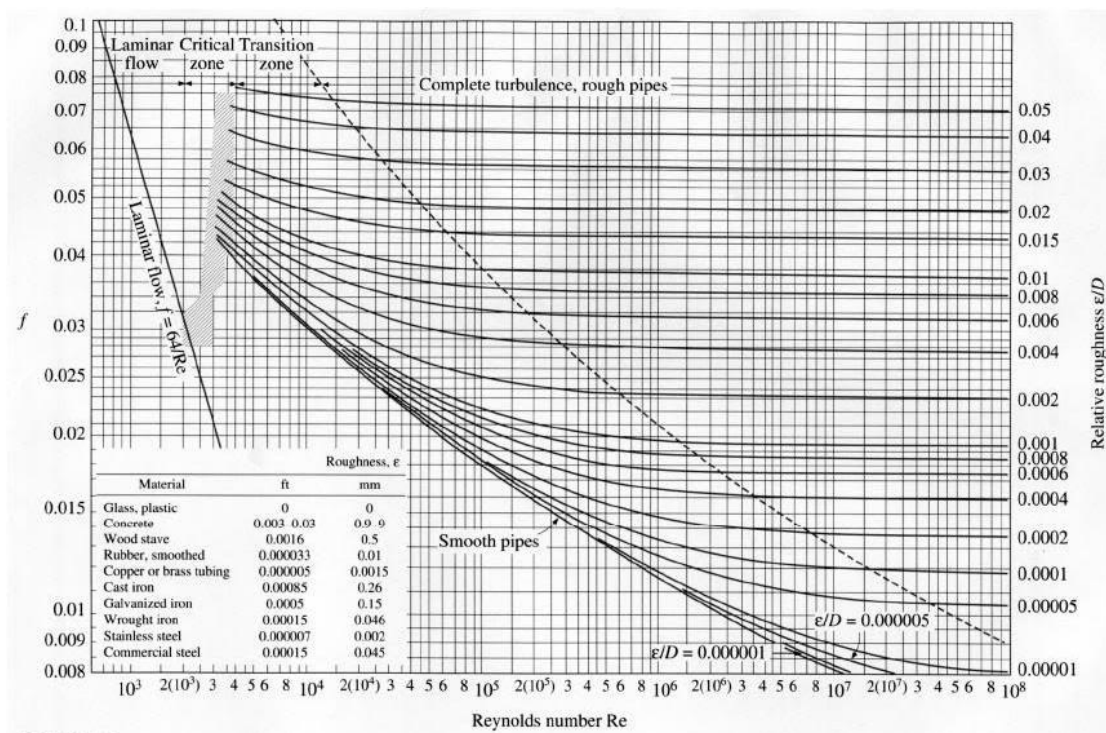
- Ruiz Santos, R., Silva Hidalgo, H., Alvarez Herrera, C., & Santos Garcia, J. (2019). Problemática del abastecimiento de agua potable en sistemas de conduccion a gravedad. *Revista de investigacion cientifica y tegnologica de la facultad de ingenieria de la universidad Autonoma de Chihuahua*, 2-3.
- Schiller, E. (1986). *Proceedings of a Workshop on Hydraulic Ram Pump*. Tanzania.
- Tigre Perú tubos y conexiones S.A. (s.f.). *Catálogo Técnico*.
- Watt, S. (1981). *Un manual sobre el ariete hidráulico para bombear agua*. Londres: Publicaciones de tecnología intermedia Ltd.
- Wikipedia. (s.f.). *Distrito de Santa Lucía*. Obtenido de Educacion en linea: [https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_Santa_Luc%C3%ADa_\(Lampa\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Distrito_de_Santa_Luc%C3%ADa_(Lampa))

ANEXOS

ANEXO A. Ubicación geográfica del sistema de bombeo.



ANEXO B. Diagrama de moody.





ANEXO C. Propiedades físicas del agua.



Hidráulica Gral. y Aplicada
Curso 2010

Gráficos y Tablas

Pág. 1 de 9

PREFIJOS Tabla 1

| Prefijo | Símbol | Factor | Término |
|---------|--------|-------------------|-------------------|
| tera | T | 10 ¹² | un billón |
| giga | G | 10 ⁹ | mil millones |
| mega | M | 10 ⁶ | un millón |
| kilo | k | 10 ³ | mil |
| hecto | h | 10 ² | cien |
| deca | da | 10 | diez |
| deci | d | 10 ⁻¹ | un décimo |
| centí | c | 10 ⁻² | un centésimo |
| milí | m | 10 ⁻³ | un milésimo |
| micro | μ | 10 ⁻⁶ | un millonésimo |
| nano | n | 10 ⁻⁹ | un milmillonésimo |
| pico | p | 10 ⁻¹² | un billonésimo |

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AIRE Tabla 2
a presión atmosférica

| Temperatura | Densidad | Viscosidad dinámica | Viscosidad cinemática | Velocidad del sonido |
|-------------|---------------------|--|--------------------------------------|----------------------|
| °C | ρ kgm ⁻³ | μ N.s/m ² ·10 ⁻⁴ | ν m ² /s·10 ⁻⁶ | c m/s |
| -30 | 1,452 | 1,56 | 1,08 | 312 |
| -20 | 1,394 | 1,61 | 1,16 | 319 |
| -10 | 1,342 | 1,67 | 1,24 | 325 |
| 0 | 1,292 | 1,72 | 1,33 | 331 |
| 10 | 1,247 | 1,76 | 1,42 | 337 |
| 20 | 1,204 | 1,81 | 1,51 | 343 |
| 30 | 1,164 | 1,86 | 1,60 | 349 |
| 40 | 1,127 | 1,91 | 1,69 | 355 |
| 50 | 1,092 | 1,95 | 1,79 | 360 |
| 60 | 1,060 | 2,00 | 1,89 | 366 |
| 70 | 1,030 | 2,05 | 1,99 | 371 |
| 80 | 1,000 | 2,09 | 2,09 | 377 |
| 90 | 0,973 | 2,13 | 2,19 | 382 |
| 100 | 0,946 | 2,17 | 2,30 | 387 |
| 200 | 0,746 | 2,57 | 3,45 | 436 |
| 300 | 0,616 | 2,93 | 4,75 | 480 |

PROPIEDADES FÍSICAS Tabla 3
APROXIMADAS DE LÍQUIDOS
COMUNES, a 20°C y presión
atmosférica estándar

| Líquido | Densidad relativa | Módulo de elasticidad volumétrica | Presión de vapor | Tensión Superficial |
|----------------------|-------------------|-----------------------------------|------------------|---------------------|
| | ρ | K GPa | Pv kPa | σ Nm |
| Agua | 1 | 2,07 | 2,45 | 0,074 |
| Acetate crudo | 0,85 - 0,93 | --- | --- | 0,023-0,038 |
| Acetate | 0,85 - 0,88 | --- | --- | 0,035-0,038 |
| Alcohol etílico | 0,790 | 1,210 | 5,86 | 0,022 |
| Benceno | 0,880 | 1,030 | 10,00 | 0,029 |
| Carbono, tenacero de | 1,590 | 1,300 | 13,10 | 0,027 |
| Mercurio | 13,570 | 26,200 | 0,00 | 0,510 |
| Querosén | 0,810 | --- | --- | 0,023-0,032 |

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA Tabla 4

| Temperatura | Densidad | Viscosidad | Viscosidad cinemática | Módulo de elasticidad volumétrica | Tensión Superficial | Presión de Vapor |
|-------------|---------------------|--|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------------------|
| °C | ρ kgm ⁻³ | μ N.s/m ² ·10 ⁻⁴ | ν m ² /s·10 ⁻⁶ | K Pa·10 ⁷ | σ Nm·10 ⁻⁶ | Pv Pa |
| 0 | 999,9 | 1,792 | 1,792 | 204 | 7,62 | 588 |
| 1 | 999,9 | 1,732 | 1,732 | | | |
| 2 | 1000,0 | 1,674 | 1,674 | | | |
| 3 | 1000,0 | 1,619 | 1,619 | | | |
| 4 | 1000,0 | 1,568 | 1,568 | | | |
| 5 | 1000,0 | 1,519 | 1,519 | 206 | 7,54 | 682 |
| 6 | 1000,0 | 1,473 | 1,473 | | | |
| 7 | 999,9 | 1,429 | 1,429 | | | |
| 8 | 999,9 | 1,387 | 1,387 | | | |
| 9 | 999,8 | 1,348 | 1,348 | | | |
| 10 | 999,7 | 1,310 | 1,310 | 211 | 7,48 | 1.176 |
| 11 | 999,6 | 1,274 | 1,274 | | | |
| 12 | 999,5 | 1,239 | 1,240 | | | |
| 13 | 999,4 | 1,206 | 1,207 | | | |
| 14 | 999,3 | 1,175 | 1,176 | | | |
| 15 | 999,1 | 1,145 | 1,146 | 214 | 7,41 | 1.666 |
| 16 | 999,0 | 1,116 | 1,117 | | | |
| 17 | 998,8 | 1,088 | 1,089 | | | |
| 18 | 998,6 | 1,060 | 1,061 | | | |
| 19 | 998,4 | 1,034 | 1,036 | | | |
| 20 | 998,2 | 1,009 | 1,011 | 220 | 7,36 | 2.447 |
| 21 | 998,0 | 0,984 | 0,986 | | | |
| 22 | 997,8 | 0,961 | 0,963 | | | |
| 23 | 997,6 | 0,938 | 0,940 | | | |
| 24 | 997,5 | 0,916 | 0,918 | | | |
| 25 | 997,1 | 0,895 | 0,898 | 222 | 7,26 | |
| 26 | 996,8 | 0,875 | 0,878 | | | |
| 27 | 996,5 | 0,855 | 0,858 | | | |
| 28 | 996,3 | 0,836 | 0,839 | | | |
| 29 | 996,0 | 0,818 | 0,821 | | | |
| 30 | 995,7 | 0,800 | 0,803 | 223 | 7,18 | 4.297 |
| 35 | 994,1 | 0,723 | 0,727 | 224 | 7,10 | |
| 40 | 992,2 | 0,656 | 0,661 | 227 | 7,01 | 7.400 |
| 45 | 990,2 | 0,599 | 0,605 | 229 | 6,92 | |
| 50 | 988,1 | 0,549 | 0,556 | 230 | 6,82 | 12.22 |
| 55 | 985,7 | 0,506 | 0,513 | 231 | 6,74 | |
| 60 | 983,2 | 0,469 | 0,477 | 228 | 6,68 | 19.60 |
| 65 | 980,6 | 0,469 | 0,478 | 226 | 6,58 | |
| 70 | 977,8 | 0,406 | 0,415 | 225 | 6,50 | 30.70 |
| 75 | 974,9 | 0,380 | 0,390 | 223 | 6,40 | |
| 80 | 971,8 | 0,357 | 0,367 | 221 | 6,30 | 46.40 |
| 85 | 968,6 | 0,336 | 0,347 | 217 | 6,20 | |
| 90 | 965,3 | 0,317 | 0,328 | 216 | 6,12 | 68.20 |
| 95 | 961,9 | 0,299 | 0,311 | 211 | 6,12 | |
| 100 | 958,4 | 0,284 | 0,296 | 207 | 5,94 | 97.50 |

ANEXO D. Factores de fricción para tuberías comerciales.

A-24. TABLA DEL FACTOR “K” (página 1 de 4)
Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

(“K” está basado en el uso de las tuberías cuyos números de cédula se dan en la página 2-10

**FACTORES DE FRICCIÓN PARA TUBERÍAS COMERCIALES, NUEVAS,
DE ACERO, CON FLUJO EN LA ZONA DE TOTAL TURBULENCIA**

| Diámetro mm | 15 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 65, 80 | 100 | 125 | 150 | 200,250 | 300400 | 450-600 |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|---------|--------|---------|
| Nominal pulg | ½ | ¾ | 1 | 1¼ | 1½ | 2 | 2½, 3 | 4 | 5 | 6 | 8: 10 | 12-16 | 18-24 |
| Factor de fricción (f _T) | .027 | .025 | .023 | .022 | .021 | .019 | .018 | .017 | .016 | .015 | .014 | .013 | .012 |

**FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR “K” PARA VÁLVULAS
Y ACCESORIOS CON SECCIONES DE PASO REDUCIDO**

Fórmula 1

$$K_2 = \frac{0.8 \left(\sin \frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 2

$$K_2 = \frac{0.5 (1 - \beta^2) \sqrt{\sin \frac{\theta}{2}}}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 3

$$K_2 = \frac{2.6 \left(\sin \frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)^2}{\beta^4} K_1$$

Fórmula 4

$$K_2 = \frac{(1 - \beta^2)^2}{\beta^4} = \frac{K_1}{\beta^4}$$

Fórmula 5

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \text{Fórmula 1} + \text{Fórmula 3}$$

$$K_2 = \frac{K_1 + \sin \frac{\theta}{2} [0.8 (1 - \beta^2) + 2.6 (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

Fórmula 6

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} + \text{Fórmula 2} + \text{Fórmula 4}$$

$$K_2 = \frac{K_1 + 0.5 \sqrt{\sin \frac{\theta}{2}} (1 - \beta^2) (1 - \beta^2)^2}{\beta^4}$$

Fórmula 7

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} t \beta \text{ (Fórmula 2 + Fórmula 4), cuando } \theta = 180^\circ$$

$$K_2 = \frac{K_1 + \beta [0.5 (1 - \beta^2) + (1 - \beta^2)^2]}{\beta^4}$$

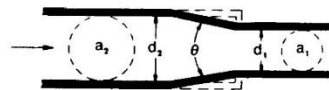
$$\beta = \frac{d_1}{d_2}$$

$$\beta^2 = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 = \frac{a_1}{a_2}$$

El subíndice 1 define dimensiones y coeficientes para el diámetro menor.
El subíndice 2 se refiere al diámetro mayor.

*Úsese el valor de K proporcionado por el proveedor, cuando se disponga de dicho valor

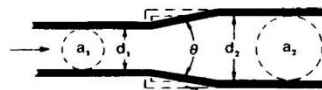
ESTRECHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL



Si: $\theta \approx 45^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 1}$

$45^\circ < \theta \approx 180^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 2}$

ENSANCHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL

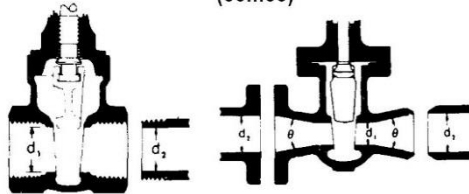


Si: $\theta \approx 45^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 3}$

$45^\circ < \theta \approx 180^\circ$ $K_2 = \text{Fórmula 4}$

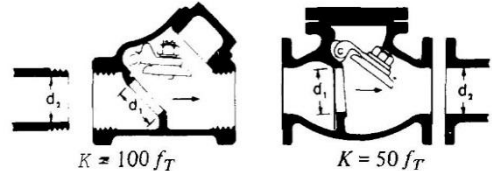
A-24 TABLA DEL FACTOR “K” (página 2 de 4)
Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

VÁLVULAS DE COMPUERTA
De cuña, de doble obturador o tipo macho (cónico)



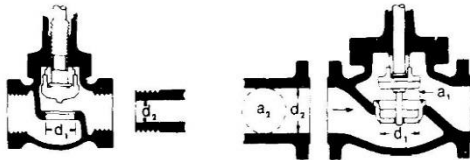
Si: $\beta = 1, \theta = 0 \dots \dots \dots K_1 = 8 f_T$
 $\beta < 1$ y $\theta < 45^\circ \dots \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 5}$
 $\beta < 1$ y $45^\circ < \theta < 180^\circ \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 6}$

VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO OSCILANTE

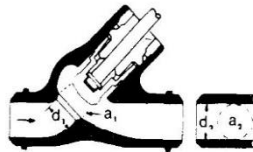


$K \approx 100 f_T$ $K = 50 f_T$
 Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador
 (m/seg) = $45 \sqrt{V}$ = $75 \sqrt{V}$
 (pie/seg) = $35 \sqrt{V}$ = $60 \sqrt{V}$
 U/L Registradas = $120 \sqrt{V}$ = $100 \sqrt{V}$

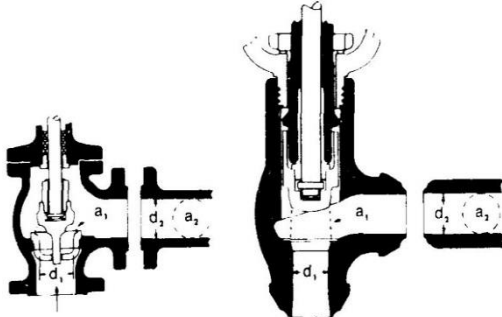
VÁLVULAS DE GLOBO Y ANGULARES



Si: $\beta = 1 \quad K_1 = 340 f_T$



Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 55 f_T$

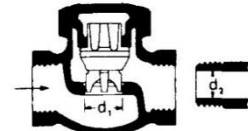


Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 150 f_T$ Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 55 f_T$

Todas las válvulas de globo y angulares con asiento reducido θ de mariposa

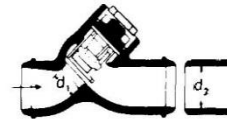
Si: $\beta < 1 \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE OBTURADOR ASCENDENTE



Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 600 f_T$
 $\beta < 1 \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

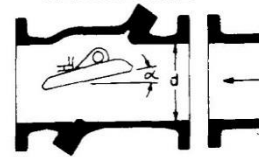
Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador = $50 \beta^2 \sqrt{V}$ m/seg $40 \beta^2 \sqrt{V}$ pie/seg



Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 55 f_T$
 $\beta < 1 \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador = $170 \beta^2 \sqrt{V}$ m/seg $140 \beta^2 \sqrt{V}$ pie/seg

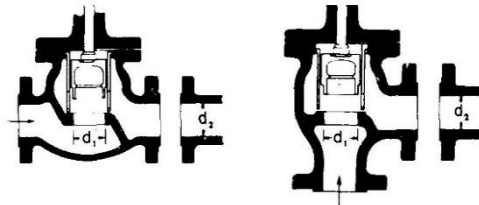
VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO BASCULANTE



| Pasos | $\alpha = 5^\circ$ | $\alpha = 15^\circ$ |
|--|--------------------|---------------------|
| 50 mm (2") a 200 mm (8") | $40 f_T$ | $120 f_T$ |
| 250 mm (10") a 350 mm (14") | $30 f_T$ | $90 f_T$ |
| 400 mm (16") a 1200 mm (48") | $20 f_T$ | $60 f_T$ |
| Velocidad mínima en la tubería para abrir totalmente el obturador = m/seg: | $100 \sqrt{V}$ | $40 \sqrt{V}$ |
| pie/seg: | $80 \sqrt{V}$ | $30 \sqrt{V}$ |

A-24. TABLA DEL FACTOR "K" (página 3 de 4)
Coefficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

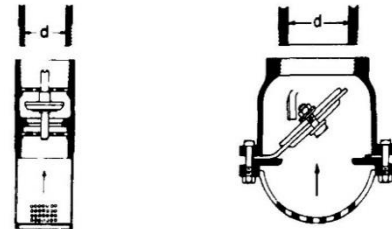
VÁLVULAS DE RETENCIÓN Y CIERRE
(Tipos recto y angular)



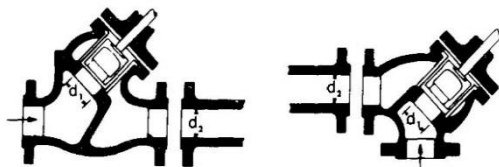
Si: $\beta = 1 \dots K_1 = 400 f_T$ $\beta = 1 \dots K_1 = 200 f_T$
 $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$
 Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador
 $m/\text{seg} \approx 70 \beta^2 \sqrt{V}$ $\text{Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador}$
 $\text{pie}/\text{seg} = 55 \beta^2 \sqrt{V}$ $= 95 \beta^2 \sqrt{V}$
 $= 75 \beta^2 \sqrt{V}$

VÁLVULAS DE PIE CON FILTRO

Obturador ascendente Obturador oscilante

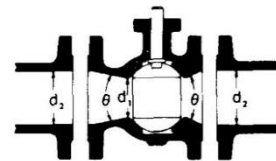


$K = 420 f_T$ $K = 75 f_T$
 Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador
 $m/\text{seg} = 20 \sqrt{V}$ $\text{Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador}$
 $\text{pie}/\text{seg} = 15 \sqrt{V}$ $= 45 \sqrt{V}$
 $= 35 \sqrt{V}$



Si: $\beta = 1 \dots K_1 = 300 f_T$ $\beta = 1 \dots K_1 = 350 f_T$
 $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$
 velocidad mínima en la tubería para abrir totalmente el obturador
 $m/\text{seg} = 75 \beta^2 \sqrt{V}$ $\text{pie}/\text{seg} = 60 \beta^2 \sqrt{V}$

VÁLVULAS DE GLOBO

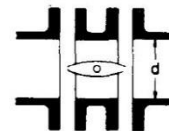


Si: $\beta = 1, \theta = 0 \dots K_1 = 3 f_T$
 $\beta < 1 \text{ y } \theta < 45^\circ \dots K_2 = \text{Fórmula 5}$
 $\beta < 1 \text{ y } 45^\circ < \theta < 180^\circ \dots K_2 = \text{Fórmula 6}$



$\beta = 1 \dots K_1 = 55 f_T$ $\beta = 1 \dots K_1 = 55 f_T$
 $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$ $\beta < 1 \dots K_2 = \text{Fórmula 7}$
 Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador
 $mg/\text{seg} = 170 \beta^2 \sqrt{V}$ $(\text{pie}/\text{seg}) = 140 \beta^2 \sqrt{V}$

VÁLVULAS DE MARIPOSA

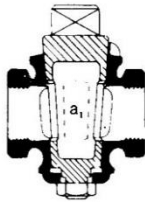


Diámetro 50 mm (2") a 200 mm (8") ... $K = 45 f_T$
 Diámetro 250 mm (10") a 350 mm (14") ... $K = 35 f_T$
 Diámetro 400 mm (16") a 600 mm (24") ... $K = 25 f_T$

A-24. TABLA DEL FACTOR “K” (página 4 de 4)
Coeficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

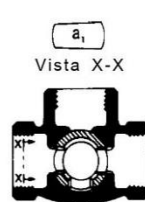
VÁLVULAS DE MACHO Y LLAVES

Paso directo

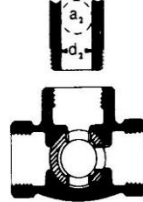


Si: $\beta = 1$,
 $K_1 = 18 f_T$

tres entradas



Si: $\beta = 1$,
 $K_1 = 30 f_T$



Si: $\beta = 1$,
 $K_1 = 90 f_T$

Si: $\beta < 1$ $K_2 = \text{Fórmula 6}$

CODOS ESTÁNDAR

90°



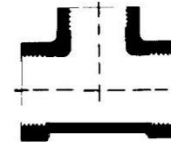
$K = 30 f_T$

45°



$K = 16 f_T$

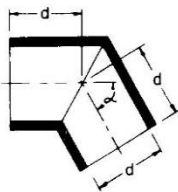
CONEXIONES ESTÁNDAR EN “T”



Flujo directo $K = 20 f_T$

Flujo desviado a 90° . . $K = 60 f_T$

**CURVAS EN ESCUADRA
O FALSA ESCUADRA**



| α | K |
|----------|----------|
| 0° | $2 f_T$ |
| 15° | $4 f_T$ |
| 30° | $8 f_T$ |
| 45° | $15 f_T$ |
| 60° | $25 f_T$ |
| 75° | $40 f_T$ |
| 90° | $60 f_T$ |

**CURVAS Y CODOS DE 90° CON BRIDAS
O CON EXTREMOS PARA
SOLDAR A TOPE**



| r/d | K | r/d | K |
|-----|----------|-----|----------|
| 1 | $20 f_T$ | 8 | $24 f_T$ |
| 1.5 | $14 f_T$ | 10 | $30 f_T$ |
| 2 | $12 f_T$ | 12 | $34 f_T$ |
| 3 | $12 f_T$ | 14 | $38 f_T$ |
| 4 | $14 f_T$ | 16 | $42 f_T$ |
| 6 | $17 f_T$ | 20 | $50 f_T$ |

El coeficiente de resistencia K_B , para curvas que no sean de 90° puede determinarse con la fórmula:

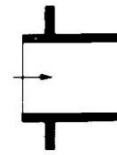
$$K_B = (n - 1) \left(0.25 \pi f_T \frac{r}{d} + 0.5 K \right) + K$$

n = número de curvas de 90°

K = coeficiente de resistencia para una curva de 90° (según tabla)

ENTRADAS DE TUBERÍA

Con resalte
hacia el interior



$K = 0.78$

| r/d | K |
|------------|------|
| 0.00* | 0.5 |
| 0.02 | 0.28 |
| 0.04 | 0.24 |
| 0.06 | 0.15 |
| 0.10 | 0.09 |
| 0.15 y más | 0.04 |

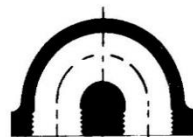
*de cantos vivos

A tope



Véanse los valores de K en la tabla

CURVAS DE 180° DE RADIO CORTO



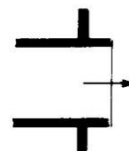
$K = 50 f_T$

SALIDAS DE TUBERÍA

Con resalte

De cantos vivos

Redondeada



$K = 1.0$



$K = 1.0$



$K = 1.0$

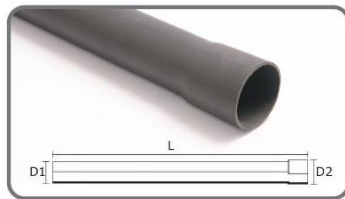
ANEXO E. Tubos y conexiones para fluidos a presión.

TUBOS PARA FLUIDOS A PRESIÓN SIMPLE PRESIÓN - NTP 399.002

TUBOS 5 METROS



| Diámetro (pulg.) | Diámetro Exterior (mm.) | Espesor (mm.) | Diámetro Interior (mm.) | Longitud de Campana (mm.) | Peso Promedio (kg.) |
|-----------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------|---------------------|
| PN-5 (0.5 MPa) | | | | | |
| 2" | 60.00 | 1.80 | 56.40 | 45.00 | 2.67 |
| 2 1/2" | 73.00 | 1.80 | 69.40 | 54.80 | 3.27 |
| 3" | 88.50 | 2.20 | 84.10 | 66.40 | 4.80 |
| 4" | 114.00 | 2.80 | 108.40 | 85.50 | 7.80 |
| 6" | 168.00 | 4.10 | 159.80 | 120.00 | 16.66 |
| 8" | 219.00 | 5.30 | 208.40 | 164.30 | 27.93 |
| 10" | 273.00 | 6.70 | 259.60 | 204.80 | 43.84 |
| 12" | 323.00 | 7.90 | 307.20 | 242.30 | 61.03 |



| Diámetro (pulg.) | Diámetro Exterior (mm.) | Espesor (mm.) | Diámetro Interior (mm.) | Longitud de Campana (mm.) | Peso Promedio (kg.) |
|--------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------|---------------------|
| PN-7.5 (0.75 MPa) | | | | | |
| 1 1/4" | 42.00 | 1.80 | 38.40 | 31.50 | 1.71 |
| 1 1/2" | 48.00 | 1.80 | 44.40 | 36.00 | 1.96 |
| 2" | 60.00 | 2.20 | 55.60 | 45.00 | 3.00 |
| 2 1/2" | 73.00 | 2.60 | 67.80 | 54.80 | 4.32 |
| 3" | 88.50 | 3.20 | 82.10 | 66.40 | 6.43 |
| 4" | 114.00 | 4.10 | 105.80 | 85.50 | 10.62 |
| 6" | 168.00 | 6.10 | 155.80 | 126.00 | 23.27 |
| 8" | 219.00 | 7.90 | 203.20 | 164.30 | 39.30 |
| 10" | 273.00 | 9.90 | 253.20 | 204.80 | 59.74 |
| 12" | 323.00 | 11.70 | 299.60 | 242.30 | 83.53 |



ANEXO F. Factor de rendimiento (R)

CALCULO DE CAUDAL DE ELEVACION DE BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO

| | | | | | | | | |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| h/H | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 | 9 | 10 | 12 |
| R | 0.85 | 0.81 | 0.76 | 0.67 | 0.57 | 0.50 | 0.43 | 0.23 |

h = Altura de elevación en metros.

H = Altura de alimentación en metros.

R = Rendimiento

ANEXO G. Plano de montaje, conjunto, despiece y detalle.