

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRÍCOLA



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE
ARIETE HIDRÁULICO PARA EL FUNDO
PORVENIR, HUANTA – 2016**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÍCOLA**

**PRESENTADO POR:
MICHAEL PALOMINO MARTINEZ**

AYACUCHO – PERÚ

2016

DEDICATORIA

A mis padres Teodoro y Rosario, que con su amor, trabajo y sacrificio hicieron posible culminar mi formación profesional.

A mis hermanos por su comprensión y apoyo incondicional, siendo personas constantes de motivación y superación.

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme la vida, salud y sabiduría necesaria para cumplir mis metas profesionales y ser partícipe de la mejora de su creación a través de este trabajo que permitió disponer del recurso hídrico en un terreno donde por mucho tiempo se carecía de este elemento vital para los seres vivos.

A la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, por haberme acogido en sus instalaciones y brindarme una formación profesional, de igual manera a los docentes que me brindaron conocimientos que se plasman en el desarrollo de este trabajo de investigación.

Al asesor de la presente tesis Ing. Federico Quicaño Suarez, por su orientación y apoyo constante en logro de este trabajo.

Un agradecimiento profundo a mis hermanos y demás familiares quienes fueron partícipes en el desarrollo de este trabajo de investigación logrando los objetivos trazados.

A todos mis compañeros con los cuales compartimos buenos momentos a lo largo de nuestra vida universitaria.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE GENERAL.....	iv
INDICE DE TABLAS	vi
INDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	xi
INTRODUCCIÓN	1
I. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	3
1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.2 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	4
1.3 GOLPE DE ARIETE	5
1.4 BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO.....	20
1.5 DISEÑO	38
II. MATERIALES Y MÉTODOS	40
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	40
2.2. MATERIALES.....	44
2.3. MÉTODO.....	47
III. RESULTADOS	55
3.1. DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	55
3.2. DISEÑO DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO	79
3.3. CONSTRUCCIÓN DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO	106
3.4. INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	120
3.5. PUESTA EN MARCHA DE LA BOMBA DE ARIETE	129
3.6. PRUEBAS DE CAMPO	133
3.7. EFICIENCIA Y EFICACIA DE LA BOMBA DE ARIETE	145
3.8. CURVAS DE OPERACIÓN DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO.....	147
3.9. CALIBRACIÓN FINAL DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO	150
3.10. COSTO DE INSTALACION DEL SISTEMA DE BOMBEO	151

IV.	DISCUSIÓN.....	155
4.1	DISCUSIÓN DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	155
4.2	DISCUSIÓN DEL DISEÑO DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO	157
4.3	DISCUSIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA BOMBA DE ARIETE.....	161
4.4	DISCUSIÓN DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	161
4.5	DISCUSIÓN DE LAS PRUEBAS DE CAMPO	162
4.6	DISCUSIÓN DEL COSTO DE INSTAL. DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	164
V.	CONCLUSIONES	166
VI.	RECOMENDACIONES	168
	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	169
	ANEXOS	171

INDICE DE TABLAS

Tabla I-1. Módulo de elasticidad del material de la conducción.	16
Tabla I-2. Valores del coeficiente K.	18
Tabla I-3. Valores del coeficiente C.	18
Tabla II-1. Acceso a la Zona del Proyecto	44
Tabla II-2. Materiales empleados en la construc. de la bomba de ariete hidráulico. .	45
Tabla II-3. Materiales para la instalación del sistema de bombeo.	46
Tabla II-4. Equipos, herramientas manuales y otros materiales de campo	46
Tabla II-5. Requisitos hidráulicos de diseño e instalación de la bomba de ariete.	50
Tabla III-1. Datos de aforo del manantial Yakutoccyacc	55
Tabla III-2. Calculo de la demanda de agua para la parcela de riego.	61
Tabla III-3. Longitud de tubería de impulsión en función del diámetro.....	64
Tabla III-4. Longitud de la tub. de impulsión en función de la altura de impulsión..	64
Tabla III-5. Longitud de tubería de impulsión para diferentes diámetros.....	66
Tabla III-6. Diámetro de la tubería de impulsión según el caudal de impulsión.	67
Tabla III-7. Caudal necesario para accionar la bomba ariete.....	67
Tabla III-8. Bomba de ariete hidráulico, cálculos, dimensiones y construcción.	68
Tabla III-9. Comparación de los diferentes materiales para tuberías de presión.....	68
Tabla III-10. Características técnicas de la tubería PVC– NTP 399 -002 ITINTEC	70
Tabla III-11. Calculo del diámetro de la tub. de impulsión según Hazen y Williams	71
Tabla III-12. Determinación definitiva del diámetro de la tubería de impulsión.....	71
Tabla III-13. Diámetro de tubería de entrega en función del caudal	72
Tabla III-14. Resultados de parámetros iniciales de diseño del sistema de bombeo.	77
Tabla III-15. Resultado del cálculo de diseño del sistema de bombeo.	78
Tabla III-16. Accesorios que componen el cuerpo de la bomba de ariete hidráulico.	79
Tabla III-17. Características técnicas del resorte compresión – alambre de piano....	87
Tabla III-18. Componentes de la válvula de impulsión.	91
Tabla III-19. Coeficientes de pérdidas de carga locales.	95
Tabla III-20. Elementos integrantes de la cámara de aire	105
Tabla III-21. Resultado del diseño de la bomba de ariete hidráulico.....	106
Tabla III-22. Materiales de construcción de la bomba de ariete hidráulico.....	119
Tabla III-23. Componentes instalados del sistema de bombeo.....	129

Tabla III-24. Resultados del comportamiento de los mat. del sistema de bombeo..	136
Tabla III-25. Aforo de la captación N° 01	136
Tabla III-26. Aforo de la captación N° 02	137
Tabla III-27. Datos de aforo del caudal de rebose a 40 golpes por minuto	139
Tabla III-28. Aforo del caudal de descarga a 40 golpes por minuto.....	140
Tabla III-29. Datos de aforo del caudal de rebose a 51 golpes por minuto.	141
Tabla III-30. Aforo del caudal de descarga a 51 golpes por minuto.....	142
Tabla III-31. Datos de aforo del caudal de rebose a 77 golpes por minuto	143
Tabla III-32. Aforo del caudal de descarga a 77 golpes por minuto.....	144
Tabla III-33. Resumen de resultados obtenidos de la prueba de campo	147
Tabla III-34. Eficiencia y eficacia de la bomba de ariete hidráulico	148
Tabla III-35. Costo de la instalación del sistema de bombeo.	151
Tabla IV-1. Comparación de resultados requeridos con los obtenidos.....	164

INDICE DE FIGURAS

Figura I.1. Onda de presión en el cierre instantáneo de una válvula: c es la velocidad de propagación de la onda y V la velocidad del fluido. La tubería se dilata (o se contrae) al avanzar la onda de presión (o de depresión).	6
Figura I.2. Tubería sin perturbaciones.	7
Figura I.3. Cierre instantáneo de la válvula.	8
Figura I.4. Propagación de la onda de presión.	8
Figura I.5. Llegada de la sobrepresión al estanque.	9
Figura I.6. Tubería con la parte izquierda contraída.	9
Figura I.7. Diámetro de toda la tubería normal.	9
Figura I.8. Depresión en la mitad de la tubería.	10
Figura I.9. Depresión en toda la tubería.	10
Figura I.10. Tubería con la parte izquierda en movimiento.	11
Figura I.11. Diámetro de la tubería normal.	11
Figura I.12. Valores K según la longitud de la conducción.	17
Figura I.13. Valores C según la pendiente de la conducción.	17
Figura I.14. Esquema de funcionamiento del ariete ideado por John Whitehurst	20
Figura I.15. Esquema del ariete hidráulico ideado por Joseph Michel Montgolfier, construido con el mismo principio de funcionamiento de los equipos actuales.	21
Figura I.16. Bomba de ariete hidráulico en el Palacio Taj Mahal.....	21
Figura I.17. Componentes de la bomba de ariete.	23
Figura I.18. Válvula con resorte de pletina.	25
Figura I.19. Válvula con plato perforado.	25
Figura I.20. Válvula con resorte.	25
Figura I.21. Válvula con pesas abajo.	26
Figura I.22. Válvula con pesas debajo.	26
Figura I.23. Válvula de solapa.	27
Figura I.24. Válvula tipo cabezal.	28
Figura I.25. Válvula de bisagra.	28
Figura I.26. Válvula de disco suelto.....	28
Figura I.27. Válvula de tapón.....	29
Figura I.28. Esquema de funcionamiento respecto a diferentes caudales.....	37

Figura II.1. Mapa político de la región Ayacucho, provincia y distrito de Huanta: Ubicación de la zona del proyecto	41
Figura II.2. Esquema metodológico de investigación.....	49
Figura III.1. Esquema preliminar del sistema de bombeo.....	57
Figura III.2. Esquema definitivo del sistema de bombeo.....	59
Figura III.3. Esquema de una cámara de carga	74
Figura III.4. Detalles de la cámara de carga.....	74
Figura III.5. Dimensiones del reservorio de almacenamiento.	76
Figura III.6. Detalles del dimensionamiento del reservorio.....	76
Figura III.7. Elementos del cuerpo de la bomba de ariete.	80
Figura III.8. Válvula de check horizontal con canastilla de 3 pulgadas (bronce).	82
Figura III.9. Diámetro y espesor de pie de válvula.	83
Figura III.10. Carrera máxima de la válvula de impulsión	85
Figura III.11. Esquema de características del resorte de compresión	87
Figura III.12. Resorte principal y secundario de la válvula de impulsión.	88
Figura III.13. Primera bancada manufacturado en la canastilla de broce. (e = 2mm)	89
Figura III.14. Segunda bancada centradora del vástago (e = 2mm).....	89
Figura III.15. Perno coche, tuerca y arandela.	90
Figura III.16. Esquema de la válvula de impulsión gobernada por resorte.....	90
Figura III.17. Válvula de descarga.....	91
Figura III.18. Configuración de la cámara de aire.	104
Figura III.19. Componentes de la bomba de ariete.	107
Figura III.20. Accesorios adquiridos en una ferretería local.....	108
Figura III.21. Colocación de teflón en los niples y unión roscada.....	110
Figura III.22 Montaje de niples y unión roscada a los accesorios.	110
Figura III.23. Cuerpo de la bomba de ariete construida.....	110
Figura III.24. Perforación en la canastilla de la válvula check de succión.	112
Figura III.25. Perforación de platina para la bancada central.	112
Figura III.26. Resorte y vástago de la válvula de impulsión.....	113
Figura III.27. Válvula de impulsión con resorte.	113
Figura III.28. Válvula de descarga de la bomba de ariete.....	114

Figura III.29. Tefloneado y montaje de tapón de 4" con niple de PVC de 4"x1.10m	116
Figura III.30. Disposición final de la cámara de aire.....	117
Figura III.31. Montaje de los componentes de la bomba de ariete.	117
Figura III.32. Bomba de ariete hidráulico universal de 3 pulgadas.	118
Figura III.33. Construcción final de la bomba de ariete hidráulico.	120
Figura III.34. Instalación de la línea de conducción (captación-cámara de carga)..	121
Figura III.35. Excavación y albañilería en la cámara de carga.	122
Figura III.36. Revestimiento y obra final de la cámara de carga.	122
Figura III.37. Limpieza, desbroce y excavación de zanja de la línea de impulsión.	123
Figura III.38. Instalación de tubería de impulsión.	123
Figura III.39. Excavación de plataforma de la cámara de bombeo.....	124
Figura III.40. Cámara de bombeo	125
Figura III.41. Montaje de la bomba de ariete con la tubería de impulsión.	125
Figura III.42. Fijación con abrazaderas de platina a la base de concreto.....	125
Figura III.43. Bomba de ariete hidráulico instalada.....	126
Figura III.44. Tendido de manguera HDPE de 1 ½" (50mm).	127
Figura III.45. Conexión entre la manguera HDPE y la bomba de ariete.	127
Figura III.46. Bomba de ariete interconectada a la tubería de impulsión y descarga.	128
Figura III.47. Regulación de la carrera del vástago de la válvula de impulsión.	131
Figura III.48. Llenado con agua de la cámara carga.	131
Figura III.49. Medición de la sobrepresión máxima causado por el golpe de ariete.	132
Figura III.50. Entrega de agua a 19 metros de altura respecto de la bomba de ariete hidráulico.....	133
Figura III.51. Medición de la máxima sobrepresión por golpe de ariete	135
Figura III.52. Curva N° de golpes/min - Caudal de impulsión.	148
Figura III.53. Curva N° de golpes/min - Caudal de descarga.	149
Figura III.54. Curva N° de golpes/min – Eficiencia de la bomba de ariete.	149
Figura III.55. Curva Eficiencia – Caudal de descarga	150

RESUMEN

La investigación se ejecutó en el fundo agrícola Porvenir ubicado en la comunidad de Quinrapa del distrito de Huanta con el fin de dotar agua de riego a 0.59 hectáreas. Este estudio está basado en el dimensionamiento y elección del tipo de material de los elementos integrantes de una bomba de ariete hidráulico y complementariamente de los componentes de un sistema de bombeo que usa como impulsor de agua a la bomba de ariete hidráulico; los objetivos fueron el diseño y construcción de un prototipo de bomba de ariete hidráulico eficiente y eficaz a un menor costo y con tecnología del medio local.

El diseño de la bomba de ariete hidráulico, consistió en modificaciones de la válvula de impulsión y válvula de descarga de 3 pulgadas de diámetro, las cuales a nivel de la cámara de aire generan el golpe de ariete que, dispuestas de manera estratégica aprovecha la energía del agua que ingresa a través de la tubería de impulsión de 3 pulgadas de diámetro y 20.4 metros de longitud en una caída de 6.10 metros; siendo alimentado con caudal de 247.20 l/min bombea un caudal de 42.60 l/min a través de una tubería de descarga de 1 pulgada y $\frac{1}{2}$ de diámetro, 92 metros de longitud y una altura de 19 metros donde se localiza el reservorio de almacenamiento.

La bomba de ariete hidráulico se encuentra construida mediante accesorios de acero galvanizado, bronce y HDPE; el prototipo de bomba de ariete hidráulico construido e instalado luego de su evaluación de funcionamiento se determinó que con un reglaje de 40 golpes por minuto desarrolla una eficiencia de 54% bombeando un caudal de 42.60 l/min logrando satisfacer la demanda hídrica de 39.60 l/min calculada para el cultivo de alfalfa en la parcela de 0.59 hectáreas del fundo Porvenir; el costo de este dispositivo hidráulico fue de S/. 967.50 y S/. 2,950.50 como costo total de la instalación del sistema de bombeo mediante bomba de ariete hidráulico.

Palabras clave: bomba de ariete hidráulico, válvula de impulsión, golpes por minuto, caudal de impulsión y caudal de descarga.

INTRODUCCIÓN

Campaña y Guamán, (2011) la bomba de ariete hidráulico es un dispositivo muy antiguo, patentado en el año 1796 por Joseph Montgolfier. Por medio de esta bomba es posible aprovechar un pequeño salto de agua para bombear, en forma permanente, parte del caudal de un arroyo o acequia a un nivel más elevado sin requerir otra energía externa. La bomba de ariete hidráulico fue utilizada durante más de dos siglos en muchas partes del mundo, la sencillez y su garantía hizo un éxito comercial, especialmente en Europa; pero con la difusión de la electricidad y el motor de combustión interna fueron disminuyendo su aplicación.

Rivadeneira y Silva, (2013) la bomba de ariete es un sistema de impulsión que aprovecha la energía potencial gravitatoria del agua para la elevación de una porción de la misma, mediante la transformación de la energía potencial, primero, en energía cinética y posteriormente en ondas de presión, conocidas como golpes de ariete.

El suministro de agua para las actividades de producción agropecuaria es un problema generalizado en todo el Perú, cuya infraestructura para la conducción del agua requiere de altos costos iniciales; el uso de motobombas o electrobombas implican costos permanentes de operación. Sin embargo, en la búsqueda de alternativas sostenibles de solución a estos problemas se encuentra la bomba de ariete hidráulico, un ingenioso dispositivo que permite elevar el agua a alturas mayores respecto de su ubicación inicial y sin la necesidad del uso de motores de combustión. Además en los últimos años el interés creciente sobre dispositivos de energías renovables y la conciencia de las necesidades tecnológicas de conservación del medio ambiente motivan a reevaluar la aplicación de la bomba de ariete.

En el valle de Huanta, específicamente en la comunidad de Quinrapa, existen grandes extensiones de terreno agrícola carentes de agua de riego. Para ampliar la frontera agrícola los productores agrarios optan por el uso de motobombas convencionales a fin de suministrar agua hacia las parcelas agrícolas, lo que obliga el uso de combustibles como petróleo, gasolina y lubricantes implicando un costo permanente que afecta la economía del productor agrario, además generando gran cantidad de emisión de dióxido de carbono (CO_2) al medio ambiente; el diseño adoptado del sistema de bombeo mediante la bomba de ariete hidráulico aprovecha la energía hidráulica en el desnivel topográfico, obviándose así el uso de combustibles convencionales para su funcionamiento. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo: Diseñar y construir una bomba de ariete hidráulico con tecnología del medio y evaluar la eficiencia y eficacia con fines de riego en el fundo Porvenir de la comunidad de Quinrapa del distrito de Huanta.

I. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Paredes y Tuquinga, (2012) Paredes Godoy, María Magdalena y Tuquinga Guamán, Rosa Matilde desarrollaron en el año 2012 la Tesis titulado: “Diseño e instalación de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en la comunidad de Airón Cebadas” con la finalidad de abastecer agua a la comunidad Airón Cruz Alto ubicada en la parroquia Cebadas Cantón Guamote de la provincia de Riobamba en el país de Ecuador, y fue presentada a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo del Ecuador. Obtuvieron un sistema de bombeo que cuenta con un caudal disponible de 4 l/s y una altura disponible de 17 m. donde la bomba de ariete hidráulico en su funcionamiento óptimo eroga un caudal de 13.2 l/min, desarrollando una eficiencia del 45%, con una carrera de la válvula de impulso de 20mm, 70 golpeteos al minuto y una altura de descarga de 170 m.

Campana y Guamán, (2011) Cristian N. Campana Calero y Darwin A. Guamán Alarcón en el año 2011 desarrollaron el trabajo de investigación denominado “Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico” con la finalidad de abastecer agua a una propiedad ubicada en la zona de Calacali en Quito - Ecuador, dicho trabajo fue presentado a la Escuela Politécnica Nacional de Quito – Ecuador; en la que diseñaron y construyeron una bomba de ariete con métodos de soldadura, resultando su construcción muy simple y de bajo costo, y que trabaja bajo un régimen de 45 a 50 golpes por minuto, lo que compararon con la frecuencia de las bombas de ariete Blake que tienen de 40-75 golpes por minuto y concluyeron que el hydram que desarrollaron se encuentra dentro del rango óptimo resultando funcional.

Barney, et al. (2012). Los estudiantes de la Facultad de ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones de la ciudad de Oberá – Argentina, realizaron un proyecto multidisciplinario en base a la bomba de ariete hidráulico construida por el Ing. E. Barney en el año 2011, con el objeto de obtener un nuevo diseño y desarrollo de la válvula de ariete, elaborando con materiales resistentes a la corrosión y al desgaste; como así también la construcción general de la bomba utilizando materiales disponibles en ferreterías de la zona. Cuyos resultados lo presentaron en términos de características de diseño y construcción; curva de rendimiento y recomendaciones para obtener su mejor prestación. Concluyeron que el nuevo diseño troncocónico de la válvula favoreció al buen funcionamiento, alcanzando un rendimiento del 60%.

1.2 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

1.2.1. HIDRÁULICA

Nekrasov, (1968) una de las ramas de aplicación de la mecánica de los fluidos es la hidráulica y que se define generalmente como la ciencia que trata sobre las leyes del equilibrio y movimiento de los líquidos, y la aplicación de dichas leyes a la solución de problemas prácticos. De modo que se puede decir que en la hidráulica se estudian, principalmente, las corrientes interiores de los líquidos y se resuelve el problema “interior”, a diferencia del problema “exterior” ligado con el flujo exterior de un medio continuo por la superficie de los cuerpos, lo que tiene lugar durante el movimiento de un cuerpo sólido en un líquido o en un gas (aire).

1.2.2. ENERGÍA HIDRÁULICA

Rivadeneira y Silva, (2013) la energía hidráulica es aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinéticas y potenciales de la corriente del agua, saltos de agua o mareas.

1.2.3. ENERGÍA CINÉTICA

Rivadeneira y Silva, (2013) dentro de la hidráulica, esta energía se define como el trabajo necesario para acelerar un fluido de una masa determinada desde el reposo hasta una determinada velocidad.

1.2.4. ENERGÍA POTENCIAL

Rivadeneira y Silva, (2013) la energía potencial es la energía que tiene un cuerpo situado a una determinada altura sobre el suelo.

1.2.5. BOMBA HIDRÁULICA

Nekrasov, (1968) la bomba hidráulica es una máquina que realiza el traslado del líquido mediante la impulsión y la aspiración. Transforma la energía mecánica de un motor u otra clase de dispositivo en energía para el líquido, es decir la bomba comunica potencia al líquido que fluye a través de esta. En general, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud.

1.3 GOLPE DE ARIETE

1.3.1. PRINCIPIO BÁSICO DEL GOLPE DE ARIETE

Rivadeneira y Silva, (2013) en la mayoría de los casos la existencia del fenómeno de golpe de ariete significa un problema no deseado en muchos de los sistemas de transporte de fluido, el mismo que puede causar sobre presiones y hasta roturas en los sistemas. El golpe de ariete se refiere a las fluctuaciones de presión causadas por un repentino incremento o disminución de la velocidad del flujo. Estas fluctuaciones de presión pueden ser lo suficientemente severas como para romper la tubería de agua. Los problemas potenciales del golpe de ariete pueden ser considerados al evaluarse el diseño de las tuberías y cuando se realiza un análisis detallado de las oscilaciones de presión, en muchos casos para evitar malos funcionamientos y reparaciones en el sistema de distribución.

A pesar de que este fenómeno es un problema no deseado en conductos cerrados, se puede obtener valiosas ventajas al almacenar cierta presión en sistemas de tuberías

que, dependiendo del enfoque técnico, pueden resultar en una magnífica alternativa para el transporte de fluidos.

El principio del golpe de ariete se aprovecha en una máquina simple para elevar agua, llamada bomba de ariete hidráulico.

1.3.2. DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO FÍSICO GOLPE DE ARIETE

a. Golpe de Ariete el fenómeno físico

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

Este fenómeno se produce en los conductos al cerrar o abrir una válvula, al poner en marcha o parar una máquina hidráulica o también al disminuir bruscamente el caudal.

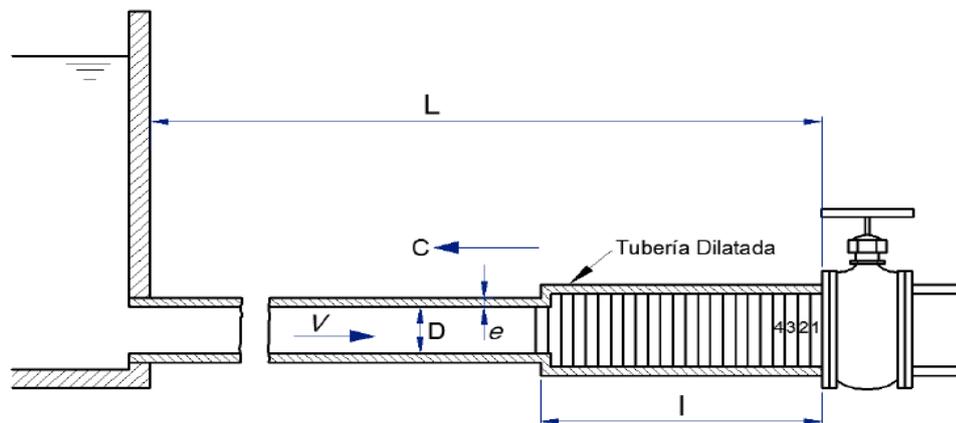


Figura I.1. Onda de presión en el cierre instantáneo de una válvula: c es la velocidad de propagación de la onda y V la velocidad del fluido. La tubería se dilata (o se contrae) al avanzar la onda de presión (o de depresión).

Fuente: Claudio Mataix (1986).

La Figura I.1 representa una tubería de longitud (L), espesor (e) y diámetro interior (D) por la que circula agua proveniente de un embalse y que termina en su extremo derecho en una válvula. Si se cierra ésta rápidamente, en virtud del principio de conservación de energía, al disminuir la energía cinética, ésta se va transformando en un trabajo de compresión del fluido que llena la tubería y en el trabajo necesario para

dilatar esta última: se ha producido una sobrepresión, o un golpe de ariete positivo. Por el contrario, al abrir rápidamente una válvula se puede producir una depresión, o golpe de ariete negativo.

b. Explicación del fenómeno golpe de ariete

Mataix, (1986) aunque es físicamente imposible cerrar una válvula instantáneamente, el estudio inicial del caso de cierre instantáneo ayuda al estudio de los casos reales.

Al cerrarse por completo instantáneamente la válvula de la Figura I.1, si dividimos 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 continuación la 2, 3, 4, etc.; necesitando un cierto tiempo. Es decir, en la válvula se ha originado una onda de presión que se propaga con velocidad C , la cual en el instante considerado tiene dirección contraria a la velocidad V del fluido: se ha creado una onda elástica o sea una onda de presión que se propaga por la tubería, se refleja en el embalse, vuelve a la válvula, de nuevo al embalse, y así sucesivamente; originando sobrepresiones y depresiones en la tubería, la cual se dilata o contrae al paso de la onda. Siendo C la velocidad de la onda y L la longitud de la tubería, el tiempo que tarda la onda en recorrer una vez la distancia entre la válvula y el embalse es $t_0 = \frac{L}{C}$

Consideremos en la Figura I.1 una serie de acontecimientos en la tubería durante un periodo $T = \frac{4L}{C}$.

1º. *No hay perturbación.* Régimen permanente. El líquido en la tubería se desplaza con velocidad V del embalse a la válvula. Diámetro de la tubería normal. Ver Figura I.2.

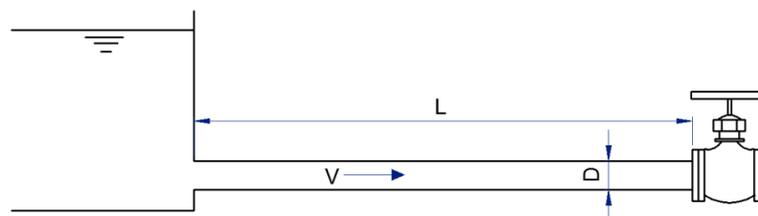


Figura I.2. Tubería sin perturbaciones.
Fuente: Claudio Mataix (1986).

2°. *Tiempo 0*. La válvula se cierra instantáneamente. La velocidad del líquido se anula a partir de la válvula, no instantáneamente, en toda la tubería. Ver figura I.3.

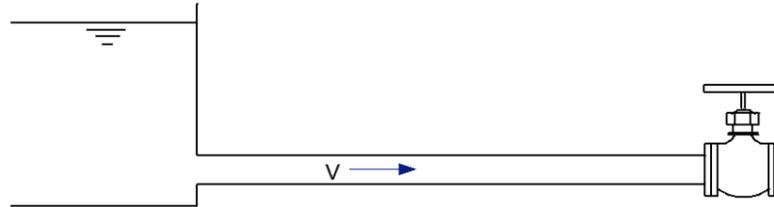


Figura I.3. Cierre instantáneo de la válvula.
Fuente: Claudio Mataix (1986).

3°. *Tiempo* $\frac{t_0}{2} = \frac{1}{2} \frac{L}{C}$. La onda de presión se ha propagado hacia el embalse con celeridad C , y el frente de onda ha llegado a la mitad de la tubería. Mitad derecha de la tubería dilatada por la sobrepresión. Mitad izquierda, diámetro normal. En esta mitad izquierda el agua sigue circulando con la V hacia la válvula. En la mitad derecha, $V = 0$. Ver figura I.4.

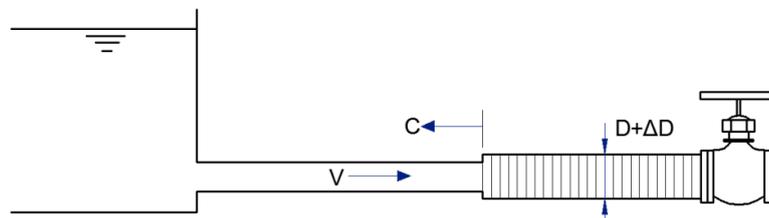


Figura I.4. Propagación de la onda de presión.
Fuente: Claudio Mataix (1986).

4°. *Tiempo* $t_0 = \frac{L}{C}$. La onda de presión ha llegado al embalse. En toda la tubería el líquido está en reposo, $V = 0$, pero no en equilibrio. Toda la tubería está dilatada. Como un resorte que se expande, el agua en la tubería comienza a moverse con velocidad V , pero dirigida en sentido contrario al de la figura I.2. El líquido empieza a ponerse en movimiento comenzando, por decirlo así, por las rodajas contiguas al estanque, ver figura I.5.

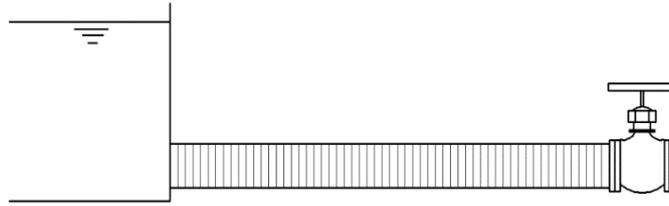


Figura I.5. Llegada de la sobrepresión al estanque.
Fuente: Claudio Mataix (1986).

5°. *Tiempo* $\frac{3}{2}t_0 = \frac{3L}{2C}$. La mitad izquierda de la tubería se ha contraído a su diámetro normal. La onda sigue propagándose hacia la derecha con velocidad C . En la mitad izquierda de la tubería el fluido circula con la velocidad V . ver figura I.6.

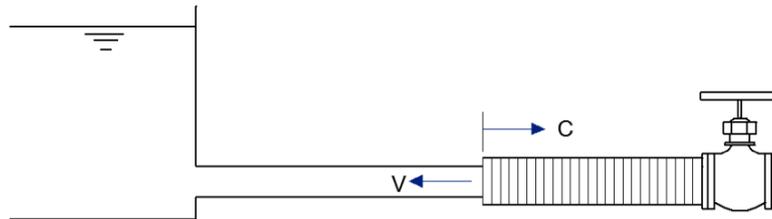


Figura I.6. Tubería con la parte izquierda contraída.
Fuente: Claudio Mataix (1986).

6°. *Tiempo* $2t_0 = \frac{2L}{C}$. Diámetro de toda la tubería normal. Todo el fluido de la tubería en movimiento desde la válvula hacia el embalse con velocidad V ; o sea en dirección contraria a la figura I.2, I.3 y I.4. No hay sobrepresión en ninguna parte de la tubería; pero por la inercia la presión continua disminuyendo, la onda elástica se sigue propagando, ahora con depresión desde la válvula hacia el embalse con la velocidad C ; el diámetro de la tubería ira disminuyendo por debajo de su diámetro normal. Ver figura I.7.

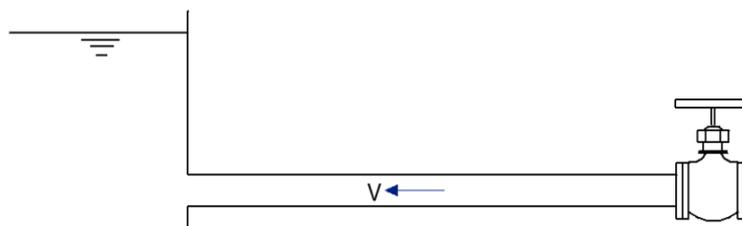


Figura I.7. Diámetro de toda la tubería normal.
Fuente: Claudio Mataix (1986).

7°. *Tiempo* $\frac{5}{2}t_0 = \frac{5L}{2C}$. La depresión ha alcanzado la mitad de la tubería. La mitad derecha de la tubería contiene agua en reposo y a una presión por debajo de la normal. El diámetro de la tubería en esta mitad es inferior al normal. Ver figura I.8.

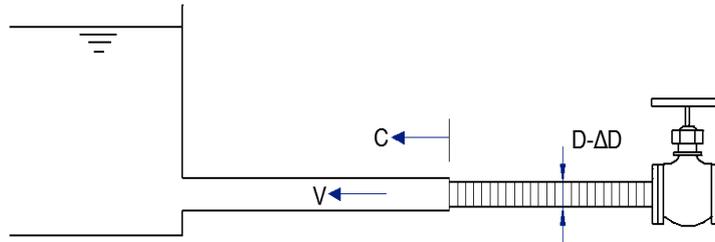


Figura I.8. Depresión en la mitad de la tubería.
Fuente: Claudio Mataix (1986).

8°. *Tiempo* $3t_0 = 3\frac{L}{C}$. El agua en toda la tubería está en reposo; pero no en equilibrio, y el agua inicia su movimiento desde el embalse a la válvula con velocidad V dirigida hacia la derecha. La depresión reina en toda la tubería. El diámetro de toda la tubería es inferior al normal, ver figura I.9.



Figura I.9. Depresión en toda la tubería.
Fuente: Claudio Mataix (1986).

9°. *Tiempo* $\frac{7}{2}t_0 = \frac{7L}{2C}$. En la mitad izquierda de la tubería el fluido está en movimiento con velocidad V hacia la válvula. En la mitad derecha el líquido continúa en reposo y en depresión. El diámetro de la parte izquierda es normal. El diámetro de la mitad derecha es menor que el normal; C y V tienen el mismo sentido. Ver figura I.10.

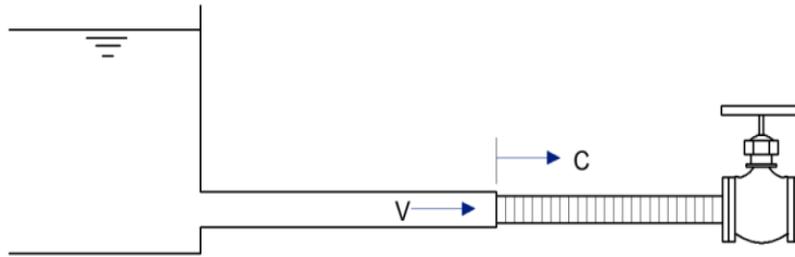


Figura I.10. Tubería con la parte izquierda en movimiento.
Fuente: Claudio Mataix (1986).

- 10°. *Tiempo* $4t_0 = 4\frac{L}{c}$. Diámetro de la tubería normal. Todo el fluido en movimiento con velocidad V hacia la válvula. Todo igual que en el tiempo 0. Ver figura I.11. Luego el periodo de este movimiento es:

$$T = 4t_0 = 4\frac{L}{c} \quad \text{Ec. (1.1)}$$

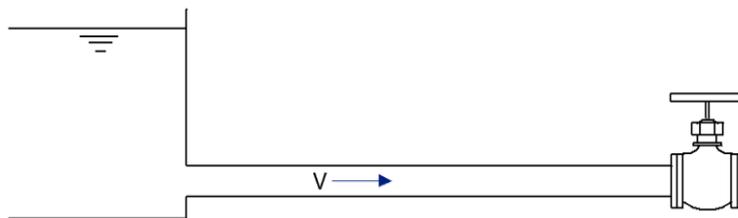


Figura I.11. Diámetro de la tubería normal.
Fuente: Claudio Mataix (1986).

Teóricamente este movimiento oscilatorio continúa indefinidamente. *Prácticamente* la deformación de la tubería y la viscosidad del líquido disipa energía y las oscilaciones se amortiguan.

1.3.3. FÓRMULAS DE LA PRESIÓN MÁXIMA O SOBREPRESIÓN

Mataix, (1986) el estudio del golpe de ariete fue hecho en primer lugar por Joukovsky, mientras que la solución completa del problema fue dada por Allievi.

El cálculo de la sobrepresión depende del tiempo de cierre t_c de la válvula. El cierre puede ser:

- *Instantáneo*: $t_c = 0$ Caso teórico, físicamente imposible; pero muy interesante porque explica la esencia del fenómeno.

- *Rápido*: $0 < t_c < 2t_0 = 2\frac{L}{c} = \frac{T}{2}$. La presión máxima es la misma que en el cierre instantáneo; aunque la curva de presiones en la tubería en función del tiempo sea distinta. En el cierre rápido una onda de presión no tiene tiempo de ir al estanque, reflejarse y volver a la válvula, antes de que termine medio ciclo.
- *Lento*: $t_c > 2t_0 = 2\frac{L}{c} = \frac{T}{2}$. La presión máxima es menor que en los dos casos precedentes, porque la depresión de la onda elástica llega a la válvula antes de que se complete el medio ciclo e impide el aumento ulterior de la presión.

a. Presión máxima en cierre total o parcial instantáneo de la válvula en una tubería elástica.

Mataix, (1986) supongamos (figura I.1) que el cierre de la válvula es instantáneo. El fluido se decelera, lo que da lugar a una fuerza de inercia, F_i , siendo:

$$F_i = -m \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \text{Ec. (1.2)}$$

Donde Δt no es el tiempo de cierre de la válvula (por hipótesis $t_c = 0$); sino el tiempo finito que ha transcurrido para que una cierta masa $m = \rho l A$ de fluido que ocupa una longitud finita de tubería l reduzca su velocidad un cierto valor finito Δv .

En el cierre total:

$$\Delta v = -v \quad \text{Ec. (1.3)}$$

En el cierre parcial:

$$\Delta v = v' - v \quad \text{Ec. (1.4)}$$

Donde v' es la velocidad final del fluido.

Llevando los valores de las Ec. (1-3) y Ec. (1-4), tendremos:

En cierre total:

$$F_i = \rho l a \frac{v}{\Delta t} \quad \text{Ec. (1.5)}$$

En cierre parcial:

$$F_i = \rho l A \frac{(v-v')}{\Delta t} \quad \text{Ec. (1.6)}$$

Donde l es la longitud recorrida por la onda elástica a partir de la válvula en el tiempo Δt (véase la figura I.1).

Por otra parte la sobrepresión será:

$$\Delta p = \frac{F_i}{A} \quad \text{Ec. (1.7)}$$

Siendo, evidentemente:

$$c = \frac{l}{\Delta t} \quad \text{Ec. (1.8)}$$

La velocidad de propagación o celeridad de la onda, llevando por tanto los valores de las ecuaciones (1.7) y (1.8) a las ecuaciones (1.5) y (1.6) obtendremos finalmente la FORMULA DE JOUKOWSKI:

Sobrepresión en cierre instantáneo total de la válvula.

$$\Delta p = \rho c v \quad \text{Ec. (1.9)}$$

Sobrepresión en cierre instantáneo parcial de la válvula.

$$\Delta p = \rho c (v - v') \quad \text{Ec. (1.10)}$$

a.1 Velocidad de la onda de presión

Mataix, (1986) Joukowski, además, descubrió la formula siguiente, que permite calcular la celeridad de la onda de presión c en una tubería:

$$c = \frac{\sqrt{\frac{E_0}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{E_0 D}{E \delta}}} \quad \text{Ec. (1.11)}$$

Dónde:

c = celeridad onda elástica del fluido en tubería (m/s).

E_0 = 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.

δ = espesor de la tubería (m).

El numerador de la Ec. (1-11), como se demuestra en física, es la celeridad de la onda elástica en el fluido. En el agua:

$$c_0 = \sqrt{\frac{E_0}{\rho}} = 1,425 \frac{m}{s} \quad \text{Ec. (1.12)}$$

b. Presión máxima en cierre lento uniforme total de una válvula en una tubería rígida.

Mataix, (1986) en el cierre lento supondremos en primera aproximación para simplificar que la tubería es rígida, o sea indeformable, y que el cierre de la válvula es uniforme.

Consideremos la fuerza de inercia debida a la deceleración del fluido que circula por una tubería de sección A , longitud L con velocidad v en el tiempo de cierre de la válvula t_c :

$$F_i = -m \frac{dv}{dt} = -\rho AL \frac{dv}{dt} \quad \text{Ec. (1.13)}$$

Y análogamente al caso anterior $\Delta p = \frac{F_i}{A}$ y

$$\Delta p = -\rho L \frac{dv}{dt}$$

Pero:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{0-v}{t_c} = -\frac{v}{t_c} \quad (\text{Movimiento uniforme})$$

Luego:

$$\Delta p = \frac{\rho Lv}{t_c} \quad \text{Ec. (1.14)}$$

Modificando esta fórmula con el coeficiente k comprendido entre 1 y 2 (normalmente inferior a 1,5) para tener en cuenta el efecto de la elasticidad de la tubería, no incluido en la Ec. (1-14) tendremos la fórmula de la SOBREPRESION EN CIERRE LENTO DE UNA VALVULA:

$$\Delta p = k \frac{\rho Lv}{t_c} \quad \text{Ec. (1.15)}$$

De la Ec. (1-15) se deducen las siguientes consecuencias prácticas, el peligro del golpe de ariete de una instalación es tanto mayor:

- Cuando mayor sea la longitud de la tubería.
- Cuando mayor sea la velocidad del líquido en la tubería.
- Cuando más rápido sea el cierre de la válvula.

1.3.4. CÁLCULO DE LA SOBREPRESIÓN Y DEPRESIÓN GENERADA POR EL GOLPE DE ARIETE

Oliveras, (2015) el golpe de ariete no es más que una oscilación que se produce en el fluido interior de una conducción a presión, la cual provoca en su interior sobrepresiones y depresiones. Calcular el golpe de ariete no es más que calcular un incremento de presión, pero para ello se debe conocer previamente tres características de la instalación que se esté estudiando, tales como son:

Primero: Calculo de la frecuencia de propagación de la onda de presión

Como cualquier efecto oscilatorio el fenómeno del golpe de ariete presenta una frecuencia en la que se repite una situación, en este caso la sobrepresión o depresión de la onda que se desplaza de un extremo al otro de la instalación.

La frecuencia no es más que el inverso del periodo, que es el tiempo transcurrido entre dos puntos equivalentes de la onda, es decir entre dos máximos o dos mínimos, con lo cual el periodo (y la frecuencia) dependerán de lo larga que sea la conducción de la instalación y de su celeridad, que es la velocidad de propagación de la onda de presión a través del agua del interior de la tubería.

De este modo, hay que calcular la siguiente relación:

$$T = \frac{2L}{a} \quad \text{Ec. (1.16)}$$

Dónde:

L = Longitud total en metros de la conducción de la instalación (m).

a = Celeridad de la conducción (m/s).

La celeridad depende de las características físicas de la conducción: material y dimensiones y se calcula con la siguiente expresión, propuesta por Allievi en la teoría general del movimiento variado en tuberías:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + K \cdot \frac{D}{e}}} \quad \text{Ec. (1.17)}$$

Siendo:

a = Celeridad (m/s)

D = Diámetro exterior de la conducción (en mm).

e = Espesor de la conducción (en mm)

K = Coeficiente representativo de la elasticidad del material de la conducción en kg/m², y que es función del módulo de elasticidad del mismo a través de la expresión:

$$K = \frac{10^{10}}{\varepsilon} \quad \text{Ec. (1.18)}$$

En la que ε es el módulo de elasticidad del material de la conducción, cuyos valores de referencia son los siguientes:

Tabla I-1. Módulo de elasticidad del material de la conducción.

Material	$\varepsilon(\text{kg/m}^2)$
Fundición	17×10^9
Acero	21×10^9
Hormigón	3×10^9
PVC-U	3×10^8
PE	10^8
PRFV	2×10^9

Fuente: Jordi Oliveras (2015).

Segundo: Calculo del tiempo de parada del agua

La siguiente característica de la instalación a determinar es el tiempo que dura la variación de velocidad, es decir, el que transcurre desde el corte de energía y la anulación del caudal o el tiempo de parada del agua. A partir de estudios teóricos y experimentales, el doctor Enrique Mendiluce propuso una expresión que es la que se usa comúnmente para establecer ese tiempo de parada del agua, principalmente para impulsiones, y que es la siguiente:

$$T = C + \frac{K \cdot L \cdot v}{g \cdot H_m} \quad \text{Ec. (1.19)}$$

Siendo:

T = Tiempo de parada en segundos.

L = Longitud de la conducción de la instalación en m.

V = Velocidad de circulación del agua en la instalación en m/s.

g = Constante de la gravedad (9.8 m/s²).

H_m = Altura manométrica de la instalación (m).

C = coeficiente según la pendiente de la conducción

K = Valor que depende de la conducción

Los valores de K y C son coeficientes de ajuste determinados experimentalmente determinados experimentalmente, y que responden a las siguientes relaciones gráficas:

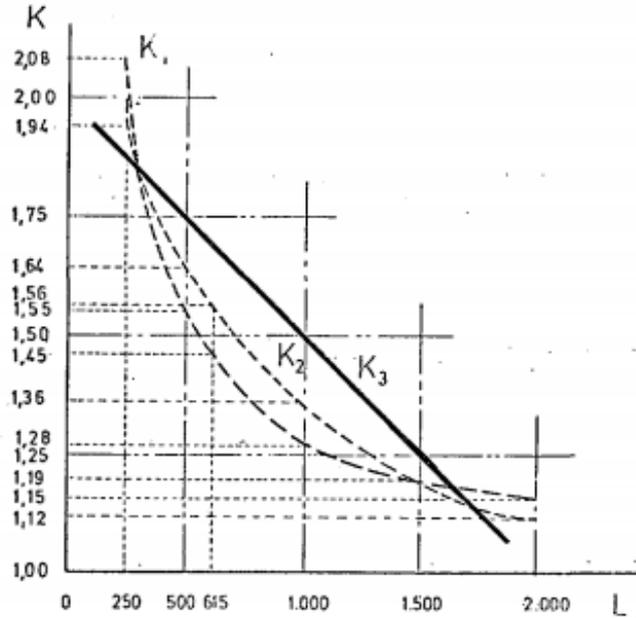


Figura I.12. Valores K según la longitud de la conducción.
Fuente: Jordi Oliveras (2015).

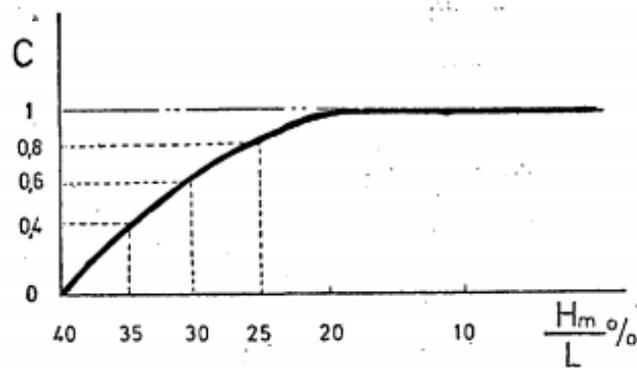


Figura I.13. Valores C según la pendiente de la conducción.
Fuente: Jordi Oliveras (2015).

El coeficiente K representa la inercia del equipo de bombeo, en función de la cinética del agua, en el instante del corte de energía, y cuyos valores redondeados recomendados para una mayor facilidad de aplicación de la fórmula son los siguientes:

Tabla I-2. Valores del coeficiente K.

L(m)	K
< 500	2
≈ 500	1,75
500 < L < 1500	1,5
≈ 1500	1,25
> 1500	1

Fuente: Jordi Oliveras (2015).

El coeficiente C suple el efecto de otras energías en el cálculo (como la de descompresión del agua, por ejemplo) y que influyen en instalaciones de pendientes bajas. En función de la pendiente hidráulica de la instalación, se recomiendan los siguientes valores.

Tabla I-3. Valores del coeficiente C.

i	C
< 20%	1
≈ 25%	0,8
≈ 30%	0,6
≈ 40%	0,4
> 50%	0

Fuente: Jordi Oliveras (2015).

Tercero: Cálculo de la longitud crítica de la instalación

En relación con la velocidad de propagación de la onda y el tiempo de parada del agua, puede determinarse una tercera característica de la instalación: su longitud crítica, la cual es sencilla de obtener a través de la expresión:

$$L_c = \frac{aT}{2} \quad \text{Ec. (1.20)}$$

Dónde:

L_c = Longitud crítica en metros.

T = Tiempo de parada en segundos.

a = Celeridad en m/s.

Cuarto: Cálculo de la sobrepresión o depresión generada por el golpe de ariete

¿Y por qué es necesario saber de antemano la frecuencia de propagación de la onda de presión, el tiempo de parada del agua y la longitud crítica de la instalación? pues

porque, en función de la relación entre esas variables se procederá a calcular el golpe de ariete, en definitiva el incremento de presión, mediante una fórmula u otra.

– **Para tiempos de parada o maniobras de cierre lentos o instalaciones cortas**

Esto significa que el tiempo de parada del agua es mayor que la frecuencia (o periodo) de propagación de la onda, o que la longitud de la instalación es menor que la longitud crítica. Para este caso la fórmula que se aplica para calcular el golpe de ariete y obtener el incremento de presión producido es la propuesta por Michaud.

Si $L < L_C$ (impulsión corta o cierre lento) o $T > \frac{2.L}{a}$ entonces se aplicará la fórmula de Michaud:

$$\Delta H = \frac{2 \cdot L \cdot V}{g \cdot T} \quad \text{Ec. (1.21)}$$

Siendo:

ΔH = Incremento del golpe de ariete o sobrepresión (m.c.a.).

L = Longitud real de la conducción (m.)

V = Velocidad de circulación del agua en la instalación en m/s.

g = Aceleración de la gravedad (9,8 m/s²)

T = Tiempo de parada en segundos.

En este caso, la presión máxima se dará única y exclusivamente en el ámbito del elemento que ha generado el golpe de ariete (en la válvula de cierre o en la válvula antiretorno del bombeo), y en ningún punto más de toda la longitud de la instalación se dará esa presión máxima.

– **Para tiempos de parada o maniobras de cierre rápidos o instalaciones largas**

Es decir, en aquellas en las que el tiempo de parada del agua es menor que el periodo de propagación de la onda, o que su longitud es mayor que la longitud crítica. En esta circunstancia aplicará la fórmula de Allievi para valorar el incremento de presión:

Si $L > L_C$ (impulsión larga o cierre rápido) o $T < \frac{2L}{a}$ entonces; se aplicará la fórmula de Allievi:

$$\Delta H = \frac{a \cdot V}{g} \quad \text{Ec. (1.22)}$$

Siendo:

ΔH = Incremento del golpe de ariete o sobrepresión (m.c.a.).

L = Longitud real de la conducción (m.)

V = Velocidad de circulación del agua en la instalación en m/s.

g = Aceleración de la gravedad (9,8 m/s²)

Aquí la presión máxima se dará en algún punto a lo largo de la conducción que quede fuera del tramo de la instalación incluida en la longitud crítica.

Como ves, en este caso el incremento de presión no depende de la longitud.

1.4 BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO

1.4.1. RESEÑA HISTÓRICA DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO

Gutiérrez y Mancebo, (2013) mencionan que el ingenio construido por el inglés John Whitehurst en 1772, se basaba en un principio de funcionamiento novedoso. Accionando manualmente un grifo en una tubería conectada a un depósito de abasto, situado a un nivel superior, provocaba un golpe de ariete que permitía elevar el líquido hasta un depósito colocado a una altura superior al depósito de alimentación.

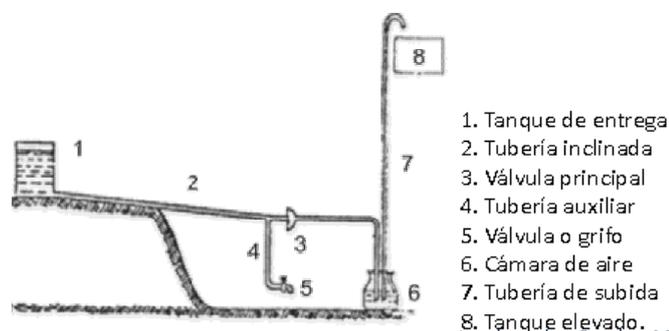


Figura I.14. Esquema de funcionamiento del ariete ideado por John Whitehurst

Fuente: Luis Lorenzo Gutiérrez y José Antonio Mancebo (2013).

En 1776 el francés Joseph Michel Montgolfier concibió un ariete automático, construido siguiendo el mismo principio que los equipos actuales, al que denominó

“le belier hydraulique”. Este prototipo fue luego perfeccionado y finalmente patentado en 1796. Desde entonces el ariete hidráulico ha tenido una amplia difusión por todo el mundo.

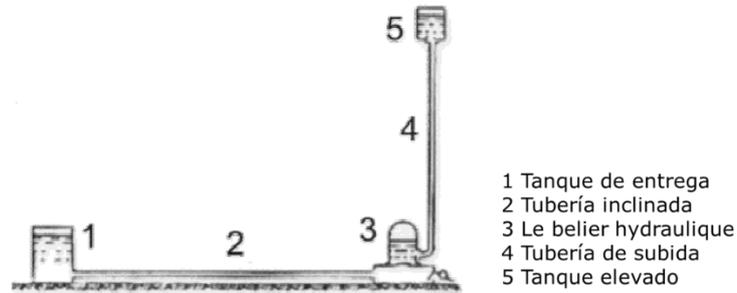


Figura I.15. Esquema del ariete hidráulico ideado por Joseph Michel Montgolfier, construido con el mismo principio de funcionamiento de los equipos actuales.
Fuente: Luis Lorenzo Gutiérrez y José Antonio Mancebo (2013).

Fue utilizado para alimentar a las famosas fuentes del Taj Mahal en la India y en el Ameer de Afganistán. En Francia también se utilizó la Bomba de Ariete para abastecer de agua a algunas fuentes.

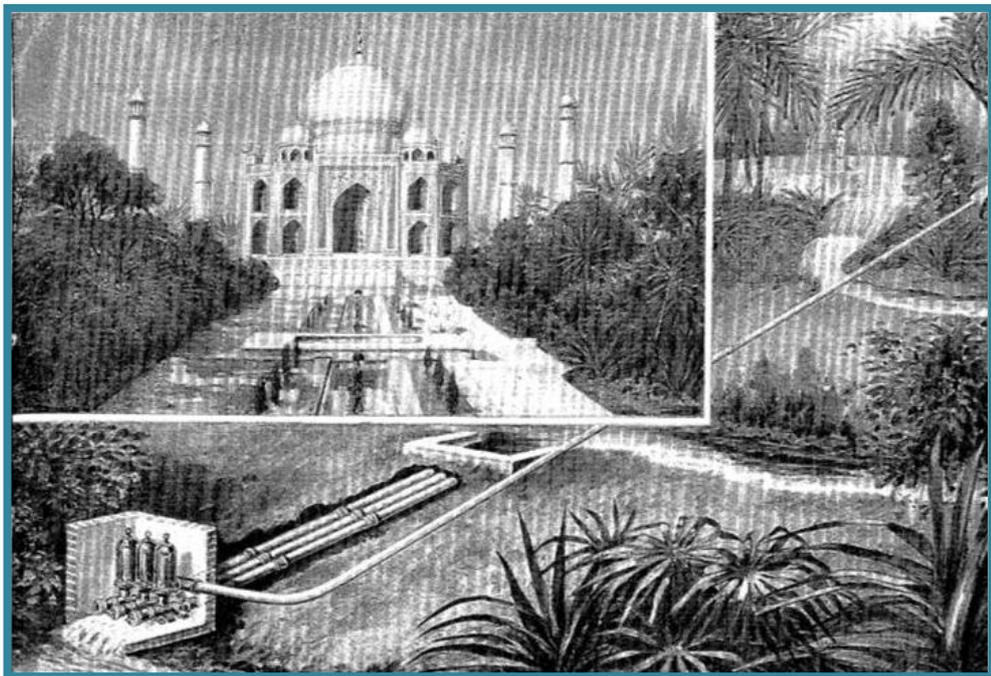


Figura I.16. Bomba de ariete hidráulico en el Palacio Taj Mahal.
Fuente: Gutiérrez y Mancebo (2013).

La primera bomba de ariete como se conoce hoy, fue inventada en 1796 por el francés Joseph Michel Montgolfier (más conocido como co-inventor del globo aerostático) para elevar el agua en su fábrica de papel en Voiron. Su amigo Matthew

Boulton sacó una patente británica a su nombre en 1797. Los hijos de Montgolfier obtuvieron una patente británica para una versión mejorada en 1816, y esta fue adquirida, junto con el diseño de Whitehurst, en 1820 por Josiah Easton, un ingeniero nacido en Somerset que acababa de mudarse a Londres.

La firma de Easton, heredada por su hijo James (1796–1871), creció durante el siglo XIX hasta convertirse en uno de los fabricantes de ingeniería más importantes en el Reino Unido, con grandes obras en Erith, Kent. Se especializaron en el suministro de agua y alcantarillado en todo el mundo, así como en proyectos de drenaje de tierra. Durante el siglo XIX la bomba de ariete se popularizó mucho pero con la llegada de la electricidad y los motores de bajo coste, había caído en desuso.

Rivadeneira y Silva, (2013) mencionan que un simple salto en el curso de un río y una bomba de ariete hidráulico, permiten elevar el agua, a una altura varias veces superior al desnivel del cauce, sin recurrir a fuentes energéticas fósiles, eléctricas o nucleares.

Asimismo, indican que el ariete hidráulico irrumpe en la historia, al principio de la era de los grandes inventos y alcanzó la adultez paralelamente a las máquinas de vapor y el motor de combustión interna.

1.4.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LAS BOMBAS DE ARIETE HIDRÁULICO

Rivadeneira y Silva, (2013) sintetizan el principio de funcionamiento de la bomba de ariete en el esquema que se ilustra en la figura I.17. La operación se basa en la conversión de la energía de velocidad del agua que fluye en energía de elevación. El agua fluye desde la fuente a través del tubo de accionamiento (A) y escapa a través de la válvula de desagüe (B) hasta que se acumula la presión suficiente para cerrar la válvula de desagüe. Después, el agua 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 agua a presión alcanza el equilibrio con el aire atrapado, rebota, haciendo que la válvula de descarga (C) cierre. El agua 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, permitiendo que la válvula de desagüe (B) se abra iniciando así un nuevo ciclo.

El ciclo se repite entre 20 y 100 veces por minuto, dependiendo de la velocidad de flujo. Si se instala correctamente, un ariete hidráulico operará en forma continua con un mínimo de atención, siempre que el suministro de agua que fluye sea continuo y el exceso de agua se derrame fuera de la bomba.

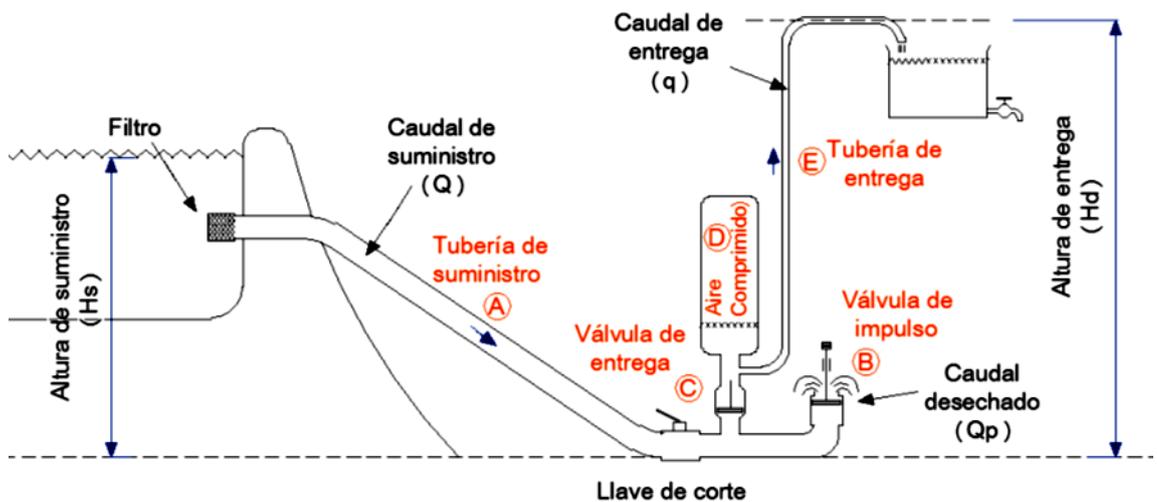


Figura I.17. Componentes de la bomba de ariete.
Fuente: Rivadeneira y Silva (2013).

1.4.3. COMPONENTES DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO

La bomba de ariete hidráulico sin considerar su morfología ni sus dimensiones se compone de cinco partes fundamentales:

- Cuerpo del ariete.
- Válvula de impulso.
- Válvula de descarga.
- Cámara de presión o cámara de aire.
- Válvula de aire.

a. Cuerpo del ariete

Sierra y Biancha, (2012) el cuerpo del ariete básicamente es el elemento que alberga los componentes que hacen posible el funcionamiento de esta bomba, el parámetro de diseño y selección del cuerpo del ariete más importante es la ubicación relativa de las válvulas de impulso y descarga dado que estas son las encargadas de crear la sobrepresión y de permitir el paso del fluido hacia la descarga respectiva.

Rivadeneira y Silva, (2013) el cuerpo del ariete es estructuralmente simple, constituido por una caja de válvulas la cual puede estar formada por un té y un codo, una unidad ensamblada cuyos elementos puede estar unida por pernos, tornillos, elementos roscados o mediante soldadura según los recursos, tecnificación y complejidad para la misma. Es la parte donde se produce la propagación de la onda de presión, donde se ubican la válvula de impulso y la válvula de entrega.

b. Válvula de impulso

Rivadeneira y Silva, (2013) esta válvula es una de las partes más sensibles e importantes de la bomba de ariete, la correcta selección y buen diseño de esta, garantizará la máxima eficiencia en el funcionamiento del dispositivo. Constituye la parte móvil más importante y determinante en el funcionamiento del equipo. Es la encargada de producir el golpe de ariete debido al cierre brusco que se produce por el efecto del incremento de la velocidad del agua. Esta válvula permite regular la cantidad de agua que penetra en la cámara de aire, esto se logra al variar el número de golpes por minutos.

Tipos de válvulas de impulso

b.1. Válvula con resorte de pletina

Watt, (1981) la válvula de pletina es netamente artesanal consta de materiales de fácil adquisición como son tubos, planchas, pletinas y pernos. Es de fácil construcción y se la puede fabricar en cualquier taller mecánico con un mínimo de herramientas, ver figura I.18.

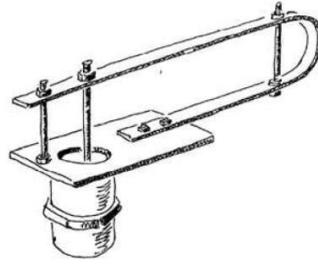


Figura I.18. Válvula con resorte de pletina.
Fuente: S.B Watt (1981).

b.2. Válvula con plato perforado

Rivadeneira y Silva, (2013) esta válvula posee un plato perforado de geometría variable y compleja junto a un material que tiene una gran flexibilidad, resistencia al desgaste y alta tolerancia a la fatiga. Material con estas características es a la vez costoso y poco accesible en los países en desarrollo, su construcción es complicada y su vida útil es muy corta, ver figura 1.19.

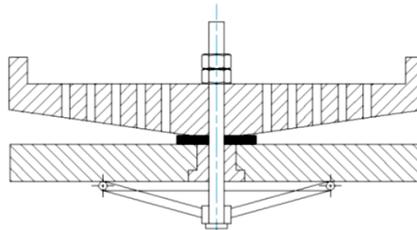


Figura I.19. Válvula con plato perforado.
Fuente: Rivadeneira y Silva (2013).

b.3. Válvula regulada con resorte

Rivadeneira y Silva, (2013) este diseño implica cálculos previos muy precisos y construcción de elementos exactos. El desplazamiento de la carrera de la válvula lo gobierna un resorte, la válvula puede estar dispuesta en forma vertical u horizontal, ver figura I.20.

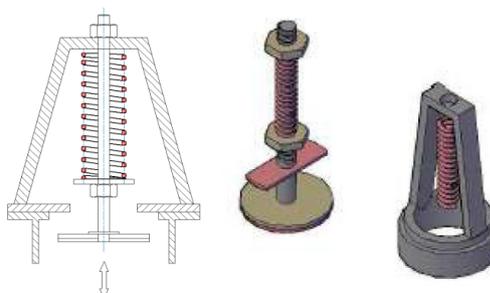


Figura I.20. Válvula con resorte.
Fuente: Rivadeneira y Silva (2013).

b.4. Válvula con pesas encima

Rivadeneira y Silva, (2013) este diseño tiene la ventaja de poder ajustar su carrera y su velocidad de cierre con la modificación de su conjunto de pesas, su construcción es robusta lo que garantiza una gran durabilidad para un ciclo de vida elevado. Como desventaja se tiene que este tipo de válvulas solo pueden trabajar en forma vertical para que las pesas actúen por la gravedad, ver figura I.21.

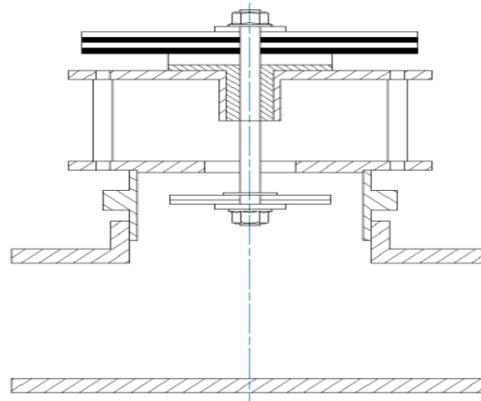


Figura I.21. Válvula con pesas abajo.
Fuente: Rivadeneira y Silva (2013).

b.5. Válvulas con pesas debajo

Campaña y Guamán, (2011) posee un diseño robusto pero a la vez ligero su configuración es sólida las pesas se ubican en la parte inferior de la tapa de la válvula al igual que en el caso anterior la carrera está regulada por pesas.

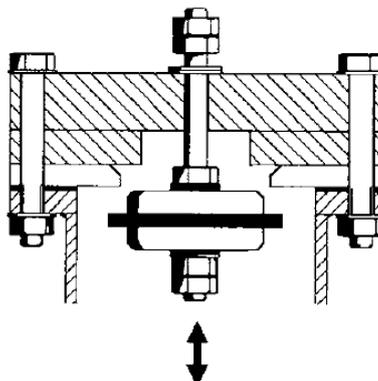


Figura I.22. Válvula con pesas debajo.
Fuente: Campaña y Guamán (2011).

c. Válvula de entrega

Rivadeneira y Silva, (2013) es la que permite el paso del agua, desde la caja de válvulas hasta la cámara de aire, no permitiendo su retroceso al cerrarse por los efectos del rebote que se produce con el aire comprimido dentro de la cámara, lo que hace que el agua sea impulsada hasta un nivel superior al de captación. Debe estar construida de forma tal que se logre una buena hermeticidad, lo que evita pérdidas en la eficiencia y el rendimiento.

Tipos de válvulas de entrega

c.1. Válvula de solapa

Rivadeneira y Silva, (2013) compuesta de una tapa de goma sencilla fijada en el centro contra una placa plana perforada. El movimiento está restringido por el tipo y espesor del caucho utilizado. La cantidad de flujo que atraviesa el agujero en la placa de entrega está limitada por la resistencia del caucho y la presión de entrega. Su baja inercia brinda una respuesta más rápida que otros tipos de válvulas, ver figura I.23.

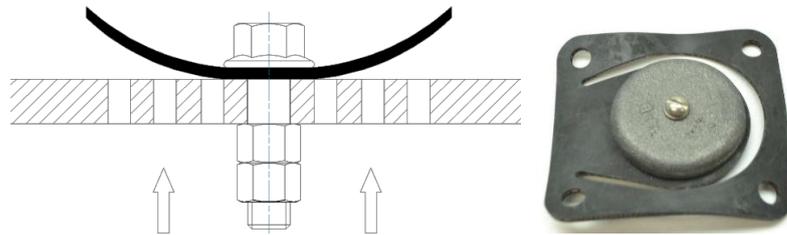


Figura I.23. Válvula de solapa.
Fuente: Rivadeneira y Silva (2013).

c.2. Válvula tipo cabezal

Rivadeneira y Silva, (2013) el obturador utiliza caucho muy rígido tal como el material de la suela del zapato subiendo y bajando con un eje central, ver figura I.24. Esta es una buena opción para bombas de cabeza alta, aunque puede tener problemas de sellado en las bombas de cabeza baja. Tiene la ventaja de permitir agujeros de gran diámetro en la placa de entrega. La carrera de la válvula debe ser regulada para que realice desplazamientos muy breves (menos de 5 mm) para ayudar a prevenir el reflujos. El agujero en la placa de la entrega y el perno necesitan cuidado en el dimensionamiento para asegurar la facilidad del movimiento. Este tipo de válvulas están sujetas a desgaste muy breve lo que puede ser un problema.

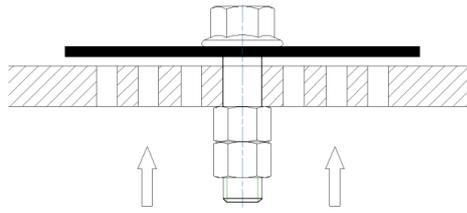


Figura I.24. Válvula tipo cabezal.
Fuente: Rivadeneira y Silva (2013).

c.3. Válvula de bisagra

Rivadeneira y Silva, (2013) la válvula de bisagra permite un agujero grande en la placa de entrega, minimizando la resistencia al flujo, ver figura I.25. Los materiales utilizados para la bisagra y el método de fijación son cruciales y con frecuencia causan problemas. La posibilidad de reflujos debido al cierre lento puede ser un problema.

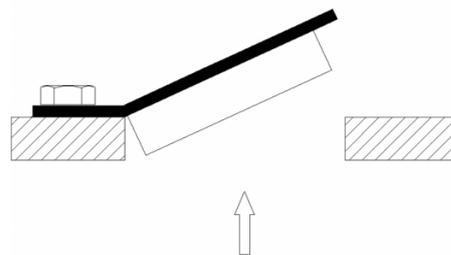


Figura I.25. Válvula de bisagra.
Fuente: Rivadeneira y Silva (2013).

c.4. Válvula de disco suelto

Rivadeneira y Silva, (2013) la válvula de disco suelto utiliza material similar a la válvula de tipo cabezal ya que está restringido por una jaula unida a la placa de suministro, ver figura I.26. Es más difícil de fabricar, pero tiene las mismas características que la válvula de tipo cabezal.

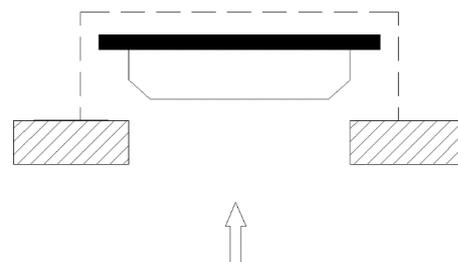


Figura I.26. Válvula de disco suelto.
Fuente: Rivadeneira y Silva (2013).

c.5. Válvula de tapón

Rivadeneira y Silva, (2013) esta es una válvula de impulsos efectivamente invertida con la presión diferencial que tiene que superar el peso de la válvula con el fin de levantarlo, ver figura I.27. El área de flujo grande de la placa de entrega puede ser una ventaja, pero también puede conducir a un flujo de retorno grande, mientras que la válvula se cierra. Un resorte puede ser añadido para facilitar un cierre rápido, pero esto se suma a la presión diferencial requerida para abrirlo.

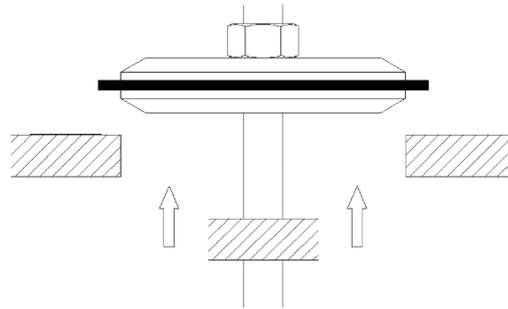


Figura I.27. Válvula de tapón.
Fuente: Rivadeneira y Silva (2013).

d. Cámara de presión o cámara de aire

Rivadeneira y Silva, (2013) es el dispositivo que regula el flujo de agua hacia la tubería de descarga, absorbe la sobrepresión (funciona como amortiguador de los golpes de ariete) e impulsa el agua por la tubería, dando de esta forma un flujo casi continuo, logrando un nivel superior al de captación y va montada sobre su propia base en la caja de válvulas mediante tornillos o enroscado.

En el interior de la cámara de aire se producen dos presiones producto de sus condiciones de funcionamiento, una presión mínima cuando una cantidad de aire soporta la columna de agua presente en la tubería de entrega y otra presión máxima cuando el fluido ingresa y el aire de la cámara se comprime. Para el cálculo de estas presiones se utiliza la Ley de Boyle que relaciona el volumen y la presión de una cierta cantidad de gas mantenida a una temperatura constante.

$$P_1 \cdot V_{1_{aire}} = P_2 \cdot V_{2_{aire}}$$

Dónde:

P_1 = Presión mínima.

$V_{1\text{aire}}$ = Volumen inicial de aire en la cámara.

P_2 = Presión máxima.

$V_{2\text{aire}}$ = Volumen dos de aire en la cámara.

e. Válvula de aire

Rivadeneira y Silva, (2013) sirve para regular y renovar el aire absorbido por el agua que se pierde de la cámara. Está ubicada por debajo de la válvula de descarga y permite el ingreso permanente de aire de acuerdo al requerimiento de la cámara.

1.4.4. PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO

a. Locación de la bomba

Rivadeneira y Silva, (2013) 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.

b. Altura de Entrega

Rivadeneira y Silva, (2013) la altura de entrega viene dada por el requerimiento de elevar el fluido a un nivel determinado, para orientar la utilización del líquido hacia una función específica entre las cuales se pueden mencionar: riego, almacenamiento de agua, distribución, potabilización del agua, entre otros.

c. Altura de Suministro

Rivadeneira y Silva, (2013) es la altura con la cual se debe contar para llegar al nivel de descarga requerido; para establecer dicha altura se hace uso de relaciones matemáticas realizadas por fabricantes y estudiosos del tema como 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.

$$H_s = \frac{1}{3} H_d \quad \text{Ec. (1.23)}$$

Dónde:

H_s = Altura de suministro (m).

H_d = Altura de entrega (m).

d. Tubería de suministro

Rivadeneira y Silva, (2013) la tubería de suministro tiene dos objetivos primordiales que son:

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

Las dimensiones, tanto del diámetro como la longitud de la tubería de suministro son factores determinantes para garantizar el buen funcionamiento de la bomba de ariete, ya que conduce 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. La longitud de la tubería de suministro es única para cada bomba. La misma no puede ser de material plástico ni PVC porque la sobrepresión efectuada por el golpe de ariete es muy fuerte para este tipo de tubos, es muy recomendable utilizar acero galvanizado de primera calidad o tuberías de hierro. El uso de otros materiales no apropiados conllevará a rutinas de mantenimiento seguidas y posibles fugas en la tubería 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. Normalmente, la longitud del tren de tubos debe ser alrededor de tres a siete veces la altura de suministro. Idealmente, el tren de tubos debe tener una longitud de al menos 100 veces su propio diámetro.

Watt, (1981) en su publicación indica que bomba funcionará bien si la relación entre la longitud (L) y el diámetro interno (D) se encuentra dentro de los límites.

$$\frac{L}{D} = 150 \text{ a } 1000 \quad \text{Ec. (1.24)}$$

Recomendando, instalar con una tubería de suministro que cumpla la relación de:

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

Paredes y Tuquinga, (2012) por otra parte indican que el ducto de entrada conecta el colector con la bomba de ariete. El diámetro de este tubo depende del tamaño del ariete utilizado. El tubo de entrada debe resistir los golpes de ariete y debe ser de material rígido y de metal. El tubo debe ser perfectamente hermético, no puede tener ninguna fuga y debe tener una pendiente constante.

e. Tubería de entrega

Rivadeneira y Silva (2013). El objetivo principal de la tubería de entrega es conducir al fluido hasta su descarga, puede componerse de elementos de acople como uniones, codos, nipples, etc. Los que sean 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.

f. Caudal de entrega

Rivadeneira y Silva, (2013) es el caudal que la bomba de ariete entrega una vez puesta en marcha, se utiliza la siguiente fórmula para su cálculo.

$$\frac{q \cdot Hd}{H_s \cdot D^2 \cdot u_c} = \frac{\pi \cdot C_d}{10} \quad \text{Ec. (1.25)}$$

Dónde:

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

H_s = Altura de suministro (m).

H_d = 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:

$$q = \frac{Hs \cdot D^2 \cdot u_c \cdot \pi \cdot C_d}{Hd \cdot 10} \quad \text{Ec. (1.26)}$$

– **Velocidad de cierre de la válvula de impulso**

Para determinar la velocidad de cierre de la válvula de impulso se utiliza la siguiente relación matemática.

$$u_c = 0.135 * C_{vi} \quad \text{Ec. (1.27)}$$

Dónde:

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

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

– **Coefficiente 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),

$$Q_l = C_d (\sqrt{2 * g * \Delta h}) A \quad \text{Ec. (1.28)}$$

El coeficiente de descarga es igual a:

$$C_d = \frac{Q_l}{(\sqrt{2 * g * \Delta h}) A} \quad \text{Ec. (1.29)}$$

Dónde:

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).

– **Caudal libre**

El caudal libre es obtenido con la consideración de que la válvula de impulso se mantenga inmóvil permitiendo que el agua fluya hacia la atmosfera sin ninguna interrupción.

Por medio de la ecuación general de la energía que es una expansión de la ecuación de Bernoulli, se hace posible resolver problemas con presencia de pérdidas, las cuales aparecen a medida que un flujo fluye por un conducto

debido a la fricción interna en el fluido, permite saber cuál será la velocidad del fluido en el interior de la tubería.

Ecuación General de la Energía:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{Ec. (1.30)}$$

Dónde:

P_1 = Presión en el punto uno (Pa).

P_2 = Presión en el punto dos (Pa).

γ = Peso específico del agua (N/m³).

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/s²).

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

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

h_L = Pérdidas de energía (pérdidas mayores y menores) en el sistema (m).

– **Pérdidas mayores**

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

Se expresa por la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{Ec. (1.31)}$$

Dónde:

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).

f = Factor de fricción.

– **Pérdidas menores**

Mott, (2006) las pérdidas menores ocurren cuando hay un cambio u obstrucción de la trayectoria del flujo, debido a la presencia de conectores, válvulas o accesorios.

$$h_{Lm} = k * \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{Ec. (1.32)}$$

Dónde:

h_{Lm} = Pérdida menor (m).

k = Coeficiente de resistencia al flujo.

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

g = Gravedad (m/s²).

– **Factor de Fricción**

Mott, (2006) para el cálculo del factor de fricción, la siguiente ecuación desarrollada por P. K. Swamee y A. K. Jain permite el cálculo directo del factor:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{D}{\varepsilon} \right) + N_{RE}^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{Ec. (1.33)}$$

Dónde:

f = Factor de fricción.

D = Diámetro interno de la tubería (m).

ε = Rugosidad (m).

N_{RE} = Numero de Reynolds.

– **Número de Reynolds**

Mott, (2006) 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.

Si $N_{RE} < 2000$, corresponde a un Flujo Laminar.

Si $N_{RE} > 4000$, corresponde a un Flujo Turbulento.

Si $2000 < N_{RE} < 4000$, se trata de un Flujo Impredecible.

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

$$N_{RE} = \frac{V * D}{\nu} \quad \text{Ec. (1.34)}$$

Dónde:

V = Velocidad del flujo (m/s).

D = Diámetro interno de la tubería (m).

ν = Viscosidad cinética (m²/s).

– **Rugosidad Relativa**

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

$$R_r = \frac{D}{\varepsilon} \quad \text{Ec. (1.35)}$$

Dónde:

R_r = Rugosidad relativa.

D = Diámetro interno de la tubería (m).

ε = Rugosidad (m)

g. Caudal de suministro o caudal de alimentación (Q)

Rivadeneira y Silva, (2013) en un sistema ideal habrá una buena transferencia de flujo de donde se tiene:

$$q * Hd = Q * Hs \quad \text{Ec. (1.36)}$$

Dónde:

q = Caudal de entrega (m³/s).

Hd = Altura de entrega (m).

Q = Caudal de suministro (m³/s).

Hs = Altura de suministro (m).

Desafortunadamente, esto no sucede en un sistema real. Existen varias pérdidas producidas por fricción entre el fluido y los elementos que se utilizan para la configuración de la red de tubería con la finalidad de transportar el líquido.

El ariete no utiliza toda el agua proveniente de la tubería de entrada. Su eficiencia puede ir 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 es 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 la eficiencia es desconocida se puede utilizar un valor asumido de 50 %.

$$\eta = \frac{q \cdot H_d}{Q \cdot H_s} \quad \text{Ec. (1.37)}$$

$$Q = \frac{q \cdot H_d}{\eta \cdot H_s} \quad \text{Ec. (1.38)}$$

h. Caudal desechado

Rivadeneira y Silva, (2013) es la cantidad de agua que la bomba de ariete expulsa hacia la atmósfera cuando está en marcha, ver figura I.28.

$$Q = q + Q_p \quad \text{Ec. (1.39)}$$

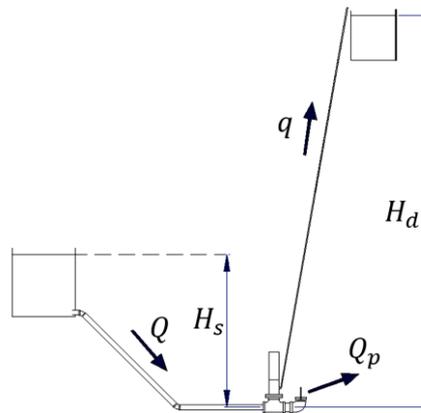


Figura I.28. Esquema de funcionamiento respecto a diferentes caudales.
Fuente: Rivadeneira y Silva (2013).

Dónde:

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

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

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

i. Rendimiento Volumétrico

Rivadeneira y Silva, (2013) el rendimiento volumétrico es la relación existente entre el caudal de entrega y el caudal de suministro de una bomba hidráulica.

$$n_v = \frac{q}{Q} * 100 \quad \text{Ec. (1.40)}$$

Dónde:

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

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

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

j. Potencia de la bomba de ariete

Rivadeneira y Silva, (2013) la potencia requerida 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.

$$P = \gamma * q * Hd \quad \text{Ec. (1.41)}$$

Dónde:

P = Potencia (W).

γ = Peso específico del agua (N/m^3).

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

Hd = Altura de entrega (m).

1.5 DISEÑO

Budynas y Nisbett, (2008) fundamentan que diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema. Si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse.

El diseño es un proceso innovador y altamente iterativo. También es un proceso de toma de decisiones. Algunas veces éstas deben tomarse con muy poca información, en otras con apenas la cantidad adecuada y en ocasiones con un exceso de información parcialmente contradictoria. Algunas veces las decisiones se toman de manera tentativa, por lo cual es conveniente reservarse el derecho de hacer ajustes a medida que se obtengan más datos. Lo importante es que el diseñador en ingeniería debe sentirse personalmente cómodo cuando ejerce la función de toma de decisiones y de resolución de problemas.

El diseño es una actividad de intensa comunicación en la cual se usan tanto palabras como imágenes y se emplean las formas escritas y orales. Los ingenieros deben comunicarse en forma eficaz y trabajar con gente de muchas disciplinas. Éstas son habilidades importantes y el éxito de un ingeniero depende de ellas.

Las fuentes personales de creatividad de un diseñador, la habilidad para comunicarse y la destreza para resolver problemas están entrelazadas con el conocimiento de la tecnología y sus principios fundamentales. Las herramientas de la ingeniería (como las matemáticas, la estadística, la computación, las gráficas y el lenguaje) se combinan para producir un plan, que cuando se lleva a cabo crea un producto funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que se puede fabricar y comercializar, sin importar quién lo construya o lo use.

En esta parte del trabajo de investigación se detalla las consideraciones técnicas, cálculos, selección de material, diseño mecánico e hidráulico, con la finalidad de determinar las dimensiones del sistema de bombeo y principalmente para la construcción de la bomba de ariete hidráulico.

Se garantiza el funcionamiento y la perdurabilidad de la bomba de ariete, en base a la selección adecuada de materiales que cumplan con los cálculos obtenidos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Ayacucho se encuentra ubicado en la región centro sur andina del país, en el área meridional de los andes, a 2,746 m.s.n.m, entre los paralelos 12° 07' 30" y 15° 37' 00" latitud sur y los meridianos 72°50' 19" y 75° 07' 00" longitud oeste.

Correspondiendo la ubicación geográfica del área de estudio a la localidad de Quinrapa del distrito y provincia de Huanta, situándose específicamente en las coordenadas UTM 577825 este y 8568584 sur, y a una altitud de 2358 m.s.n.m.

2.1.2. UBICACIÓN POLÍTICA

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

Región : Ayacucho
Provincia : Huanta
Distrito : Huanta
Comunidad : Quinrapa

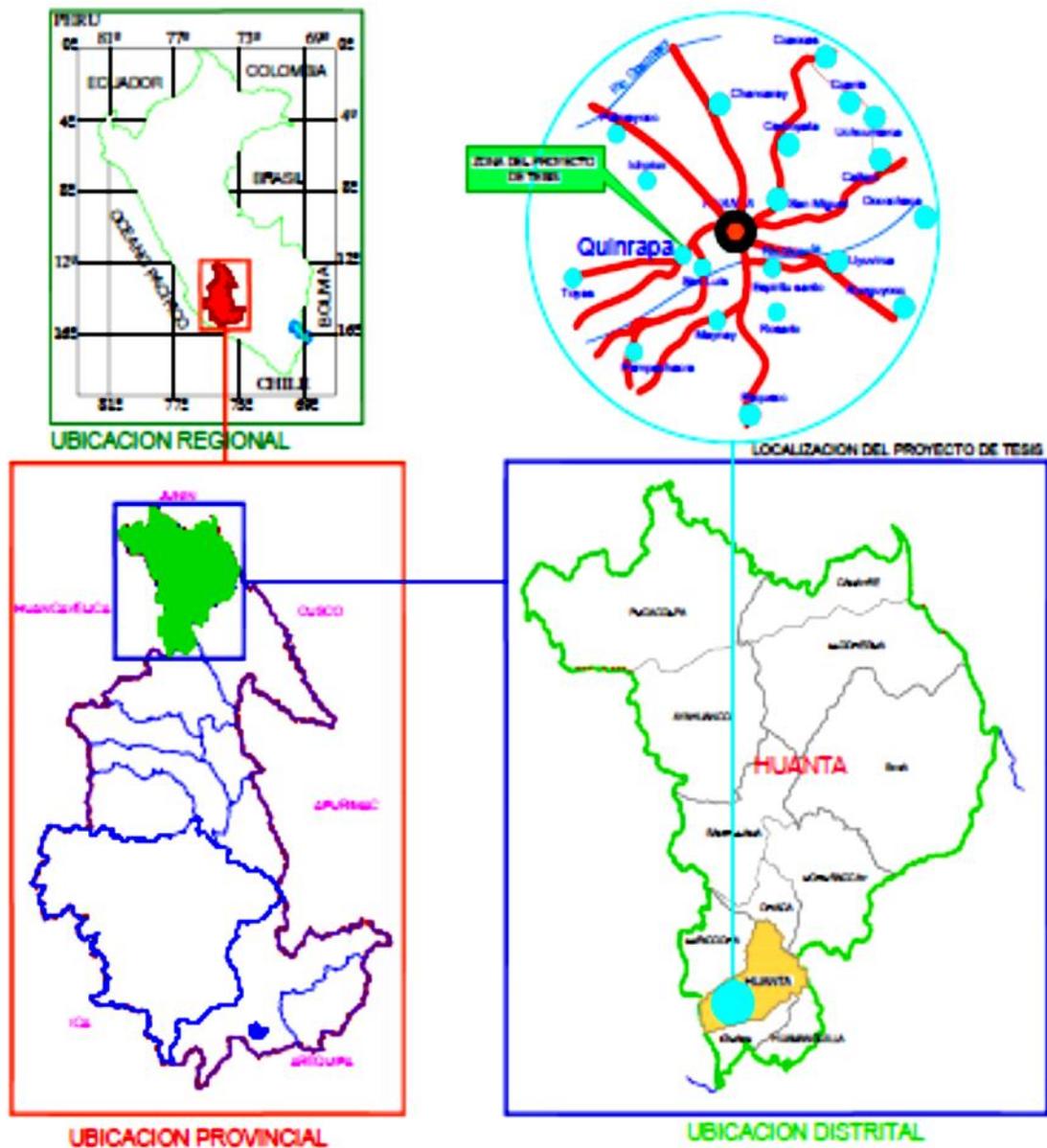


Figura II.1. Mapa político de la región Ayacucho, provincia y distrito de Huanta: Ubicación de la zona del proyecto

2.1.3. LÍMITES

El distrito de Huanta limita:

- Por el Norte, con los distritos de Luricocha, Santillana y Sivia.
- Por el Sur, con los distritos de Iguaín y Huamanguilla.
- Por el Este, con los distritos de Tambo y Ayna.
- Por el Oeste, con el distrito de Chincho (Angaraes-Huancavelica).

2.1.4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA

La zona donde se desarrolló el estudio de investigación presenta una topografía irregular de paisaje que está conformada por laderas y planicies cuyas pendientes oscilan entre 5% al 80 %, cuenta con plantas naturales altas y bajas, otras plantas herbáceas de la zona, así como un bosque de arbustos que hacen posible formar pequeñas parcelas en las que se ubican plantas y cultivos principales como el *Opuntia ficus* (tuna), *Zea mays* (maíz), *Medicago sativa* (alfalfa). La comunidad de Quinrapa posee una superficie que va desde los 2,300 m.s.n.m hasta los 2,700 m.s.n.m.; el clima es templado en las partes bajas y templadas a frígido en las partes altas.

a. Fisiografía

La provincia de Huanta corresponde a la categoría fisiográfica de gran paisaje colinoso, teniendo una extensión de 30,751.53 hectáreas que representa el 0.70% del total departamental; correspondiendo a los pisos altitudinales que va desde el premontano hasta el subalpino, se asienta sobre una geología que pertenece a los periodos silúrico, devónico, terciario y cretáceo principalmente, las formaciones litológicas que predominan son de tipo metamórfico formado por pizarras, lutitas, pizarrosas y cuarcitas; de tipo sedimentario formado por lodolitas, limolitas, areniscas, lutitas, calizas, andesitas y conglomerados; de tipo volcánico formado por ignimbritas y lavas; y de tipo volcánico sedimentario formado por tobas, calizas lacustres y andesitas cuya formación litológica es de tipo metamórfico formado por pizarras, lutitas, pizarrosas y cuarcitas; y de tipo sedimentario formado por lodolitas, limolitas, areniscas y conglomerados.

b. Topografía

La provincia de Huanta presenta una topografía abrupta, con laderas disectadas, rocosas, superficies de roquedales y zonas de condiciones climáticas frías y nivales y el extenso escenario limnográfico. Pero presentan valor para la actividad minera o fuentes de energía hidroeléctrica, paisajística o recreacionales y vida silvestre. Parte de estas tierras vienen siendo utilizadas para propósitos agrícolas y

pecuarios o están sometidos a una extracción selectiva e intensa del recurso maderero. El mal uso de tierras manifiesta la erosión de los suelos alto andinos, que en las posiciones más bajas adquiere características espectaculares (bordes y laderas de valles interandinos).

c. Geología y Geomorfología

La región Ayacucho litológicamente está compuesto por material volcánico, consistente en tobas cristalinas, lavas andesíticas de flujos piroclásticos y sedimentarios consistentes en arenas, gravas y arcillas presentándose en un 72% del territorio.

Geomorfológicamente la región Ayacucho está formado principalmente por cadenas de Montañas y altiplanicies, la primera está conformada por una gran variedad de rocas de origen volcánico y afloramientos de rocas sedimentarias e ígneas intrusivas, así mismo estas cadenas de montañas se halla disectadas por valles y quebradas presentando un perfil transversal típico en forma de V, la intensa acción erosiva en estas grandes cadenas de montaña ha permitido formar grandes áreas de cerros colinosos y plataformas estructurales de terrazas altas y bajas.

Por otro lado las áreas de planicie, que se extiende en la cordillera central constituye un paisaje morfo-estructural, debido a una serie de montañas consideradas como resto de una peniplanicie formado durante el terciario medio o superior a principios del cuaternario integrado por una serie de planicies o llanuras y cerros aislados con altitudes desde los 3,000 hasta los 5,000 m.s.n.m.

d. Clima

La Fisiografía de la región Ayacucho se presenta en tres grandes provincias fisiográficas que conforman la gran cadena de Montañas formando la Cordillera Occidental en la zona sur del departamento y la cordillera Oriental en la zona Noreste y entre ambas la cordillera central donde se encuentran grandes planicies volcánicas. Debido a esta grandes características se formaron diversos tipos de clima.

El clima para la zona que altitudinalmente va desde los 2000 hasta los 3000 m.s.n.m del distrito de Huanta, corresponde al tipo de clima de estepa siendo el volumen pluviométrico anual de 351.26 a 742.64 mm, la Temperatura promedio en verano es de 15°C, durante el invierno (abril a septiembre) es frío con mucho brillo solar y durante el verano es nublado.

e. Vías de comunicación

El acceso al lugar donde se realizó el trabajo de investigación es a través de la carretera asfaltada que interconecta la ciudad de Ayacucho con la ciudad de Huanta, que comprende una distancia de 44.50 km; de la ciudad de Huanta mediante el camino vecinal de 4.50 km se llega al fundo “Porvenir” de la comunidad de Quinrapa.

Tabla II-1. Acceso a la Zona del Proyecto

TRAMO	LONGITUD	TIEMPO	TIPO DE VIA
Ayacucho - Huanta	44.50 Km.	50 Minutos	Carretera Asfaltada
Huanta - Quinrapa	4.50 Km.	10 Minutos	Camino Vecinal
TOTAL	49.00 Km.	01 Hora	

Para llegar al lugar del estudio de investigación se hace uso del servicio de transporte de la ciudad de Ayacucho a Huanta ofrecidos todos los días (lunes a domingo) cuyo costo del pasaje es de S/. 7.00 soles y mediante el servicio de moto taxi a un costo de 5.00 Soles se arriba al lugar donde se desarrolló el presente trabajo de investigación.

2.2. MATERIALES

2.2.1. MATERIALES DE GABINETE

- 01 Laptop Core i7.
- 01 Impresora.
- Material bibliográfico propio y de la biblioteca de la UNSCH.
- Investigaciones (tesis) relacionadas al tema.
- AutoCAD y Civil CAD.
- Microsoft Office.

2.2.2. MATERIALES DEL SISTEMA DE BOMBEO

a. Materiales de construcción de la bomba de ariete hidráulico

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

N°	Descripción	Material	Cantidad	Unidad
1	Adaptador UPR de 3"	PVC	1	Pza.
2	Válvula esfera de 3"	PVC	1	Pza.
3	Niple de 3" x 3 1/2"	F° G°	7	Pza.
4	Tee de 3" x 90°	F° G°	2	Pza.
5	Codo de 90° de 3"	F° G°	1	Pza.
6	Válvula check con canastilla de 3"	Bronce	1	Pza.
7	Resorte de compresión de Ø 2mm	Alambre de piano	1	Pza.
8	Resorte de compresión de Ø 1mm	Alambre de piano	1	Pza.
9	Perno coche Zincado de ½" x 8"	Acero	1	Pza.
10	Perno de acero de ¼" x 1"	Acero	2	Pza.
11	Tuerca hexagonal de ½"	Acero	2	Pza.
12	Tuerca hexagonal de ¼"	Acero	2	Pza.
13	Arandela plana de ala ancha de ½"	Acero	2	Pza.
14	Arandela plana de ala ancha de ¼"	Acero	2	Pza.
15	Platina de 1/8"x1"x11cm.	Acero	1	Pza.
16	Válvula check antiretorno de 3"	Bronce	1	Pza.
17	Unión Campana de 3" x 4"	F° G°	1	Pza.
18	Niple de 4" x 1.10 m	PVC	1	Pza.
19	Tapón rosca hembra de 4"	PVC	1	Pza.
20	Unión Campana de 2" x 3"	F° G°	1	Pza.
21	Reducción Bushing 2" x 1 1/2"	F° G°	1	Pza.
22	Niple de 1 1/2 " x 2 1/2"	F° G°	2	Pza.
23	Tee de 1 1/2" x 90°	F° G°	1	Pza.
24	Reducción Bushing 1 1/2" x 1"	HDPE	1	Pza.
25	Reducción Bushing 1" x 1/2"	HDPE	1	Pza.
26	Reducción Bushing 1/2" x 1/4	F° G°	1	Pza.
27	Manómetro de Glicerina de 10 Bar.	Acero Inoxidable	1	Pza.
28	Válvula esfera con de 1 1/2"	PVC	1	Pza.
29	Adaptador Macho HDPE de 1 1/2"	HDPE	1	Pza.
30	Cinta Teflón	PTFE	30	Unid.

b. Materiales de la instalación del sistema de bombeo

Tabla II-3. Materiales para la instalación del sistema de bombeo.

N°	Descripción	Cantidad	Unidad
1	Bomba de ariete Hidráulico de Ø 3"	1	Equipo
2	Tubería PVC SAP C-7.5 de Ø 3"	20	m.
3	Tubería PVC SAP C-5 de Ø 3"	50	m.
4	Manguera HDPE C-8 de Ø ½"	92	m.
5	Codo PVC SAP de 3"x90°	5	Pza.
6	Pegamento para PVC	1/4	Gln.
7	Cemento portland tipo I	4	Bls.
8	Hormigón	1	m ³
9	Arena fina	0.5	m ³
10	Ladrillo corriente 9x11x24cm	100	Unid.

2.2.3. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

Tabla II-4. Equipos, herramientas manuales y otros materiales de campo

N°	Descripción	Cantidad	Unidad
1	GPS Garmin Map 64s	1	Equipo
2	Estación Total Topcon Gts 236w Gts-236w	1	Equipo
3	Cámara fotográfica	1	Equipo
4	Cronometro	1	Equipo
5	Wincha de 50m	1	Unid.
6	Flexómetro 3m	1	Unid.
7	Estacas	30	Unid.
8	Pintura amarilla	1/4	Gln.
9	Pico	3	Unid.
10	Pala	2	Unid.
11	Sierra de podar	1	Unid.
12	Arco de sierra extendible	1	Unid.
13	Hoja de sierra	1	Hja.
14	Alicate	1	Unid.
15	Llave stillson anti-drop de 14"	1	Unid.
16	Llave perico truper de 4"	1	Unid.
17	Badilejo	1	Unid.
18	Plancha	1	Unid.
19	Frotacho	1	Unid.
20	Zaranda	1	Unid.
21	Carretilla	1	Unid.
22	Nivel	1	Unid.
23	Cordel	1	Unid.
24	Balde de 4 litros	1	Unid.
25	Balde de 12 litros	1	Unid.
26	Lija	1	Unid.

2.3. MÉTODO

2.3.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

a. Tipo de investigación

El trabajo de investigación se ajustó al tipo aplicada, en la que se hizo uso de métodos, teorías y conocimiento de investigaciones existentes para la aplicación inmediata a la problemática existente de escasez de agua de riego, alto costo de operación de motobomba y emisión de dióxido de carbono en el Fundo Porvenir de la Comunidad de Quinrapa del distrito de Huanta.

b. Nivel de investigación

De acuerdo a la naturaleza del trabajo de investigación, el nivel de investigación correspondió a un estudio exploratorio.

En dicha investigación se contempló dos acciones, el primero consistió en el estudio de la documentación existente: revisión de archivos, informes, estudios y todo tipo de documentos o publicaciones referidos al tema; el segundo 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 clasificó como experimental. Durante el desarrollo de la investigación se manipuló intencionalmente una de las variables independientes con el fin de evaluar el efecto en las variables dependientes.

2.3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

a. Población o universo

La población o universo fue constituida por las parcelas agrícolas, sin riego o con riego mediante motobombas de la comunidad de Quinrapa del distrito de Huanta, provincia de Huanta y región de Ayacucho.

b. Muestra

La muestra tomada para el desarrollo del trabajo de investigación fue la parcela agrícola (0.59 hectáreas) de propiedad del Sr. Teodoro Palomino Cuba perteneciente a la comunidad de Quinrapa; esta unidad agropecuaria fue seleccionada como muestra debido a que cuenta con un manantial disponible para su aprovechamiento.

c. Tipo de muestra

El tipo de muestra del trabajo de investigación fue no probabilístico, intencionalmente o por conveniencia.

d. Tamaño de muestra

Ya que cada uno de los sujetos de estudio, población del trabajo investigación tuvo exactamente las mismas características; el tamaño requerido de la muestra fue solamente de uno.

2.3.3. PROCEDIMIENTOS

El procedimiento desarrollado durante la ejecución del trabajo de investigación se describe de manera general en el siguiente esquema:

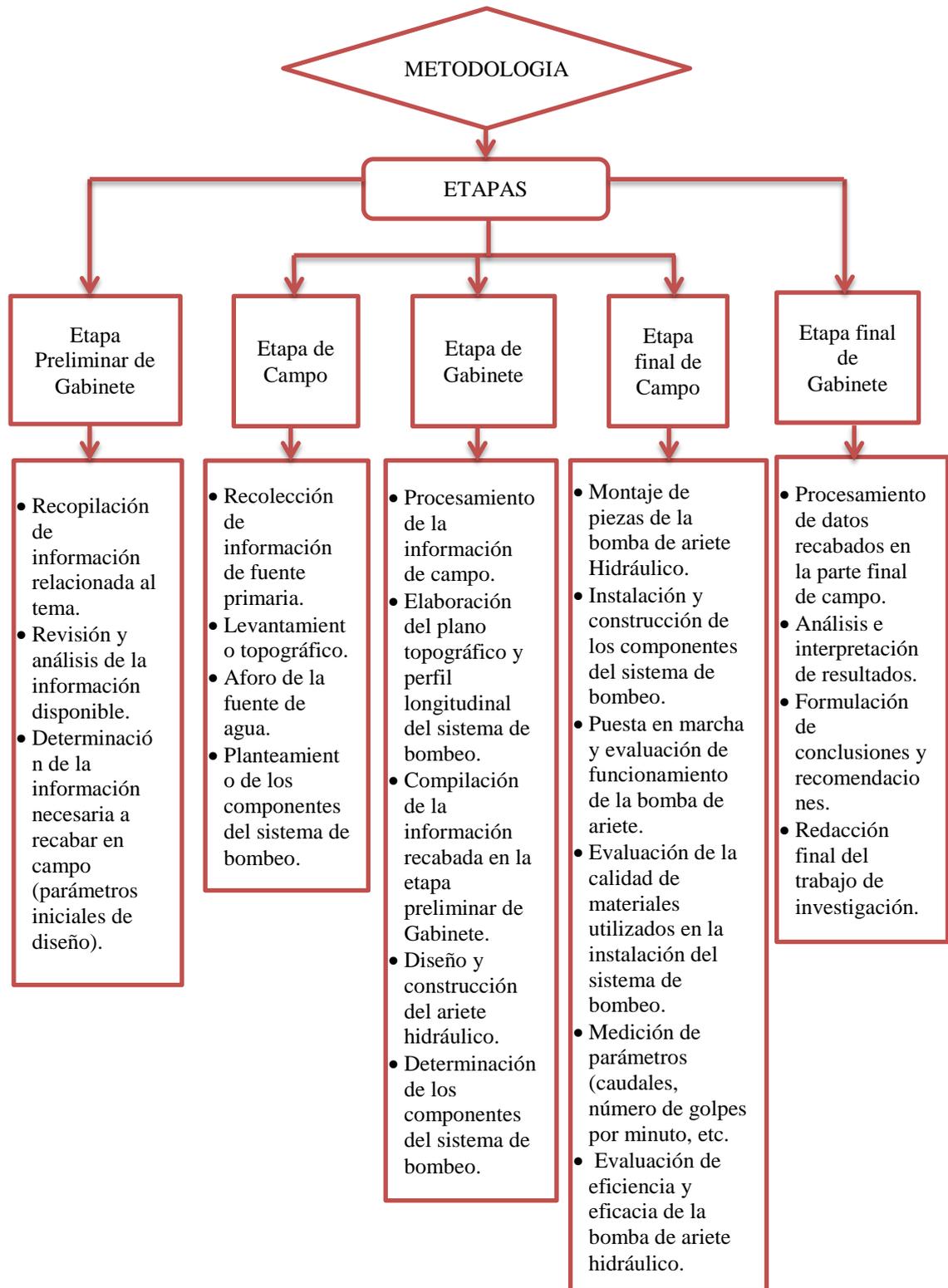


Figura II.2. Esquema metodológico de investigación.

a. Etapa preliminar de gabinete

a.1. Recopilación y análisis de información relacionada al tema de investigación

Fue la primera etapa que, consistió en la recopilación y análisis de la información existente sobre el tema de investigación tales como el fenómeno de golpe de ariete, diseño, construcción e instalación de bombas de ariete hidráulico, para ello se utilizó fuentes escritas como, libros, tesis y publicaciones electrónicas.

Después de recabada y realizada el análisis de la información disponible, se identificó y determinó los parámetros iniciales de diseño, los componentes de un sistema de bombeo que utiliza una bomba de ariete hidráulico; llegándose a establecer los datos necesarios a recabar en la etapa de campo que los que permiten realizar el diseño e instalación de la bomba de ariete hidráulico.

Tabla II-5. Requisitos hidráulicos de diseño e instalación de la bomba de ariete.

Descripción	Procedimiento
Caudal de impulsión (Q)	Aforo de la fuente de agua
Altura de impulsión (H)	Levantamiento topográfico
Longitud de la línea de impulsión (L)	Levantamiento topográfico
Altura de descarga (h)	Levantamiento topográfico
Longitud de la línea de descarga (l)	Levantamiento topográfico
Extensión de la parcela	Levantamiento topográfico

b. Etapa de campo

Esta etapa fue de suma importancia; para ello se viajó al fundo Porvenir, propiedad del Sr. Teodoro Palomino, ubicado en la localidad de Quinrapa del distrito de Huanta, donde se realizó los siguientes:

b.1 Aforo de la fuente de agua

Se realizó la identificación del tipo de la fuente de agua conocido como Yakutoccyacc, cuya fuente es un manantial de ladera difuso correspondiente al del tipo de agua subterránea.

Siendo las 10 de la mañana del día 15 de junio del 2016 se realizó el aforo de la fuente de agua mediante el método volumétrico; para lo cual, se tomó el tiempo que demoró en llenarse a un recipiente de volumen conocido (balde de plástico de 20 litros) con una repetición de 5 veces.

b.2 Levantamiento topográfico

Fue el desarrollo de las actividades referentes al trabajo topográfico detallado del fundo Porvenir haciendo uso para ello, un GPS y una estación total; en esta etapa del trabajo de investigación quedó establecido la ubicación de la captación, cámara de carga, lugar de descarga (reservorio) y preliminarmente se ubicó la línea de impulsión, punto de instalación de la bomba de ariete hidráulico y línea de descarga.

b.3 Registro fotográfico

Consistió en el registro fotográfico de las acciones ejecutadas en campo a través de una cámara digital.

c. Etapa de gabinete

Fue la etapa en la que se realizó el procesamiento de la información recabada en campo, la compilación de la información relacionada al tema de investigación, posteriormente se hizo el diseño del sistema de bombeo.

c.1. Procesamiento de la información de campo

– Calculo del caudal agua del manantial Yakutoccyacc

El cálculo del caudal de la fuente de agua manantial Yakutoccyacc, se realizó utilizando los datos obtenidos durante el aforo, para lo cual, se empleó la siguiente fórmula:

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

Dónde:

Q = Caudal (l/s)

V = Volúmen (l)

t = Tiempo (s)

– **Elaboración de planos**

Con los datos del levantamiento topográfico y haciendo uso del software internacional civil 3D, se procesó los puntos topográficos obteniéndose los planos topográfico y perfil longitudinal del terreno, estos planos fueron la fuente para determinar los parámetros iniciales de diseño del sistema de bombeo, asimismo en estos planos permitieron ubicar definitivamente el emplazamiento de los componentes del sistema de bombeo.

– **Diseño del sistema de bombeo y bomba de ariete hidráulico**

Se desarrolló el proceso de cálculo, iniciando con la determinación de la demanda hídrica para la parcela de 0.59 hectáreas teniendo como cultivo de referencia a la alfalfa, con este parámetro se inició los cálculos de dimensionamiento, caracterización y elección del tipo de material de los elementos integrantes de cada uno de los componentes del sistema de bombeo. Asimismo en esta fase se determinó la ubicación definitiva de los componentes del sistema de bombeo quedando finalmente plasmados en el plano de planta general del sistema de bombeo, plano de perfil longitudinal de la línea de impulsión y descarga. Una vez determinado los parámetros iniciales de diseño para la bomba de ariete hidráulico se procedió con los cálculos de dimensionamiento y elección idónea de materiales de los elementos integrantes de la bomba de ariete; finalmente se elaboró el plano para la construcción de la bomba de ariete hidráulico.

d. Etapa final de campo

- Utilizando el plano de detalle de la bomba de ariete hidráulico, en el fundo porvenir, se realizó el montaje de los elementos o piezas integrantes de la bomba de ariete hidráulico, conformado por materiales de PVC, hierro galvanizado, bronce, acero inoxidable, caucho y HDPE los mismos que se detalla en el ítem 2.2.
- Se ejecutó el replanteo del sistema de bombeo según los planos definitivos elaborados en la etapa de gabinete. Se realizó con el proceso de construcción e instalación de los componentes del sistema de bombeo tales como

captación, línea de conducción, cámara de carga, cámara de bombeo, instalación de la tubería de impulsión, 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 impulsión, bomba de ariete hidráulico y línea de descarga.
- Se creó tres escenarios de para la realización de la prueba de campo, consistente en la variación de la longitud de carrera de la válvula de impulsión con ello se estableció diferentes números de golpes por minuto, con la finalidad de calcular la mayor eficiencia y eficacia de la bomba de ariete hidráulico.
- Una vez puesto en operación a la bomba de ariete hidráulico y del sistema de bombeo se realizó el aforo del caudal de suministro, rebose de la cámara de carga y caudal de descarga mediante el método volumétrico para cada escenario de prueba generada, es decir, para cada variación de número de golpes por minuto de la válvula de impulsión.

e. Etapa final de gabinete

Correspondió a la fase final del presente trabajo de investigación donde se realizó los siguientes:

- Procesamiento de los datos recolectados en las pruebas desarrolladas durante la operación del sistema de bombeo; se determinó la calibración o reglaje adecuado de la carrera y el número de golpes por minuto de la válvula de impulsión de manera que cubra los requerimientos hídricos del cultivo de referencia; se determinó la eficiencia y eficacia de la bomba de ariete hidráulico, se elaboró las gráficas de las curvas de operación tales como:

Numero de golpes por minuto versus caudal de impulsión, 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 utilizándose el excel que es un programa informático desarrollado y distribuido por Microsoft; se realizó el cálculo del costo de instalación del sistema de bombeo mediante la cuantificación de los costos de mano de obra, materiales, equipos y herramientas utilizados en la instalación del sistema de bombeo.

- Culminándose esta etapa con la redacción final del presente trabajo de investigación.

III. RESULTADOS

3.1. DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO

3.1.1. AFORO DE LA FUENTE AGUA MANANTIAL YAKUTOCCYACC

El aforo realizado mediante el método volumétrico el día 15 de junio del 2016 permitió determinar el caudal total del manantial Yakutoccyacc:

Tabla III-1. Datos de aforo del manantial Yakutoccyacc

Nº	TIEMPO (Segundos)	VOLUMEN (Litros)
1	0.58	20
2	0.58	20
3	0.62	20
4	0.61	20
5	0.63	20
Promedio	0.604	20

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

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

$$Q = \frac{20 \text{ L}}{0.604 \text{ S}}$$

$$Q = 33.11 \text{ L/S}$$

Obteniéndose 33.11 l.p.s. como caudal total del manantial Yakutoccyacc, de los cuales la fracción equivalente a 0.66 l/s sería el que alimente a la bomba de ariete hidráulico y permitir el funcionamiento del sistema de bombeo.

3.1.2. COMPONENTES INTEGRANTES DEL SISTEMA DE BOMBEO

El sistema de bombeo diseñado e instalado en el fundo Porvenir, tiene los siguientes componentes:

- a. **Captación.-** Es el punto de donde se reúne las aguas del manantial Yakutoccyacc para ser conducidos hacia la cámara de carga.
- b. **Línea de Conducción.-** Es el tramo que une la captación con la cámara de carga, está constituido por un conducto que permite el transporte del agua.
- c. **Cámara de carga.-** Es un pequeño estanque que almacena el agua conducido desde la captación; con el fin de permitir el ingreso constante y uniforme del caudal de impulsión para que la bomba de ariete hidráulico funcione adecuadamente.
- d. **Línea de impulsión.-** Es el tramo de conducto que une la cámara de carga y la bomba de ariete hidráulico, este conducto está a base de material resistente al fenómeno físico llamado golpe de ariete, generalmente, constituido por tubería de acero galvanizado. En su diseño se determina el diámetro adecuado para conducir el caudal de impulsión.
- e. **Línea de descarga.-** Es el tramo que une la bomba de ariete hidráulico y el reservorio que almacena el agua bombeada, está constituido por un conducto liso por donde fluye el caudal de descarga.
- f. **Bomba de ariete hidráulico.-** Es el dispositivo principal del sistema de bombeo, que aprovechando un salto de agua eleva una fracción del caudal que ingresa a ella a un nivel superior de terreno al que se encuentra la fuente de agua o cámara de carga. Ya que es el componente de mayor importancia en el sistema de bombeo para su diseño se realizó un análisis separado de cada uno de sus elementos.
- g. **Reservorio de almacenamiento.-** Es el estanque donde se almacena el agua bombeada durante las 24 horas de operación del ariete hidráulico y a partir de esta se abastecerá según los requerimientos hídricos al área de riego.

3.1.3. UBICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE BOMBEO

La ubicación de los componentes del sistema de bombeo fue muy importante, ya que ello 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 Yakutoccyacc en la cantidad suficiente para ser conducidas hacia la cámara de carga.

La cámara de carga fue instaurada definitivamente durante la primera etapa de campo, para ello se evaluó que el lugar sea propicio para su construcción y que tenga las características óptimas para su funcionamiento, estableciéndose a una altitud de 2384.62 m.s.n.m.

La ubicación del reservorio de almacenamiento fue situada definitivamente durante la primera etapa de campo, estableciéndose a una altitud de 2397.52 m.s.n.m. siendo esta la cota máxima a donde se bombearía.

Del plano topográfico y perfil longitudinal elaborado, se obtuvo el siguiente esquema preliminar de ubicación de los componentes del sistema de bombeo y demás parámetros.

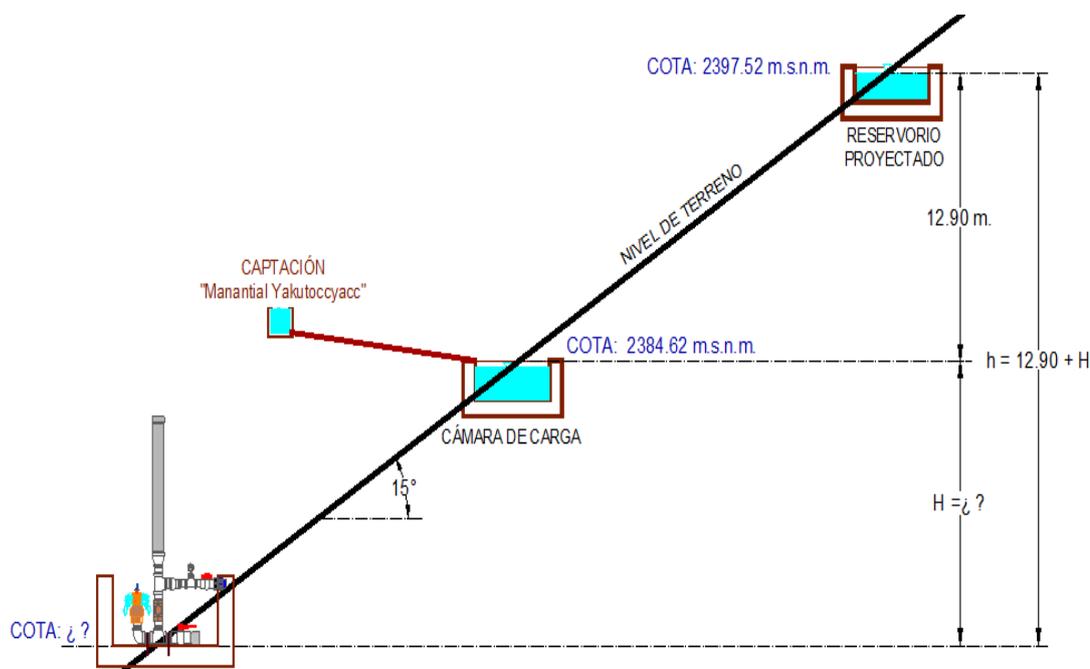


Figura III.1. Esquema preliminar del sistema de bombeo.

3.1.4. CÁLCULO DE LA ALTURA DE IMPULSIÓN (H)

Rivadeneira y Silva, (2013) precisan que S.B.Watt indica que la altura de impulsión debe estar entre 1 y 12 m como rangos recomendados; por lo que, para calcular la altura de impulsión se utilizó la ecuación planteada por S.B. Watt.

$$H = \frac{1}{3}h \quad \text{Ec. (1.23)}$$

Dónde:

H = Altura de impulsión (m).

h = Altura de descarga (m).

De la figura III.1 obtenemos el valor de h:

$$h = H + 12.90$$

Reemplazando el valor de “h” en la ecuación 1.23:

$$H = \frac{1}{3}(H + 12.90)$$

Se determinó la altura de impulsión:

$$H = \frac{12.90 \text{ m}}{2}$$

$$H = 6.45 \text{ m}$$

La altura mínima que permitiría el buen funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico fue de 6.45 m; con este dato se realizó el replanteo de la ubicación de la bomba de ariete hidráulico estableciéndose a 22 metros de distancia inclinada respecto de la cámara de carga; sin embargo, en los últimos 2 metros se encontró presencia de rocas que imposibilitaría la excavación, cuyas características no fueron favorables para su instalación; por lo que, a una longitud de 20.40 metros y una diferencia de altura de 6.10m de la cámara de carga quedó establecida el emplazamiento de la bomba de ariete hidráulico, determinándose que la bomba de ariete hidráulico quedaría instalada a la altitud de 2378.52 m.s.n.m.

$$H = 6.10 \text{ m}$$

Godoy, (2012) indica que para un ariete hecho en taller se puede usar los siguientes valores: caída mínima de 1 m y caída máxima de 13 m, elevación mínima 2 veces de la caída y elevación máxima de 130 metros.

Galarza, (2013) 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.

$$1\text{m} \leq H \leq 30\text{ m}$$

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

$$4H \leq L \leq 10H$$

Estableciéndose, 6.10 metros de altura de impulsión y 19 metros de altura de descarga, existió una relación aproximada de 1:3, apreciándose que estos parámetros están dentro de los rangos permisibles establecidos como criterios de diseño por investigaciones en trabajos similares.

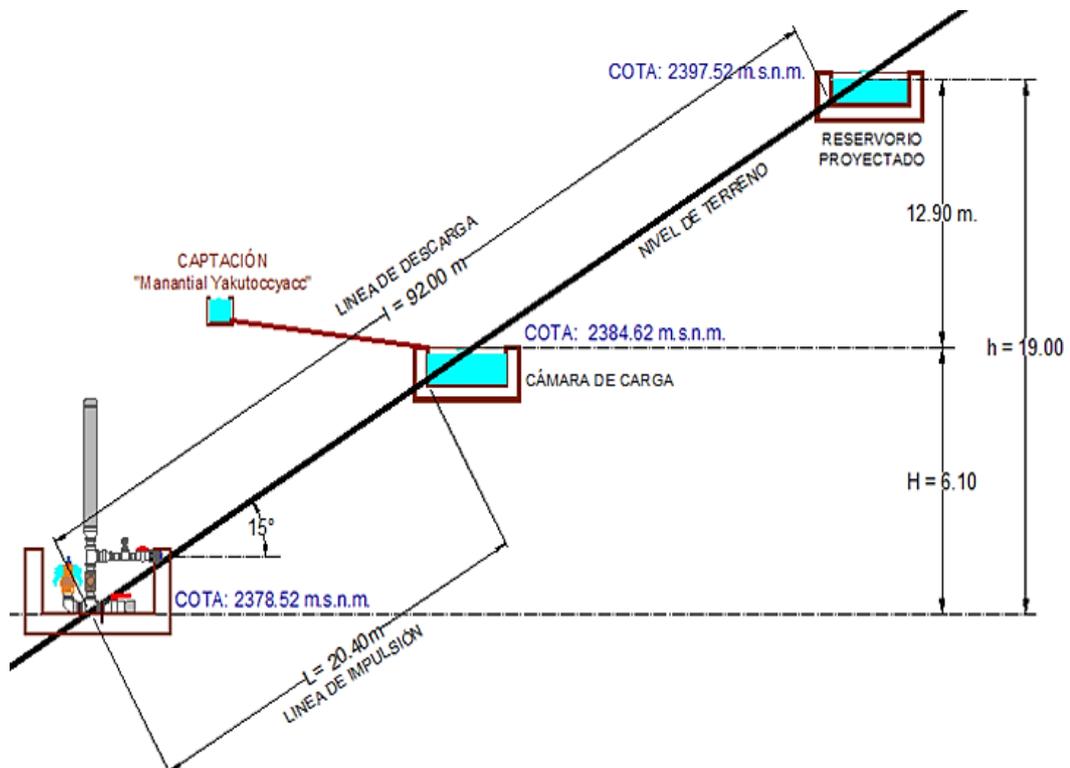


Figura III.2. Esquema definitivo del sistema de bombeo.

3.1.5. CÁLCULO DE LA DEMANDA DE AGUA DE RIEGO Y DEL CAUDAL DE DESCARGA (q)

La unidad agropecuaria de propiedad del Sr. Teodoro Palomino Cuba tiene una extensión de 0.59 hectáreas la cual carece del suministro de agua de riego; sin embargo, a 12.90 metros por debajo de ella existe un manantial cuyo caudal está disponible para su aprovechamiento, por lo que, en ocasiones el suministro de agua lo realizaba mediante una motobomba de 3 pulgadas.

Planteando como cultivo de referencia a la alfalfa, se determinó la demanda de agua a través de una hoja de cálculo elaborado en excel, cuyos datos de cálculos se presenta en la sección de anexo.

En la tabla III-2 se aprecia que las 0.59 hectáreas de terreno agrícola presenta una demanda hídrica de 0.66 l/s correspondiente al mes de octubre, siendo esta la época de mayor necesidad hídrica. El diseño del sistema de bombeo requería satisfacer la demanda de agua, para ello, a la necesidad hídrica se adoptó como el caudal de descarga, siendo este el parámetro de inicio para el diseño de los componentes del sistema de bombeo.

$$q = 0.66 \text{ l/s} = \mathbf{39.60 \text{ Litros/minuto}}$$

Tabla III-2. Calculo de la demanda de agua para la parcela de riego.

CÁLCULO DE LA DEMANDA DE AGUA

DESCRIPCIÓN			PERÍODO DE SIEMBRA																							
			Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.												
Número de días del mes			31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	30	31	30	31	30	31	30	31	30	31		
CULTIVO PRINCIPAL O CAMPAÑA GRANDE			Kc	Has.	Kc	Has.	Kc	Has.	Kc	Has.	Kc	Has.	Kc	Has.	Kc	Has.	Kc	Has.	Kc	Has.	Kc	Has.	Kc	Has.	Kc	Has.
ALFALFA	0.59	Has.	0.95	0.59	0.95	0.59	0.95	0.59	0.95	0.59	0.95	0.59	0.95	0.59	0.95	0.59	0.95	0.59	0.95	0.59	0.95	0.59	0.95	0.59	0.95	
Área total sembrada	0.59	Has.																								
(Kc) Promedio Coeficiente de Cultivo			0.95		0.95		0.95		0.95		0.95		0.95		0.95		0.95		0.95		0.95		0.95		0.95	
Área Mensual Sembrada (Has.)				0.59		0.59		0.59		0.59		0.59		0.59		0.59		0.59		0.59		0.59		0.59		0.59

(E _{To}) promedio Hargreaves-Penman (mm/día)	5.17	4.79	4.40	4.15	3.75	3.45	3.46	4.04	4.53	5.18	5.39	5.49
(E _{Tc}) Necesidad Real del Cultivo ó UC (mm/día)	4.91	4.55	4.18	3.94	3.56	3.28	3.28	3.84	4.30	4.92	5.12	5.21
(P _p) Precipitación Total Promedio Mensual (mm/mes)	83.50	101.51	89.16	40.29	12.30	8.67	9.53	9.01	15.23	34.17	43.17	85.05
(P _E) Pp. Efectiva (mm/mes)	72.30	85.00	76.50	37.70	12.10	8.60	9.40	8.90	14.80	32.30	40.20	73.50
(E _r) Eficiencia de riego promedio (%)	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
(D _n) Demanda Unitaria Neta de Riego (mm/mes)	79.86	42.32	52.94	80.47	98.40	89.68	92.41	110.11	114.18	120.23	113.53	88.10
(D _b) Demanda bruta total de Riego (mm/mes)	199.65	105.81	132.34	201.17	246.00	224.19	231.02	275.29	285.45	300.58	283.82	220.26
(D _b) Demanda bruta total de Riego (m ³ /ha)	1,996.48	1,058.05	1,323.40	2,011.74	2,459.95	2,241.90	2,310.17	2,752.85	2,854.47	3,005.80	2,838.25	2,202.55
(H _r) Número de Horas de riego/día	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
(D) Demanda de Agua del Proyecto (m ³)	1,177.9	624.3	780.8	1,186.9	1,451.4	1,322.7	1,363.0	1,624.2	1,684.1	1,773.4	1,674.6	1,299.5
(D) Demanda de Agua del Proyecto (l/s)	0.44	0.26	0.29	0.46	0.54	0.51	0.51	0.61	0.65	0.66	0.65	0.49
(M _r) Módulo de riego calculado (litros/seg/has.)	0.75	0.44	0.49	0.78	0.92	0.86	0.86	1.03	1.10	1.12	1.10	0.82

3.1.6. CÁLCULO DEL CAUDAL DE IMPULSIÓN (Q)

El caudal de impulsión fue la cantidad de agua que ingresó a la cámara de carga, captado y conducido desde el manantial Yakutoccyacc.

Rivadeneira y Silva, (2013) indica que para encontrar el caudal de impulsión se asume una eficiencia del 50 % para la bomba de ariete hidráulico y se calcula mediante la ecuación.

$$Q = \frac{q \cdot h}{\eta \cdot H} \quad \text{Ec. (1.38)}$$

Dónde:

Q = Caudal de impulsión (L.P.S.).

q = Caudal de entrega (L.P.S.).

h = Altura de descarga (m).

H = Altura de impulsión (m).

η = eficiencia (%)

Se tuvo los siguientes parámetros:

q = 0.66 L.P.S. (determinado por el cálculo de la demanda de agua).

h = 19.00 m.

H = 6.10 m.

η = 50 % (se asume esta eficiencia)

Reemplazando los valores en la ecuación 1.38:

$$Q = \frac{0.66 \cdot 19}{0.50 \cdot 6.10}$$

$$Q = 4.11 \text{ l/s}$$

$$Q = 247 \text{ l/min.}$$

Determinándose, que el caudal mínimo que ingresaría a la cámara de carga sería de 247 l/min, durante la operación del sistema de bombeo.

3.1.7. ELECCIÓN DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN

Watt, (1981) 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.

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

Dónde:

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

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

Campaña y Guamán, (2011) el correcto dimensionamiento tanto de la longitud como del diámetro de la tubería de impulsión es una de las partes esenciales del diseño; aunque el ram trabajara satisfactoriamente si la relación de la longitud (L) del tubo con su respectivo diámetro (D), está entre los limites $150 \leq (L/D) \leq 1000$, fuera de este rango la operación del ariete puede verse afectado notoriamente. La extensión de la tubería de impulso deberá estar contemplada de 2 a 6 veces la cabeza de suministro. Se debe tener en cuenta que el agua que se acelera en el tubo de alimentación es la que produce el “golpe de ariete”, por lo que éste ha de tener una longitud, inclinación y diámetro adecuados, sin curvas ni estrechamientos que provoquen pérdidas de carga por rozamiento. El costo del tubo de alimentación es el rubro más alto dentro de la instalación del ariete, por tanto una correcta selección del mismo reducirían considerablemente los gastos.

Galarza, (2013) de la longitud del conducto de impulso depende el funcionamiento automático de un ariete. Si no tiene la dimensión correcta, el cambio en volumen entre expansión y contracción no es suficiente para producir la succión necesaria para abrir la válvula de impulso, o el tiempo entre los dos extremos, será demasiado corto para superar la inercia de la misma válvula. La onda de compresión de agua deberá alcanzar la fuente abierta y ser disipado antes de que el agua fluya de nuevo a través de la válvula, las paredes interiores del tubo debe ser lo más liso posible para

evitar pérdidas por fricción, que afecta el rendimiento del ariete. La longitud de la tubería de impulsión es uno de los factores que influye de gran manera en el valor de la sobrepresión y eficiencia de funcionamiento del ariete la misma que se puede calcular mediante dos métodos; en función del diámetro de la tubería de impulsión y en función de la altura de impulsión “H”.

En función del diámetro de la tubería “D”:

Tabla III-3. Longitud de tubería de impulsión en función del diámetro

Parámetro	Valor (m)
Longitud mínima	L = 150 D
Longitud óptima	L = 500 D
Longitud máxima	L = 1000 D

Fuente: Galarza (2013).

Dónde:

L= Longitud de la tubería de impulsión (m)

D= Diámetro de la tubería de impulsión (mm)

En general la longitud no debe ser muy corta ya que esto provoca un cierre temprano de la válvula de impulsión lo cual no permite un aumento de presión adecuado; si la dimensión es muy larga las perdidas por fricción dominan reduciendo la capacidad de la bomba además una tubería de impulso de gran extensión dañaría 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 impulsión “H”:

Tabla III-4. Longitud de la tubería de impulsión en función de la altura de impulsión

Altura de impulsión (m)	Longitud de impulsión (m)
H ≤ 4.5 m	L=5 H
4.5 < H ≤ 8 m	L=4 H
4.5 < H ≤ 16 m	L=3 H
H ≥ 16 m	L=2 H

Fuente: Galarza (2013).

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

a. Determinación de la longitud de la tubería de impulsión (L)

La longitud de la tubería (L) de impulsión quedó determinada al ubicar la bomba de ariete hidráulico, el mismo que se puede apreciar en la figura III.2.

$$L = 20.40 \text{ m.}$$

Debido a ello, en esta sección solo se procedió a verificar el cumplimiento de las condiciones recomendadas y criterios establecidos en investigaciones similares.

Como recomendación se tiene que, la longitud de la tubería de impulsión en relación de la altura de impulsión debe estar dentro del intervalo:

$$2H \leq L \leq 6H$$

Reemplazando los valores calculados se tiene:

$$2 \times 6.10 \leq L \leq 6 \times 6.10$$

$$12.20\text{m} \leq 20.40\text{m} \leq 36.60\text{m}$$

Se aprecia que, la longitud de la línea de impulsión se encuentra dentro de los parámetros permisibles, lo cual garantiza un adecuado funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico.

b. Cálculo del diámetro de la tubería de impulsión en función de su longitud

Primero.- Haciendo uso de la Ecuación 1.24, planteada por S.B. Watt, el diámetro de la tubería de impulsión debe estar dentro del rango de:

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

$$\text{Diámetro máximo: } D = \frac{L}{150} = \frac{20.40}{150} = 136\text{mm} = 5.35 \text{ pulg.} \cong 4 \text{ pulg.}$$

$$\text{Diámetro mínimo: } D = \frac{L}{1000} = \frac{20.40}{1000} = 20.40\text{mm} = 0.80 \text{ pulg.} \cong 1 \text{ pulg.}$$

Según este criterio, el diámetro de la tubería de impulsión podría ser elegida desde 1 a 4 pulgadas, ya que las tuberías de 5 pulgadas de diámetro no son comerciales.

Segundo.- Cálculo del diámetro de la tubería de impulsión haciendo uso de tablas.

Tabla III-5. Longitud de tubería de impulsión para diferentes diámetros

Diámetro (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

Fuente: Campaña y Guamán (2011).

Para 20.40 metros de longitud de tubería de impulsión, según la tabla III-5 el diámetro a elegir correspondió desde 25 mm (1 pulgada) hasta los 100 mm (4 pulgadas).

c. Cálculo del diámetro de la tubería de impulsión en función del caudal de impulsión.

Galarza, (2013) el correcto dimensionamiento del diámetro de la tubería de impulsión es lo que va a permitir asegurar la correcta velocidad de cierre de la válvula de impulsión; de ahí que es necesaria su correcta selección, la tabla III-6 permite la selección del diámetro de la tubería de impulsión a partir del caudal de impulsión.

Tabla III-6. Diámetro de la tubería de impulsión según el caudal de impulsión.

Diámetro de tubería (Pulgadas)	Caudal de impulsión (l/min.)	
	Caudal mínimo	Caudal máximo
0.75	3	8
1	8	38
1.5	15	57
2	30	95
2.5	57	170
3	95	265
4	151	473

Fuente: Galarza (2013).

En la tabla III-6, se ubicó el rango en el que se encuentra el caudal de 247 l/s, hallándose dentro del rango de caudal mínimo de 95 l/s y caudal máximo de 265 l/s correspondiéndole a la tubería de impulsión el diámetro de 3 pulgadas.

Obando, et al. (2006). Según la guía Técnica Manejo y Aprovechamiento de Agua con fines agropecuarios la elección del diámetro de la tubería de impulsión se da según la siguiente tabla.

Tabla III-7. Caudal necesario para accionar la bomba ariete

Diámetro de cañería	Caudal mínimo
3/4"	5 l/min
1"	15 l/min
1 1/4"	22 l/min
1 1/2"	30 l/min
3"	90 l/min

Fuente: Guía Técnica manejo y Aprovechamiento de Agua con fines agropecuarios (2006).

Para el trabajo de investigación el caudal de impulsión calculado fue de 247 l/min y de acuerdo a la tabla III-7 el diámetro de la tubería de impulsión correspondiente fue de 3 pulgadas.

La empresa Española Fontanería Cáceres ofrece una tabla de los parámetros de diseño como, línea de impulsión y línea de descarga para el funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico.

Tabla III-8. Bomba de ariete hidráulico, cálculos, dimensiones y construcción.

TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN				TUBERÍA DE ELEVACIÓN				
H altura de trabajo = L/3 a 6				Q Caudal de alimentación (litros/min.)	Diámetro en mm. (cada 100m aumenta en 10mm)	altura de elevación máxima (m)	q Caudal de elevación máximo (litros/min.)	Litros aproximados elevados en un día
Inclinación = 10° a 45°								
D diámetro		L longitud en m.						
Pulg.	mm.	máximo	mínimo					
3/4	25	18	3	4 a 8	20	100	2	500 a 3000
1	32	25	4	6 a 20	20	130	5	500 a 7000
1 1/4	40	32	5	12 a 30	20 - 25	150	8	500 a 11000
1 1/2	50	40	6	20 a 50	25	150	10	500 a 14000
2	63	50	8	30 a 90	32	150	19	1000 a 27000
2 1/2	75	63	10	50 a 130	32 - 40	150	25	1000 a 36000
3	90	75	11	80 a 230	40 - 50	150	45	12500 a 64000

Fuente: Pérez Granado, Miguel Ángel (2015).

De acuerdo a la tabla III-8 la elección del diámetro de la tubería de impulsión, para el caudal de impulsión de 247 litros/minuto le correspondería el diámetro de 3 pulgadas.

Bonilla e Hidrobo, (2011) realizaron la comparación de las bondades de cada uno de los materiales utilizados en tuberías de presión detallados en la tabla III-9 y recomiendan el uso de tuberías de acero comercial.

Tabla III-9. Comparación de los diferentes materiales para tuberías de presión

Material	Perdida por fricción	Peso	Corrosión	Costo	Presión de trabajo
Acero comercial	3	3	3	2	5
PVC	5	5	4	4	4
Polietileno	5	5	5	3	4

Rango: malo = 1, excelente = 5.

Fuente: Bonilla e Hidrobo (2011).

También indican que, el diámetro de la tubería de presión se determina con la ecuación dada según Bondschú.

$$D = 1.27 * \frac{Q^{0.4268}}{(H_B + h_s)^{0.1423}}$$

Dónde:

D = Diámetro de la tubería de impulsión (m)

Q = Caudal de impulsión (m³/s).

H_B = Altura bruta (m).

H_s = Altura sobrepresión por golpe de ariete (m). Este valor es igual a $0.3H_B$.

Teniendo los siguientes parámetros:

$$Q = 0.00411 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_B = 6.10 \text{ m.}$$

$$H_s = 0.30 \times 6.10 \text{ m.} = 1.83 \text{ m.}$$

Reemplazando estos valores en la ecuación se calculó:

$$D = 1.27 * \frac{0.00411^{0.4268}}{(6.10 + 1.83)^{0.1423}}$$

$$D = 0.09066 \text{ m.} = 90.66 \text{ mm} \cong 3 \text{ pulgadas.}$$

Agüero, (1997) debe utilizarse al máximo la energía disponible para conducir el gasto deseado, lo que en la mayoría de los casos nos llevara a la selección del diámetro mínimo que permita presiones iguales o menores a la resistencia física que el material de la tubería soporte. Las tuberías normalmente siguen el perfil del terreno, salvo el caso de que, a lo largo de la ruta por donde se debería realizar la instalación de las tuberías, existan zonas rocosas insalvables, cruces de quebradas, terrenos erosionables, etc. que requieran de estructuras especiales.

Para los sistemas de abastecimiento de agua por gravedad a través de una línea de conducción se emplea para el cálculo del diámetro de la tubería la fórmula de Hazen y Williams.

$$Q = 0.0178 * C * D^{2.64} * hf^{0.54}$$

Dónde:

D = Diámetro de la tubería (Pulgada).

Q = Caudal (L.P.S.)

H_f = Pérdida de carga unitaria (m/m)

Teniendo definido los siguientes parámetros:

$$Q = 4.11 \text{ L.P.S}$$

$$L = 20.40 \text{ m}$$

$$\Delta h = 6.10 \text{ m}$$

Cota de la cámara de carga = 2384.62 m.s.n.m.

Cota de la bomba de ariete hidráulico = 2378.52 m.s.n.m.

Se calculó mediante el diámetro mínimo requerido para la línea de impulsión del sistema de bombeo, cuyo resultado se aprecia en la tabla III-11 es:

$$D = 1.52 \text{ pulg.} \cong 2 \text{ pulg.}$$

En la tabla III-11, se observa que la pérdida de carga en el tramo de 20.40 m es de 1.55 m, resultando la presión de trabajo de 4.55 m.c.a.; con la finalidad de reducir la pérdida de carga en el tramo y encontrar el diámetro óptimo para la conducción del caudal de impulsión de 247 litros/min, se realizó el cálculo asumiendo un diámetro de 3 pulgadas, ver tabla III-12, en la que efectivamente disminuyó la pérdida de carga a 0.22m en el tramo de 20.40m y obteniéndose una presión final de 5.88 m.c.a.

Finalmente para la elección de la tubería de impulsión, teniendo en referencia el diámetro calculado mediante criterios y recomendaciones de distintos investigadores de trabajos similares se obtuvo valores de diámetros que varía desde 1 a 4 pulgadas.

Por lo que para el presente trabajo de investigación se eligió de los resultados obtenidos mediante la fórmula Bondschú y Hazen - Williams, por ser más confiables ya que estos, emplean variables de las condiciones de funcionamiento de la bomba de ariete, quedando determinado el diámetro de la línea de impulsión en 3 pulgadas.

$$D = 3 \text{ pulgadas.}$$

Para la elección del tipo de material de la tubería de impulsión se consideró factores como costo, disponibilidad en el mercado local, facilidad de transporte, resistencia a la corrosión y facilidad en su instalación, eligiéndose la tubería de PVC con las siguientes características técnicas.

Tabla III-10. Características técnicas de la tubería PVC– NTP 399 -002 ITINTEC

Diámetro exterior		longitud		Clase 7.5 SDR 27.7 108 Psi (7.5 bar)	
Nominal (Pulg.)	Real (mm)	Total (metros)	Útil (metros)	Espesor (mm)	Peso (Kg/tubo)
3	88.5	5	4.93	3.2	6.581

Coefficiente de fricción: $n = 0.009$ Manning; $C = 150$ Hazen-Williams

Fuente: Pavco (2016).

Tabla III-11. Calculo del diámetro de la tubería de impulsión según Hazen y Williams

LINEA DE IMPULSION	LONGITUD DE IMPULSION (m)	COTA DEL TERRENO		DIFERENCIA DE ALTURA (m)	Pérdida de Carga Unitaria Disponible hf (m/m)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL DE DISEÑO (L.P.S.)	DIAMETRO CALCULADO (Pulg.)	Diámetro Adoptado (pulgadas)	Perdida de Carga Unitaria hf (m/m)	Perdida de Carga del Tramo Hf (m)	COTA PIEZOMÉTRICA		PRESION (m.c.a.)		
		INICIAL (m.s.n.m)	FINAL (m.s.n.m)									INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
0+000	0+020.40	20.40	2,384.62	2,378.52	6.10	0.2990	2.03	4.11	1.52	2.00	0.076190	1.55	2,384.62	2,383.07	0.00	4.55

Tabla III-12. Determinación definitiva del diámetro de la tubería de impulsión

LINEA DE IMPULSION	LONGITUD DE IMPULSION (m)	COTA DEL TERRENO		DIFERENCIA DE ALTURA (m)	Pérdida de Carga Unitaria Disponible hf (m/m)	VELOCIDAD (m/s)	CAUDAL DE DISEÑO (L.P.S.)	DIAMETRO CALCULADO (Pulg.)	Diámetro Adoptado (pulgadas)	Perdida de Carga Unitaria hf (m/m)	Perdida de Carga del Tramo Hf (m)	COTA PIEZOMÉTRICA		PRESION (m.c.a.)		
		INICIAL (m.s.n.m)	FINAL (m.s.n.m)									INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
0+000	0+020.40	20.40	2,384.62	2,378.52	6.10	0.2990	0.90	4.11	1.52	3.00	0.010596	0.22	2,384.62	2,384.40	0.00	5.88

3.1.8. TAMAÑO DE LA BOMBA DE ARIETE

El tamaño de la bomba de ariete fue la extensión del diámetro de la tubería de impulsión. En el diseño de los componentes del sistema de bombeo el diámetro de la tubería de impulsión quedó determinado en 3 pulgadas, en consecuencia el tamaño de la bomba de ariete hidráulico también fue establecida en 3 pulgadas de diámetro.

3.1.9. ELECCIÓN DE LA TUBERÍA DE DESCARGA

Campaña y Guamán, (2011) mencionan que el agua puede ser bombeada a cualquier distancia, pero la longitud de la tubería involucra trabajo adicional para el ram, ya que tiene que vencer la fuerza de fricción ofrecida por las paredes de la tubería.

A diferencia de la tubería de alimentación 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 impulso, aunque es más lógico determinarlo según el caudal de bombeo, el largo del tubo y la potencia disponible.

Tabla III-13. Diámetro de tubería de entrega en función del caudal

Diámetro del conducto de entrega (mm)	Caudal (l/min)
30	6 – 36
40	37 – 60
50	61 – 90
80	91 -234
100	235 – 360

Fuente: Campaña y Guamán (2011)

Tomando el criterio mencionado, además considerando el diámetro de la tubería de impulsión y caudal de impulsión se determinó 1 pulgada y ½ como diámetro de la tubería de descarga; por otra parte, analizando la tabla III-8 indica que para 39.60 l/min del caudal de descarga le correspondería 40mm como diámetro; asimismo

usando la tabla III-13 se determinó que para los 39.60 litros/minuto de caudal de impulsión le correspondería el diámetro de 40 mm.

Finalmente, del rango de valores de diámetro obtenidos por los distintos criterios, se eligió 1 pulgada y ½ como diámetro definitivo de la tubería de descarga.

– **Elección del Material de la tubería de descarga**

Campana y Guamán, (2011) menciona que este deberá ser rígido, con paredes lo más lisas posible, las uniones deben ser 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 con 1 pulgada y ½ de diámetro.

3.1.10. CÁMARA DE CARGA

Galarza, (2013) 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. En donde se utilizará un desarenador, filtros de malla gruesa y otro de malla fina.

Campana y Guamán, (2011) 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.

La cámara de carga, es un componente correspondiente a las obras civiles del sistema de bombeo, permite alimentar un caudal permanente a la tubería de impulsión de acuerdo al funcionamiento y calibración de la bomba de ariete hidráulico.

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.

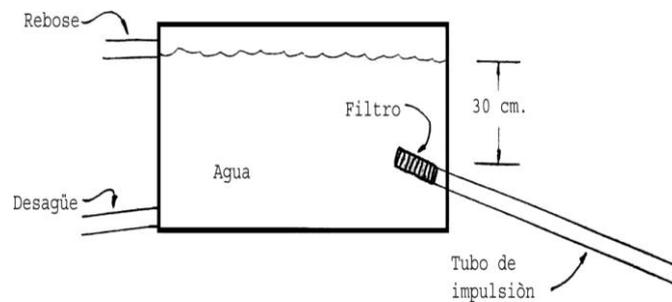


Figura III.3. Esquema de una cámara de carga

En el diseño del sistema de bombeo planteado, fue necesario solo una cámara de carga que mantenga constante el ingreso del agua a la tubería de impulsión, dado que el caudal ofertado por el manantial Yakutoccyacc fue de 33.11 l/s, superior a la demanda, siendo suficiente para cubrir el caudal de impulsión requerido para satisfacer la demanda de agua a la parcela de riego. Se planteó una cámara de carga con 0.80 m de largo por 0.60 m de ancho y una altura de 0.60m, cuyo esquema se muestra en la figura III-4.

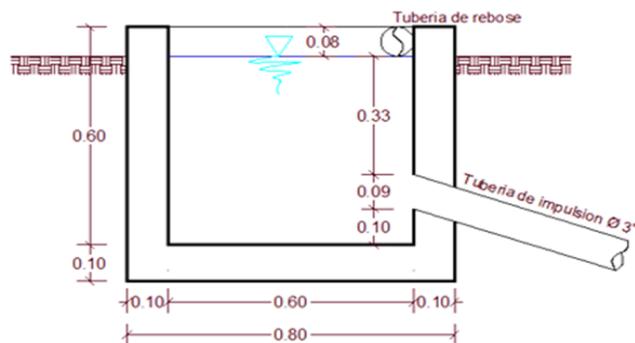


Figura III.4. Detalles de la cámara de carga

3.1.11. RESERVORIO DE ALMACENAMIENTO

El dimensionamiento del tanque es de vital importancia, puesto que en esta se almacena el agua bombeada y permite conseguir un caudal adecuado o manejable para realizar el riego a gravedad.

Para lograr la cobertura total de riego de la parcela el reservorio de almacenamiento se ubicó en la cota más elevada de la cabecera de chacra, a una distancia de 92 m desde la ubicación de la bomba de ariete y con un desnivel de 19.00 m. En el diseño se optó por un reservorio de geomembrana HDPE de 2mm de espesor de forma rectangular y perfil trapezoidal, buscando minimizar los costos de su construcción.

Capacidad y Tamaño del reservorio

Para determinar la capacidad y dimensiones del reservorio de almacenamiento se realizó a partir de los siguientes datos:

Caudal de descarga = 0.66 l/s.

Tiempo de almacenamiento = 24 horas (el ariete trabaja las 24 horas)

El cálculo del volumen de almacenamiento se realizó mediante la fórmula:

$$V_A = Q * t$$

Dónde:

V_A = Volumen de almacenamiento (m^3)

Q = caudal de descarga (m^3 /hora)

t = tiempo de almacenamiento (horas)

Reemplazando valores se obtuvo:

$$V_A = 2.376 \frac{m^3}{h} * 24h = 57.024 m^3$$

Por lo tanto, el volumen del reservorio de almacenamiento quedó determinado en 57 m^3 , proponiéndose para ello las dimensiones que se detallan en la figura III-5 y figura III-6.

El reservorio de almacenamiento que se planteó tiene las siguientes dimensiones:

Longitud mayor = 14.00 m.

Ancho mayor = 3.50 m.
 Longitud de base = 13.00 m.
 Ancho de base = 2.50 m.
 Altura = 1.50 m.

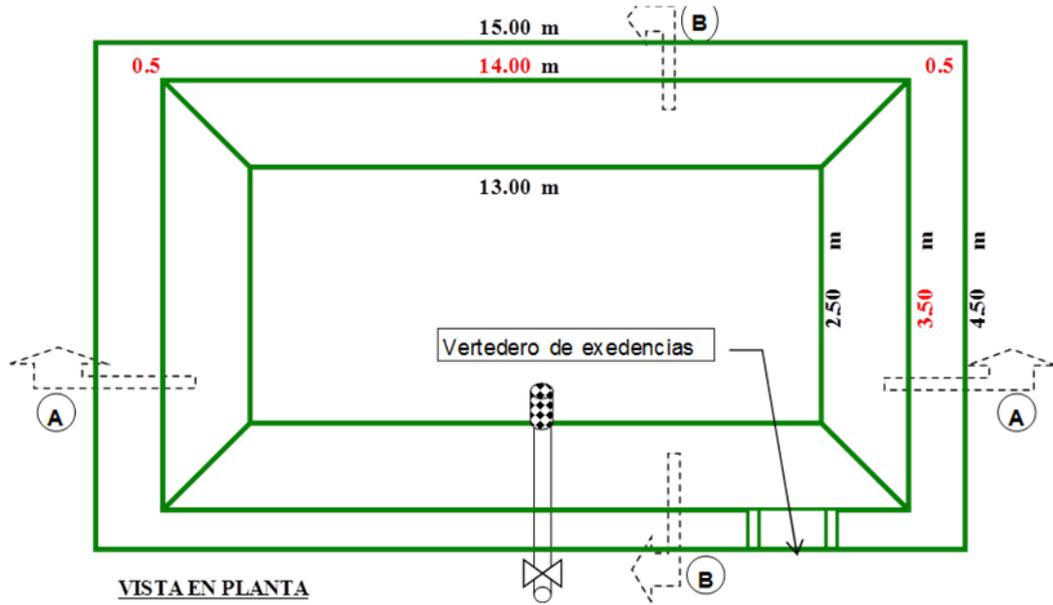


Figura III.5. Dimensiones del reservorio de almacenamiento.

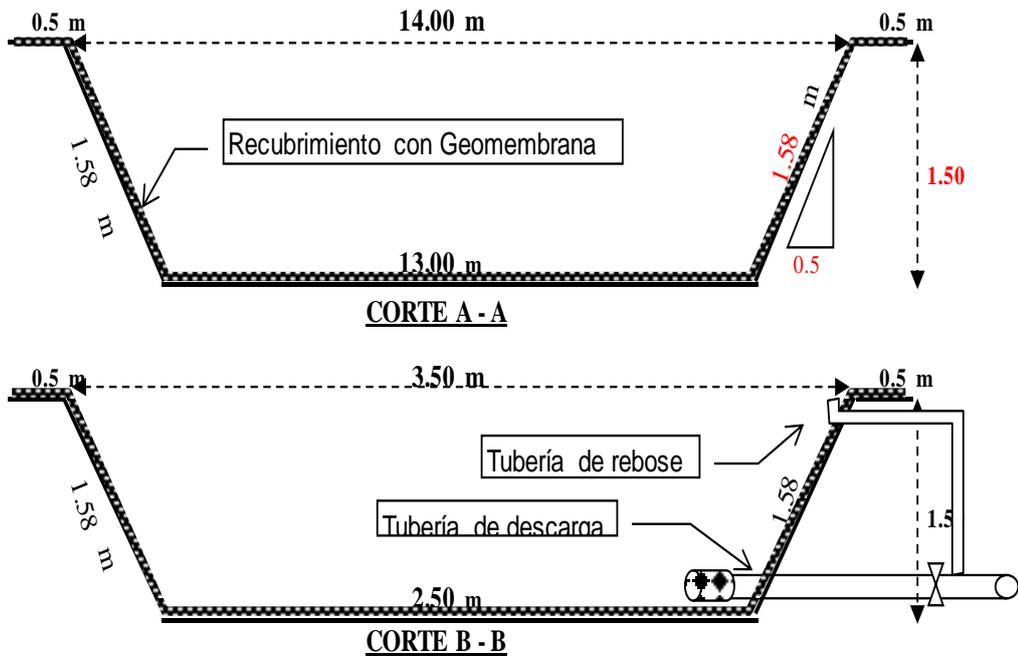


Figura III.6. Detalles del dimensionamiento del reservorio

3.1.12. 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 III-14. Resultados de parámetros iniciales de diseño del sistema de bombeo.

N°	PARAMETRO	VALOR	UNIDAD
1	Caudal de la fuente de agua	1,986.60	L/min.
2	Desnivel entre cámara de carga y reservorio	12.90	m.
3	Área de la parcela de riego	0.59	Has.
4	Demanda de agua para el área de riego	39.60	L/min.
5	Eficiencia inicial asumida para la bomba de ariete	50.00	%
6	Caudal de impulsión	247.00	L/min.

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 III-15. Resultado del cálculo de diseño del sistema de bombeo.

N°	COMPONENTE	VALOR	UNID.	MATERIAL
1	Captación			
1.1	Captación artesanal			Ninguna
2	Línea de conducción			
2.1	Diámetro Tubería de línea de conducción	3	Pulg.	PVC
3	Cámara de carga			
3.1	volumen de cámara de carga (0.80x0.60x0.60)	0.29	m ³	Concreto y ladrillo con revestimiento
4	Línea de impulsión			
4.1	Altura de impulsión	6.1	m.	
4.2	Longitud de tubería de impulsión	20.4	m.	Tubería PVC SAP C-7.5
4.3	Caudal de impulsión	247	L/min.	
4.4	Diámetro de tubería de impulsión	20.4	m.	
5	Bomba de ariete hidráulico			
5.1	Diámetro de la bomba de ariete	3	Pulg.	F° G°, PVC y HDPE
6	Línea de descarga			
6.1	Altura de descarga	19	m.	
6.2	Longitud de tubería de impulsión	92	m.	Manguera HDPE C-8
6.3	Caudal de descarga	39.6	L/min.	
6.4	Diámetro de tubería de descarga	1.5	Pulg.	
7	Reservorio			
7.1	volumen del reservorio de almacenamiento	57	m ³	Proyectado
8	Cámara de bombeo			
8.1	Volumen de la cámara de bombeo (1.00x0.70x0.50)	0.35	m ³	Concreto y ladrillo con revestimiento

3.2. DISEÑO DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO

3.2.1. CUERPO DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO

Rivadeneira y Silva, (2013) en el cuerpo del ariete se alojarán los componentes internos como la válvula de impulso, válvula de descarga y cámara de aire; el cuerpo debe ser capaz de soportar las presiones internas que se produzcan.

Campaña y Guamán, (2011) mencionan que las condiciones de trabajo tanto del cuerpo como de la cámara de aire son: temperatura ambiente, esfuerzos de presión fluctuantes, corrosión; por tanto las características que deben tener son: resistencia a la corrosión y soldabilidad.

El tamaño del cuerpo de la bomba está en relación al diámetro de la tubería de impulsión; siendo para el presente trabajo de investigación el diámetro de la tubería de impulsión de 3 pulgadas, por lo que, el diámetro del cuerpo de la bomba también fue establecido de 3 pulgadas. Los accesorios elegidos para su construcción fueron de hierro galvanizado y PVC pesado, los que son accesorios roscados fáciles de encontrarlos en las ferreterías locales. Dichos accesorios se detallados a continuación:

Tabla III-16. Accesorios que componen el cuerpo de la bomba de ariete hidráulico.

N°	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
1	Adaptador UPR de 3"	PVC	1	Pza.
2	Válvula esfera de 3"	PVC	1	Pza.
3	Niple de 3" x 3 1/2 "	F° G°	4	Pzas.
4	Tee de 3" x 90°	F° G°	1	Pzas.
5	Codo de 90° de 3"	F° G°	1	Pza.

La configuración del cuerpo de la bomba de ariete fue diseñado a base de elementos roscados. La calidad y el material de los accesorios fueron seleccionadas teniendo en cuenta las sobrepresiones a producirse por el golpe de ariete; siendo para ello los elementos metálicos los que aumentan la robustez, además disminuyen las pérdidas de velocidad y presión.

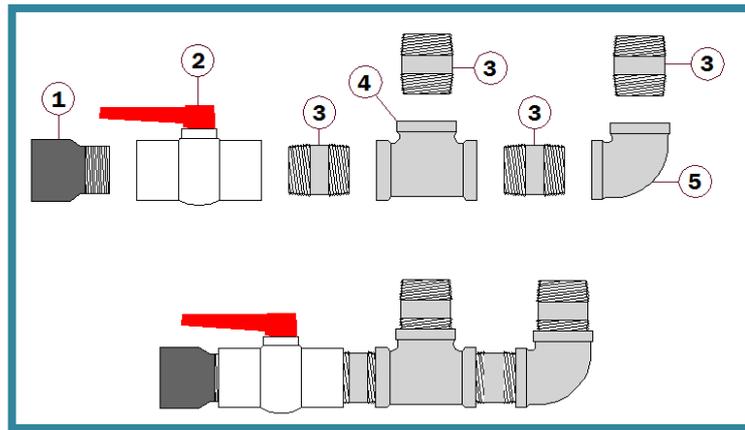


Figura III.7. Elementos del cuerpo de la bomba de ariete.

El cuerpo del ariete está constituido por accesorios de hierro galvanizado, los cuales son un importante material en la ingeniería debido a su alta duración, resistencia además es muy fácil de conseguir en el mercado local. En este componente de la bomba de ariete hidráulico se alojan las válvulas de impulsión y de descarga, además aquí, confluyen la tubería de impulsión, válvula de impulsión y la válvula de descarga.

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 : Opera a un conveniente, que es regulable.

Robustez : Elevada calidad y bajos costos de construcción.

Construcción : El proceso de manufactura es sencillo como cualquier trabajo de gasfitería.

3.2.2. DISEÑO DE LA VÁLVULA DE IMPULSIÓN

Galarza, (2013) la válvula de impulsión tiene movimiento axial, su asiento es plano y tiene forma de platillo, se cierra 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. El dimensionamiento de esta válvula está en función del diámetro de la tubería de impulsión.

Rivadeneira y Silva, (2013) mencionan los criterios para la selección y diseño de la válvula de impulso:

- El sellado de la válvula debe ser hermético.
- La válvula debe resistir de manera adecuada la fatiga a la que va a estar expuesta.
- El sistema de la válvula de impulso debe permitir la libre apertura y cierre de la misma rápidamente.
- La válvula debe tener capacidad de regulación para garantizar el máxima rendimiento de la bomba.

Paredes y Tuquinga, (2012) la válvula de impulsión es una de las partes más sensibles del ariete una selección correcta del tipo que se vaya a utilizar garantizará un funcionamiento eficiente. Para su correcta operación debe cumplir características como: soportar el golpe de ariete, evitar la excesiva resistencia del flujo, resistencia a la fatiga, vida útil prolongada.

En el presente trabajo de investigación, se eligió utilizar la válvula de impulsión con resorte, por su versatilidad para su calibración, fácil adaptación, montaje y por no emplear soldadura en su manufactura. La válvula de impulsión se asienta sobre el codo del cuerpo de la bomba y la carrera de la válvula lo gobierna un resorte.

Los criterios de valoración más importantes que se consideraron en este diseño fueron:

- Sensibilidad : De esto depende la correcta operación 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 válvula check horizontal con canastilla, pernos, resortes, tuercas, arandelas y se puede manufacturar en cualquier taller mecánico.
- Montaje : Posee un fácil montaje, utilizando solamente una llave stillson, evitando así pérdidas en tiempos muertos.
- Construcción : El proceso de manufactura no es compleja.

Tomando en consideración estos aspectos, el diseño consistió en la adecuación de una válvula check horizontal con canastilla de 3 pulgadas de diámetro fabricada con material de bronce, la cual fue comprada en una ferretería local.

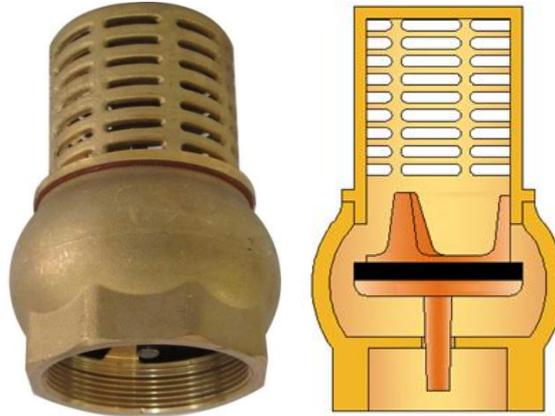


Figura III.8. Válvula de check horizontal con canastilla de 3 pulgadas (bronce).

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

a. Verificación del diámetro y espesor de la válvula

Al emplear este accesorio prefabricado, se encontró los siguientes valores establecidos desde su fabricación:

- Diámetro de pie de válvula = 0.10 m.
- Espesor del pie de válvula = 0.003 m.

Estos valores fueron verificados mediante las fórmulas utilizadas para determinar el diámetro y espesor de la válvula de impulsión.

Nekrasov, (1968) indica que el diámetro de la válvula constituye habitualmente la siguiente relación:

$$d_v = (1.15 \text{ a } 1.25) * d$$

Dónde:

d_v = diámetro de la válvula.

d = diámetro del orificio del asiento de la válvula.

Para el caso del trabajo de investigación este dato estuvo preestablecido desde la fabricación de la válvula check.

$$d = 0.082 \text{ m.}$$

Reemplazando en la siguiente relación se verificó su dimensionamiento:

$$d_v = 1.25 * 0.082 \text{ m.}$$

$$\mathbf{d_v = 0.1025 \text{ m.}}$$

Por lo tanto, la dimensión del diámetro de la válvula establecida desde la fábrica es adecuada.

Nekrasov, (1968) indica que el espesor de las válvulas de asiento se determina con la siguiente relación:

$$e = 0.14 * d$$

Dónde:

e = Espesor del pie de la válvula de impulso (m)

d = Diámetro del orificio de asiento (m)

Reemplazando el valor de “d” se determinó:

$$e = 0.14 * 0.10 \text{ m.}$$

$$\mathbf{e = 0.01435 \text{ m.} \cong 2 \text{ mm}}$$

Comparando el valor resultante del diseño con respecto al espesor establecida desde su fabricación de la válvula, resulta menor ($2\text{mm} < 3\text{mm}$) por lo que, el espesor del pie de la válvula de impulsión fabricada es adecuado; quedando definido el espesor del pie de la válvula en 3mm así encontrándose dentro del parámetro recomendado.

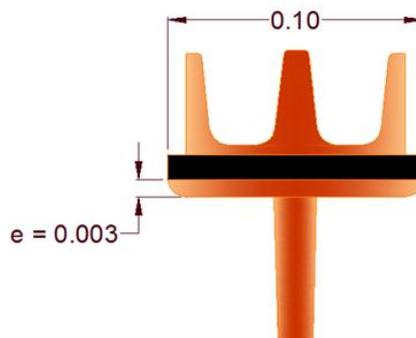


Figura III.9. Diámetro y espesor de pie de válvula.

b. Cálculo del diámetro de vástago

Campaña y Guamán, (2012) el vástago es el elemento encargado de regular la carrera de la válvula por medio de un arreglo de tuercas y un resorte. Está sujeto a golpeteo continuo, corrosión y desgaste por fricción en la guía; en consecuencia debe reunir las siguientes características: resistencia a la corrosión, alta tenacidad, resistencia al desgaste por fricción.

Colombo, (1901) indica que el diámetro del vástago de la válvula tiene la siguiente relación respecto al diámetro del orificio:

$$d_v = 10 + 0.12 * d$$

Dónde:

d_v = Diámetro de la vástago.

d = Diámetro del orificio del asiento de la válvula (mm).

Reemplazando el valor del diámetro del orificio se halló el diámetro del vástago:

$$d_v = 10 + 0.12 * 0.082 = 19.84 \text{ mm} \cong 0.78 \text{ pulg.}$$

El vástago está constituido por un perno coche, para el cual, el diámetro de mayor comercialización es el de ½ pulgada siendo este aproximado al requerido según el diseño, quedando así establecido el diámetro del vástago en ½ pulgada; asimismo la tuercas y contratueras son del mismo diámetro.

c. Cálculo de la carrera

Paredes y Tuquinga, (2012) es una de las partes esenciales de la bomba, para una óptima operación esta deberá cerrarse tan pronto como sea posible, bajo esta premisa lo mejor es crear una válvula liviana y de carrera corta, pero tampoco deberá ser demasiada leve porque no abrirá el tiempo necesario en el ciclo; por otro lado si la carrera es muy corta no puede escapar la suficiente agua, esto limita la velocidad dentro de la tubería de conducción y reduce la presión.

Según STRANEO - CONSORTI, para válvulas de asiento plano la carrera queda limitada al 25 – 33% del diámetro de la válvula.

$$S = (25\% \text{ a } 33\%) * d_v$$

Dónde:

S = Carrera.

d_v = Diámetro del pie de válvula.

La carrera de la válvula de impulsión estuvo preestablecida desde la fábrica ya que ésta es una pieza integrante de la válvula de succión con canastilla, siendo cuya medida de 40mm, por lo que, en esta etapa solo se realizó la verificación:

$$S_{\text{mínima}} = 0.25 * 0.10 \text{ m.} = 0.025 \text{ m.} = 25 \text{ mm.}$$

$$S_{\text{maximo}} = 0.33 * 0.10 \text{ m.} = 0.033 \text{ m.} = 33 \text{ mm.}$$

Se verifica que la longitud de carrera de fábrica es aproximada al máximo recomendado, quedando determinada la carrera en 40 mm.

$$S = 4 \text{ cm.}$$

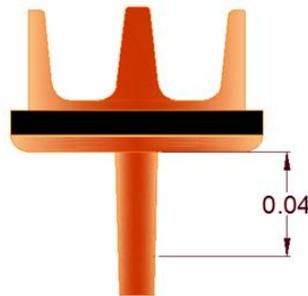


Figura III.10. Carrera máxima de la válvula de impulsión

d. Selección del resorte de compresión

Campaña y Guamán, (2011) indican que el resorte se encuentra alojada entre la bancada de la válvula y el asiento de la misma, la constante elástica es función directa de la fuerza que debe ejercer la válvula al momento de frenar la columna de agua.

Por la disposición del resorte estos remplazan a los pesos, que se utilizan en el diseño de otros tipos de válvula de impulsión, por lo tanto la única fuerza que permite el golpe de ariete es la elástica generada por el resorte.

Para la selección del resorte se requiere conocer el valor de la fuerza que actúa sobre la válvula de impulsión generando el cierre.

– **Cálculo de la fuerza de cierre de la válvula de impulsión y K del resorte**

De la tabla III-12 se tiene que la presión hidrodinámica en el pie de la válvula de impulsión es de 5.88 m.c.a. y la fuerza que genera esta presión es la que también iniciará el desplazamiento de la válvula de impulsión para el cierre, en consecuencia, con la compresión del resorte; por lo tanto, la elástica del resorte debe estar en relación a esta fuerza.

El cálculo de la fuerza fue mediante la fórmula:

$$P = \frac{F}{A}$$

Dónde:

P = Presión hidrodinámica en el pie de válvula de impulsión (Pa).

F = Fuerza ejercida en el pie de válvula de impulsión (N).

A = Área de pie de válvula de impulsión (m²)

Se tuvo:

$$P = 5.88 \text{ m.c.a.} = 5.88 * 0.098 \text{ bar} = 0.576 * 10^5 \text{ Pa.}$$

El cálculo del área del pie de válvula de impulsión se realizó mediante la fórmula:

$$A_v = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Dónde:

A_v = Área de pie de válvula (m²).

D = diámetro de pie de válvula (m)

Reemplazando el valor de D = 0.10 m se halló el área de la válvula:

$$A_v = 0.00785 \text{ m}^2$$

Teniendo los siguientes datos:

$$P = 0.576 * 10^5 \text{ Pa.}$$

$$A_v = 0.00785 \text{ m}^2$$

Y reemplazando estos valores en la fórmula, se calculó la fuerza:

$$F = 452.16 \text{ N}$$

Este resultado permitió determinar el coeficiente de elasticidad K del resorte a utilizarse:

$$K = \frac{452.16 \text{ N}}{40 \text{ mm}}$$

$$K = 11.30 \text{ N/mm}$$

Finalmente los parámetros que se utilizó para seleccionar el resorte fueron:

Carrera de la válvula (S) = 40 mm.

Coefficiente de elasticidad del resorte (K) = 11.30 N/mm

– **Características técnicas del resorte de compresión de alambre de piano**

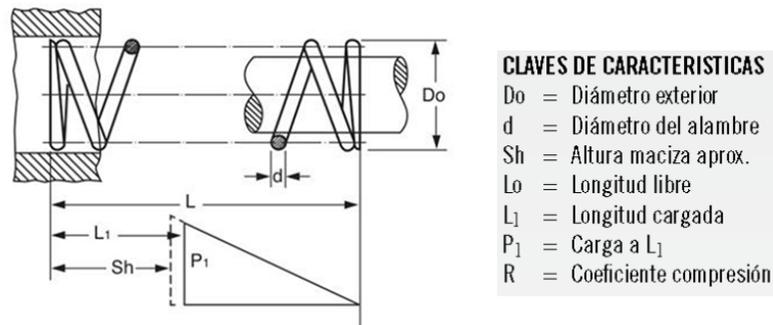


Figura III.11. Esquema de características del resorte de compresión
 Fuente: Barnes Group Inc. (2016)

Tabla III-17. Características técnicas del resorte compresión – alambre de piano.

COMPRESSION SPRINGS MUSIC WIRE							
Part Number	Do (mm)	d (mm)	Lo (mm)	L ₁ (mm)	Sh (mm)	P ₁ (N)	R (N/mm)
C0720-105-2500M			63.5	45.69	31.95		14.64
C0720-105-2750M			69.85	50.11	34.57		13.2
C0720-105-3000M		2.67	76.2	54.51	37.19	260.65	12.03
C0720-105-3500M			88.9	63.32	42.42		10.19
C0720-105-4000M			101.6	72.14	47.65		8.84
C0720-112-0750M			19.05	15.29	14.63		82.09
C0720-112-0880M			22.35	17.65	16.15		65.82
C0720-112-1000M			25.4	19.84	17.55		55.63
C0720-112-1250M	18.29		31.75	24.38	20.45		42.08
C0720-112-1500M			38.1	28.96	23.34		33.83
C0720-112-1750M			44.45	33.5	26.26		28.3
C0720-112-2000M		2.84	50.8	38.07	29.16	309.54	24.3
C0720-112-2250M			57.15	42.62	32.05		21.31
C0720-112-2500M			63.5	47.19	34.95		18.96
C0720-112-2750M			69.85	51.74	37.87		17.09
C0720-112-3000M			76.2	56.29	40.77		15.55
C0720-112-3500M			88.9	65.41	46.58		13.19
C0720-112-4000M			101.6	74.52	52.37		11.43

Fuente: Barnes Group Inc. (2016).

En la tabla III-17, se buscó el resorte con los requerimientos técnicos determinados en el diseño; seleccionándose así al resorte de compresión alambre de piano con las siguientes características:

Resorte Principal

Numero de pieza: CO720-112-4000M

Material	= alambre de piano ASTM A228
Diámetro exterior (D_0)	= 18.29 mm.
Diámetro de alambre (d)	= 2.84 mm.
Longitud libre (L_0)	= 101.6 mm.
Máxima compresión	= 40% de la Longitud libre
Coefficiente de compresión K (R)	= 11.43 N/mm

Con la finalidad de que, la descompresión no sea brusca se seleccionó un resorte secundario que haga juego con el resorte principal, teniendo las siguientes características:

Resorte secundario:

Numero de pieza: CO720-055-2500M

Material	= alambre de piano ASTM A228
Diámetro exterior (D_0)	= 18.29 mm.
Diámetro de alambre (d)	= 1.4 mm.
Longitud libre (L_0)	= 63.5 mm.
Longitud de máxima compresión	= 35.69 mm.
Coefficiente de compresión (R)	= 1.21 N/mm



Figura III.12. Resorte principal y secundario de la válvula de impulsión.

e. Bancada

Este mecanismo permitió unir el pie y vástago de válvula a la canastilla de la válvula check de succión, está conformada por una primera bancada ubicada en la parte superior de la canastilla, en el cual, se hizo una perforación con diámetro de ½” el mismo del vástago; la segunda bancada se diseñó de una platina de 2 mm x 1” x 11cm en la que se hizo una perforación en la parte central para permitir que atravesase el vástago, además se hizo los extremos dos perforaciones con las cuales poder fijar a la canastilla de la válvula check de succión. Estas bancadas permiten mantener verticalmente al vástago durante los movimientos de subida y bajada al accionar el cierre y apertura de la válvula de impulsión. La posición de la platina es regulable según la longitud de desplazamiento del vástago.



Figura III.13. Primera bancada manufacturada en la canastilla de broce. (e = 2mm)



Figura III.14. Segunda bancada centradora del vástago (e = 2mm).

f. Cálculo de la longitud de vástago

La longitud del vástago fue determinado mediante la suma de la carrera, longitud natural del resorte, espesor de la bancada, espesor de las arandelas, altura de las tuercas y contratuercas.

Las tuercas y contratuercas tienen una altura de 1cm, las arandelas un espesor de 0.2 cm, espesor de la bancada superior 0.2 cm y espesor de la bancada centradora 0.2 cm.

Al sumar las dimensiones de los elementos, considerando su cantidad, que alojará el vástago se estableció su longitud:

$$L_v = 4.0 \text{ cm} + 10.16 \text{ cm} + 2*1 \text{ cm} + 2*0.2 \text{ cm} + 3.57 \text{ cm} + 0.2 \text{ cm} + 0.2 \text{ cm}$$

$$L_v = 20.53 \text{ cm.}$$

Se eligió como vástago de la válvula, un perno coche de acero inoxidable con rosca fina de ½ pulgada de diámetro y de 8 pulgadas de longitud, con el respectivo juego de tuercas y arandela.

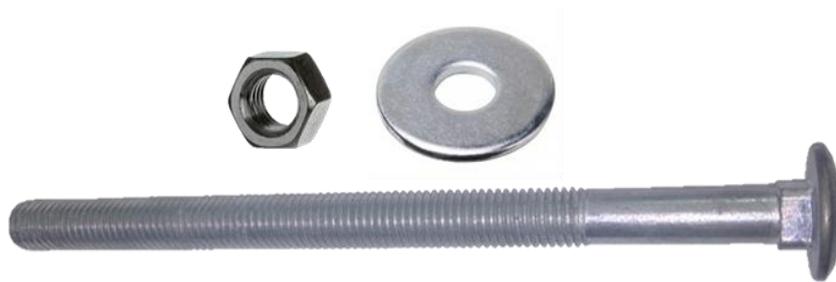


Figura III.15. Perno coche, tuerca y arandela.

g. Configuración final de la válvula de impulsión con resorte

Según el diseño realizado la configuración final de la válvula de impulsión con resorte, adaptada a una válvula check horizontal con canastilla de 3 pulgadas fue como se aprecia en la figura III.16; siendo su virtud de ser regulable la longitud de desplazamiento del vástago, con ello, establecer convenientemente el número de golpes por minuto permitiendo la rapidez o lentitud de la apertura y cierre de la válvula durante la fase de operación de la bomba de ariete hidráulico.

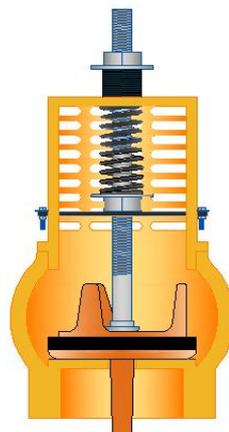


Figura III.16. Esquema de la válvula de impulsión gobernada por resorte.

En resumen, las piezas que componen la válvula de impulsión se precisan en la siguiente tabla:

Tabla III-18. Componentes de la válvula de impulsión.

N°	DESCRIPCION	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
1	Válvula check horizontal con canastilla de 3"	Bronce	1	Pza.
2	Perno coche de ½" x 8"	Acero Inoxidable	1	Pza.
3	Tuerca de ½"	Acero Inoxidable	2	Pzas.
4	Arandela de ½"	Acero Inoxidable	2	Pzas.
5	Resorte	Alambre de piano	2	Pzas.
6	Platina de 2mm x 1" x 11cm	Acero	1	Pza.
7	Perno de ¼" x 1"	Acero Inoxidable	2	Pzas.
8	Tuerca de ¼"	Acero Inoxidable	2	Pzas.
9	Arandela de ¼"	Acero Inoxidable	2	Pzas.

3.2.3. SELECCIÓN DE LA VÁLVULA DE DESCARGA

Paredes y Tuquinga, (2012) esta válvula está ubicada entre el pasaje de la cámara de aire y el cuerpo de la bomba de ariete. Esta válvula permite que el flujo del agua tenga una sola dirección y evita que el agua bombeada regrese al cuerpo del ariete, por tanto, esta válvula check o anti retorno, posee gran sensibilidad a los cambios de presión.

Para el presente trabajo de investigación, como válvula de descarga se seleccionó una válvula check tipo veleta de 3" de diámetro (antiretorno) cuyo tamaño del diámetro está en relación al cuerpo del ariete, además, es un accesorio comercial fácil de adquirirlo en el mercado local.

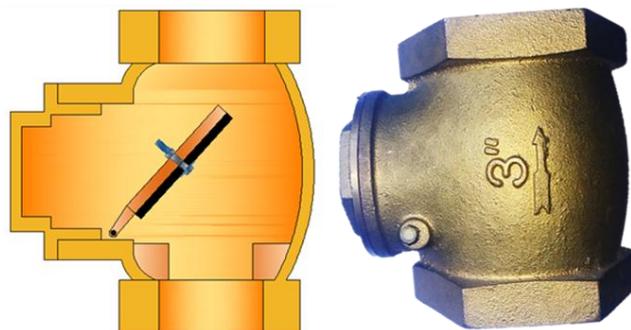


Figura III.17. Válvula de descarga.

El diseño de este componente consistió en verificar las dimensiones con las que vino construida, a fin de garantizar un adecuado funcionamiento de la bomba de ariete.

– **Verificación del área de paso.**

La verificación del área de paso de la válvula de descarga se realizó en base a las siguientes consideraciones:

1. El caudal de descarga que atraviesa la válvula debe ser el mayor posible.
2. La velocidad del agua que atraviesa la válvula será de movimiento retardado y su valor igual al valor medio de la velocidad en la tubería de impulso necesaria para el cierre de la válvula de impulso.

El área de paso (A) requerido:

$$A_{pd} = \frac{q}{V_d}$$

Dónde:

q = caudal de descarga (m³/seg).

V_d = velocidad del agua a través de la válvula, (m/seg). Igual a la mitad de V_c

A_{pd} = área de paso de la válvula de descarga (m²)

Si:

q = 0.00066 m³/seg.

V_d = 1.93/2 = 0.965 m/seg.

Se calculó:

$$A_{pv} = 0.00066 * 0.965 = 6.4 \text{ cm}^2$$

Calculo del área del orificio interior de la válvula check tipo veleta.

Diámetro de orificio interior: 3.8 cm

$$A_{ov} = \pi * \frac{3.8^2}{4} = 11.34 \text{ cm}^2$$

Al realizar la comparación resultó que:

Área de la válvula check fabricada > Área de paso de la válvula de diseño

Por lo tanto, el tamaño del orificio de la válvula check es adecuada para que ingrese el caudal de descarga en cantidad suficiente.

3.2.4. DETERMINACIÓN DE LA ALTURA DE CARGA TOTAL

Para determinar la altura de carga total en la línea de impulsión fue necesario realizar el cálculo las características físicas del sistema, tales como:

a. Velocidad del flujo en la tubería de impulsión

Se determinó utilizando la fórmula de Hazen - Williams

$$Q = 0.0178 * C * D^{2.63} * h_f^{0.54}$$

Dónde:

Q = Caudal de impulsión (L.P.S.)

D = Diámetro de la tubería de impulsión (Pulgadas)

h_f = Perdida de carga unitaria (m/m)

C = Coeficiente de Hazen - Williams

En la tabla III-12, se tiene el cálculo hidráulico para la tubería de impulsión de 3 pulgadas de diámetro, con 20.40m de longitud, 6.10 m de altura de impulsión, 150 de coeficiente de Hazen-Williams, donde se muestra que el caudal de 4.11 l/s tendrá una velocidad del flujo de 0.90m/s.

$$V = 0.90 \text{ m/s}$$

b. Cálculo de coeficiente total de perdidas

Encinas, (1975) el coeficiente de pérdidas (H_r), viene determinado por la siguiente ecuación:

$$H_r = 1 + \lambda \frac{L}{D_i} + \Sigma K$$

Dónde:

H_r = Coeficiente total de perdidas (m)

λ = Coeficiente de fricción o resistencia de la tubería.

ΣK = Sumatoria de coeficiente de resistencia por accesorios y válvula de impulso.

- L = Longitud de la tubería de impulso.
Di = Diámetro interno de la tubería de impulso.

– **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**

Está en función de los siguientes parámetros:

$$Re = \frac{V_o Di}{\gamma}$$

En donde:

- Re = Número de Reynolds
V_o = Velocidad del agua disponible (m/s).
Di = Diámetro interno de la tubería de impulso (m)
 γ = Viscosidad cinemática del agua a 15 °C.

Si:

- V_o = 0.9 m/s.
Di = 0.0821m
 γ = 1.15 x 10⁻⁶ m²/s

Se tiene:

$$Re = \frac{0.90 * 0.0821}{1.15 * 10^{-6}}$$

$$Re = 64,252.17$$

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

– **Rugosidad relativa**

La rugosidad relativa viene determinada por la siguiente relación

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

Dónde:

- ε = Rugosidad relativa.
e = Rugosidad absoluta
Di = diámetro interior de la tubería (m)

Si:

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

$D_i = 0.0821$ m

Se tiene:

$$\varepsilon = \frac{1.15 \times 10^{-6}}{0.0821}$$
$$\varepsilon = \frac{1.15 \times 10^{-6}}{0.0821} = 0.000014$$

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

$$\lambda = 0.019$$

– Cálculo de la ΣK

Los accesorios que fueron considerados en la línea de impulsión son roscados con diámetro nominal de 3 pulgadas.

Tabla III-19. Coeficientes de pérdidas de carga locales.

Accesorios	Cantidad	Le/D	f_t	K
Entrada a la tubería	1			0.50
Codo de 15°	1	4	0.018	0.07
Válvula esférica	1	45	0.018	0.81
Tee	1	20	0.018	0.36
Codo de 90°	1	30	0.018	0.54
			Σ	2.28

Fuente: Crane (1992).

Coefficiente de pérdida de carga de la válvula de impulso

Paredes y Tuquinga, (2012) indican que según Zurita el coeficiente de paso (K) de la válvula de impulsión está determinado por la ecuación:

$$K = \left(1.645 \frac{A_c}{A_p} - 1\right)^2$$

$$A_c = \frac{\pi(D_c)^2}{4}$$

$$A_p = \pi D_o S$$

Dónde:

A_c = Área del cuerpo del ariete, (m²).

A_p = Área de paso de la válvula de impulso, (m²).

D_o = Diámetro del orificio del asiento de la válvula de impulso, (m).

D_c = Diámetro del cuerpo del ariete, (m).

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

Se tenía:

D_c = 0.0821m

D_o = 0,082m.

S = 0,04m

Y se calculó:

$$A_c = \frac{\pi(0.0821)^2}{4} = 0.0053 \text{ m}^2$$

$$A_p = \pi * 0.082 * 0.04 = 0.010 \text{ m}^2$$

Reemplazando estos valores en la ecuación planteada por Zurita, se obtuvo:

$$K = \left(1.645 \frac{0.0053}{0.010} - 1\right)^2$$

$$\mathbf{K = 0.02}$$

Por lo tanto, la sumatoria total fue igual a:

$$\Sigma K = 2.28 + 0.02$$

$$\mathbf{\Sigma K = 2.30}$$

Y reemplazando valores en la ecuación:

$$H_r = 1 + \lambda \frac{L}{D_i} + \Sigma K$$

Se obtuvo el coeficiente total de pérdidas:

$$H_r = 1 + 0.019 \frac{20.40}{0.0821} + 2.30$$

$$H_r = 8.02$$

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

La velocidad del agua, en la tubería de impulsión, necesaria para que se dé el cierre de la válvula de impulsión está determinada por la ecuación:

$$V_c = 0.5 \sqrt{\frac{2gH}{H_r}}$$

Dónde:

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

H = Altura disponible (m)

H_r = Pérdidas

Si:

H = 6.10 m

g = 9,81 m/seg²

H_r = 8.02 m

Se calculó que:

$$V_c = 0.5 \sqrt{\frac{2 * 9.81 * 6.10}{8.02}}$$

$$V_c = 1.93 \text{ m/s}$$

d. Cálculo de la presión total de carga

La presión total de la carga (H_t) una vez que se efectúe el cierre de la válvula de impulsión viene determinada por la suma de la altura disponible (H) y la subida de presión debido al golpe de ariete (h_a).

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

Dónde:

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 debida a la gravedad (m/s^2)

– **Cálculo de la velocidad de propagación de la onda de presión**

Utilizando la ecuación 1-11:

$$a = \frac{\sqrt{\frac{E_0}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{E_0 D}{E \delta}}} \quad \text{Ec. (1-11)}$$

Dónde:

- a = Celeridad onda elástica del fluido en tubería (m/s)
- E_0 = Módulo de elasticidad de volumen del fluido (N/m^2).
- ρ = Densidad del fluido (kg/m^3).
- D = Diámetro de la tubería (m).
- E = Módulo de elasticidad del material de la tubería (N/m^2).
- δ = Espesor de la tubería (m).

Teniendo los siguientes datos:

- E_0 = $2.20 \times 10^9 N/m^2$ ($20^\circ C$)
- ρ = $1000 kg/m^3$
- D = $0.0885 m$.
- E = $2.8 \times 10^8 N/m^2$.
- δ = $0.0032 m$.

Y reemplazando cuyos valores se determinó:

$$a = 310.95 m/s$$

Por otra parte, el catálogo de tuberías Pavco también brinda información para determinar la magnitud del golpe de ariete mediante la siguiente formula:

$$P = \frac{aV}{g} \quad \text{Con: } a = \frac{1420}{\sqrt{1 + \left(\frac{K}{E}\right)(RDE-2)}}$$

Dónde:

P: Sobrepresión máxima en metros de columna de agua, al cerrar bruscamente la válvula.

- a : Velocidad de la onda (m/s)
 V : Cambio de velocidad del agua (m/s)
 g : Aceleración de la gravedad = 9.81 m/s²
 K : Módulo de compresión del agua = 2.06 x 10⁴ Kg/cm²
 E : Módulo de elasticidad de la tubería (2.81 x 10⁴ Kg/cm² para PVC Tipo 1 Grado 1)
 RDE : Relación diámetro exterior/espesor mínimo.

Si:

Diámetro exterior de la tubería de impulsión = 88.5 mm.

Espesor = 3.2 mm.

Se obtiene:

$$a = \frac{1420}{\sqrt{1 + \left(\frac{2.06 * 10^4}{2.81 * 10^4}\right)(88.5/3.2 - 2)}}$$

$$a = \frac{1420}{4.45}$$

$$a = 319.10 \text{ m/s}$$

– Cálculo de la sobrepresión

Con 319.10 m/s de la velocidad de propagación de la onda de presión se calculó la sobrepresión a producirse cuando se genere el golpe de ariete:

$$h_a = P = \frac{1.93 * 319.10}{9.81}$$

$$h_a = P = 62.78 \text{ m. c. a.}$$

La presión total de carga, resulta de la suma de sobrepresión y la presión hidrostática existente:

$$H_t = H + h_a$$

$$H_t = 6.10 + 62.78$$

$$H_t = 68.88 \text{ m.c.a.}$$

Por lo tanto, la máxima presión generada al producirse el golpe de ariete sería de 68.88 m.c.a.

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

En la sección 3.1.7., elección de la tubería de impulsión, se determinó preliminarmente las características técnicas, sin embargo, era pendiente evaluar la correcta selección de la clase de la tubería que permita una adecuada resistencia a la máxima presión producida cuando ocurra el golpe de ariete; por lo tanto, según la tabla III-10 la tubería elegida fue de clase 7.5 que está diseñada para soportar una presión de 7.5 bar o 75 m.c.a. comparado con la presión máxima de carga calculada (68.88 m.c.a.) comprobamos que la clase de tubería elegida fue correcta.

Características técnicas de la tubería PVC - NTP 399 - 002 ITINTEC

Diámetro exterior		longitud		Clase 7.5 SDR 27.7 108 Psi (7.5 bar)	
Nominal (Pulg.)	Real (mm)	Total (metros)	Útil (metros)	Espesor (mm)	Peso (Kg/tubo)
3	88.5	5	4.93	3.2	6.581

Coefficiente de fricción : $n = 0.009$ Manning; $C = 150$ Hazen-Williams

Fuente: Pavco (2016).

3.2.5. DISEÑO DE LA CÁMARA DE AIRE

Galarza, (2013) la cámara de aire es un depósito cerrado con aire y agua. El aire dentro de la cámara se comporta como un elemento elástico, que al comprimirse (fase de sobrepresión) la cámara recibe una cantidad de agua y reduce en parte la tendencia a sobrepresiones altas; mientras que cuando se expande (fase de depresión) sede cierta cantidad de agua de la almacenada a la tubería de descarga, dando así un flujo continuo.

Campana y Guamán, (2011) la cámara de aire ayuda a proporcionar una continua entrega de agua y a una tasa relativamente uniforme. Es decir, cambia el funcionamiento intermitente de la bomba a un comportamiento continuo. Esta debe ser tan grande como sea posible, para comprimir y amortiguar el pulso de presión. Si la cámara llega a llenarse completamente con agua, el ram golpea bruscamente lo cual lleva a una rotura de la instalación. Algunos autores sugieren que el volumen de la cámara de aire debe ser igual al volumen de agua en la tubería de entrega. El

volumen de la cámara de aire deberá encontrarse entre 20 a 50 veces el volumen entregado en un ciclo, 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 entrega.

Silver, (1977) indica que no hay un límite máximo del tamaño de la cámara de aire, recomendando que un metro de longitud de tubería del mismo diámetro que la de impulsión con una tapa funcionara bien.

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

La pérdida de carga (hr) durante el período de retardación en la tubería de impulsión, válvula de descarga y tubería de descarga se determinó por la ecuación.

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

Dónde:

h = Altura de impulsión (m).

hm_{\max} = Sobrepresión “ha” (m.c.a.).

Se tenía:

h = 19.00 m.

hm_{\max} = h_a = 62.78 m.

Y se calculó:

$$hr = 5.64 \left(1 - \frac{19}{62.78} \right)$$
$$hr = 3.93 \text{ m}$$

b. Cálculo del tiempo del ciclo del golpe de ariete

El ciclo del golpe de ariete está definido por el periodo, el cual es el tiempo en que todo es igual que en el tiempo 0. Está determinado por la siguiente relación:

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

Dónde:

L = longitud de la tubería de impulsión (m)

T = periodo (seg.)

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

Se tenía:

$$L = 20.40 \text{ m.}$$

$$a = 319.10 \text{ m/s}$$

Y se calculó:

$$T = 4 \frac{(20.40 \text{ m})}{(319.10 \frac{\text{m}}{\text{s}})}$$

$$T = 0.26 \text{ seg/ciclo}$$

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

El volumen de agua descargado por ciclo (q') será:

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

Dónde:

q' = caudal descargado por ciclo de bombeo (l.p.s.)

q = caudal de descarga (l.p.s.)

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

Si:

$$q = 0.66 \text{ l.p.s}$$

$$T = 0.26 \text{ seg/ciclo}$$

Tenemos:

$$q' = \frac{0.66 \text{ l/s}}{0.26 \text{ s/ciclo}}$$

$$q' = 2.54 \text{ l/ciclo}$$

d. Cálculo de la capacidad de la cámara de aire

Campaña y Guamán, (2011) el volumen de la cámara de aire deberá encontrarse entre 20 y 50 veces el volumen entregado en un ciclo, está probado que el funcionamiento apropiado se consigue cuando el nivel del agua dentro de la cámara de aire se encuentra por encima de la salida de la tubería de entrega.

El volumen de la cámara de aire viene dado por la siguiente ecuación:

$$V_c = \frac{(1 + x)Q_{\max}(h + h_r)}{P_{at}}$$

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

Dónde:

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

P_{at} = Presión atmosférica (m)

h = Presión de la altura de carga (m)

h_r = Pérdida de carga durante el período de retardación (m)

$Q_{\max} = q'$ = caudal bombeado por el ariete en un ciclo ($m^3/ciclo$)

x = Fracción de aumento de presión que permite el bombeo

Se tenía:

$h = 19$ m

$h_r = 3.93$ m

$Q_{\max} = q' = 0.00254$ $m^3/ciclo$

$P_{at} = 10.33$ m.

Dónde:

$$x = \frac{19}{19 + 3.93} = 0.83$$

Reemplazando cuyos valores se obtuvo:

$$V_c = \frac{(1 + 0.83)0.00254(19 + 3.93)}{10.33}$$

$$V_c = 10.65 \text{ litros}$$

e. Configuración final de la cámara de aire

Para este componente se eligió usar la tubería PVC clase 10 con diámetro de 4 pulgadas, 1.10 metros de longitud; además, la cámara de aire está conformado complementariamente por los accesorios que permiten la unión a la válvula de descarga, los cuales, unidas hacen una longitud de 40 cm con diámetro de 3 pulgadas; por lo que, ambas partes forman el volumen total de la cámara de aire; asimismo está integrado por accesorios como reducción de 3 a 1 pulgada y $\frac{1}{2}$, adaptados para el empalme a la manguera HDPE de descarga.

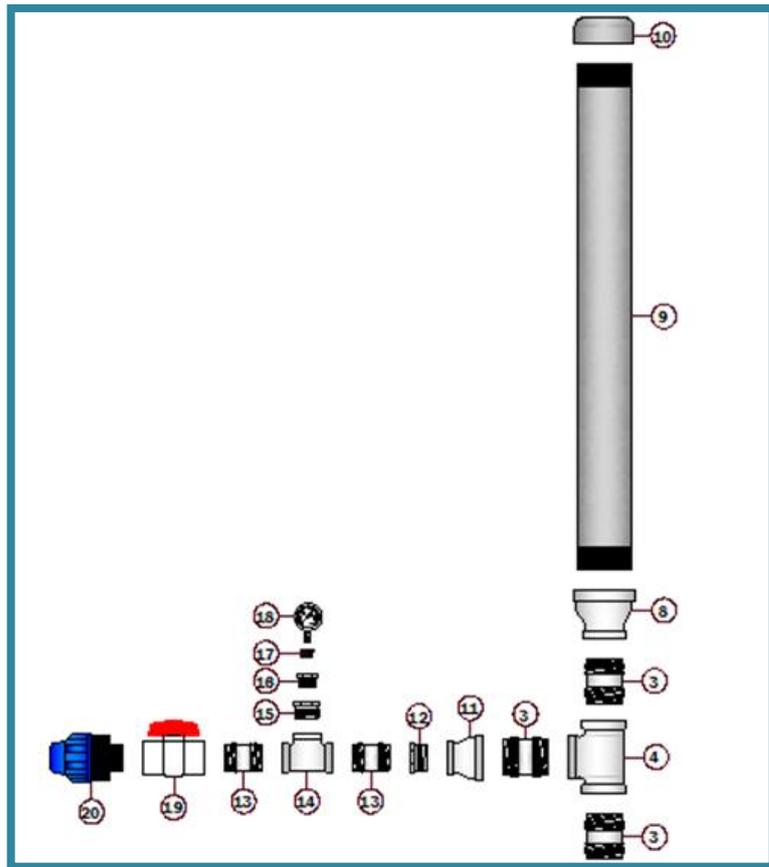


Figura III.18. Configuración de la cámara de aire.

La capacidad total de la cámara de aire fue:

$$V_c = V_1 + V_2$$

Dónde:

V_1 = Volúmen de la tubería PVC.

V_2 = Volúmen de espacio conformado por accesorios de unión (3,4 y 8).

Si:

$D_1 = 0.103$ m. (diámetro interior de tubería)

$D_2 = 0.082$ m. (diámetro interior de accesorios)

Se tuvo:

$$V_1 = \pi * \frac{0.103^2}{4} * 1.1 = 0.00917 \text{ m}^3 = 9.17 \text{ litros}$$

$$V_2 = \pi * \frac{0.082^2}{4} * 0.3 = 0.00158 \text{ m}^3 = 1.58 \text{ litros}$$

$$V_c = 9.17 + 1.58$$

$$\mathbf{V_c = 10.75 \text{ litros}}$$

Observándose que 10.75 litros es mayor que los 10.65 litros de capacidad requerida, por lo tanto, las dimensiones planteadas para la cámara de aire son adecuadas.

La máxima presión de carga determinado teóricamente en la bomba de ariete hidráulico fue de 68.88 m.c.a., para lo cual, se requiere utilizar tubería PVC de clase 10 y garantizar su durabilidad, ya que este conducto soporta presiones máxima de hasta 10 bares o 100 m.c.a.

La cámara de aire fue diseñado con los accesorios o elementos que se detalla en la tabla III-20.

Tabla III-20. Elementos integrantes de la cámara de aire

N°	Descripción	Material	Cantidad	Unidad
3	Niple de 3" x 3"	F° G°	3	Pza.
4	Tee de 3" x 90°	F° G°	2	Pza.
8	Unión Campana de 3" x 4"	F° G°	1	Pza.
9	Niple de 4" x 1.10 m	PVC	1	Pza.
10	Tapón rosca hembra de 4"	PVC	1	Pza.
11	Unión Campana de 2" x 3"	F° G°	1	Pza.
12	Reducción Bushing 2" x 1 1/2"	F° G°	1	Pza.
13	Niple de 1 1/2 " x 2 1/2"	F° G°	2	Pza.
14	Tee de 1 1/2" x 90°	F° G°	1	Pza.
15	Reducción Bushing 1 1/2" x 1"	HDPE	1	Pza.
16	Reducción Bushing 1" x 1/2"	HDPE	1	Pza.
17	Reducción Bushing 1/2" x 1/4	F° G°	1	Pza.
18	Manómetro de Glicerina de 10 Bar.	Acero Inoxidable	1	Pza.
19	Válvula esfera con de 1 1/2"	PVC	1	Pza.
20	Adaptador Macho HDPE de 1 1/2"	HDPE	1	Pza.

3.2.6. VÁLVULA DE AIRE

Para compensar el aire contenido en la cámara de aire que se pierde durante el ciclo de operación y absorbido por el agua, se ha seleccionado una válvula automática de aire, provista de un orificio de 1mm de diámetro por medio del cual se inyecta el aire en cada golpe de la válvula de impulso y se encuentra ubicada en el niple de fierro galvanizado de 3 pulgadas del cuerpo de la bomba en la misma que se realizaría el montaje de la válvula de descarga.

3.2.7. RESUMEN DEL DISEÑO DE LOS COMPONENTES DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO

Tabla III-21. Resultado del diseño de la bomba de ariete hidráulico

N°	COMPONENTE	VALOR	UNID.	MATERIAL
1.0	Cuerpo de la bomba			Hierro galvanizado y PVC.
1.1	Diámetro de la bomba de ariete	3.00	Pulg.	
2.0	Válvula de impulsión			
2.1	Diámetro del pie de válvula	100.00	mm.	
2.2	Espesor del pie de válvula	3.00	mm.	
2.3	Diámetro del vástago	0.50	Pulg.	Bronce, Acero galvanizado y alambre de piano.
2.4	Carrera	40.00	mm.	
2.5	Resorte de compresión	11.43	N/mm	
2.6	Espesor de la bancada principal	2.00	mm.	
2.7	Espesor de la bancada secundaria	2.00	mm.	
2.8	Longitud de vástago	20.53	cm.	
3.0	Válvula de descarga			
3.1	Válvula check tipo veleta (antiretorno)	3.00	Pulg.	Bronce
4.0	Cámara de aire			
4.1	Volumen de la cámara de aire	10.00	L.	PVC, Hierro galvanizado, HDPE y Acero inoxidable.
4.2	Diámetro de la cámara de aire	4.00	Pulg.	
4.3	Longitud de la cámara de aire	1.10	m.	
5.0	Válvula de aire			
5.1	Diámetro de perforación en niple	1.00	mm.	

3.3. CONSTRUCCIÓN DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO

En la construcción de los componentes de la bomba de ariete hidráulico, se consideró utilizar accesorios de tubería normalizados, teniendo en cuenta la sobrepresión que existiría dentro del cuerpo de este dispositivo hidráulico, a fin de garantizar su durabilidad y buen funcionamiento. Para ello se realizó la búsqueda de materiales adecuados y duraderos.

Fue muy importante, realizar la inspección detallada del plano de diseño, asimismo la revisión y preparación del material adquirido para cada etapa de construcción.

El principal material del cual está constituido la bomba de ariete hidráulico es el acero galvanizado, cuyos accesorios de unión roscada son capaces de soportar

grandes presiones, trabajo continuo a altas temperaturas, resistentes a la corrosión por los fluidos que transportan y fáciles de unirlos.

Los componentes construidos para el montaje final de la bomba de ariete fueron:

- Cuerpo de la bomba.
- Válvula de impulsión.
- Válvula de descarga.
- Cámara de aire.
- Válvula de aire

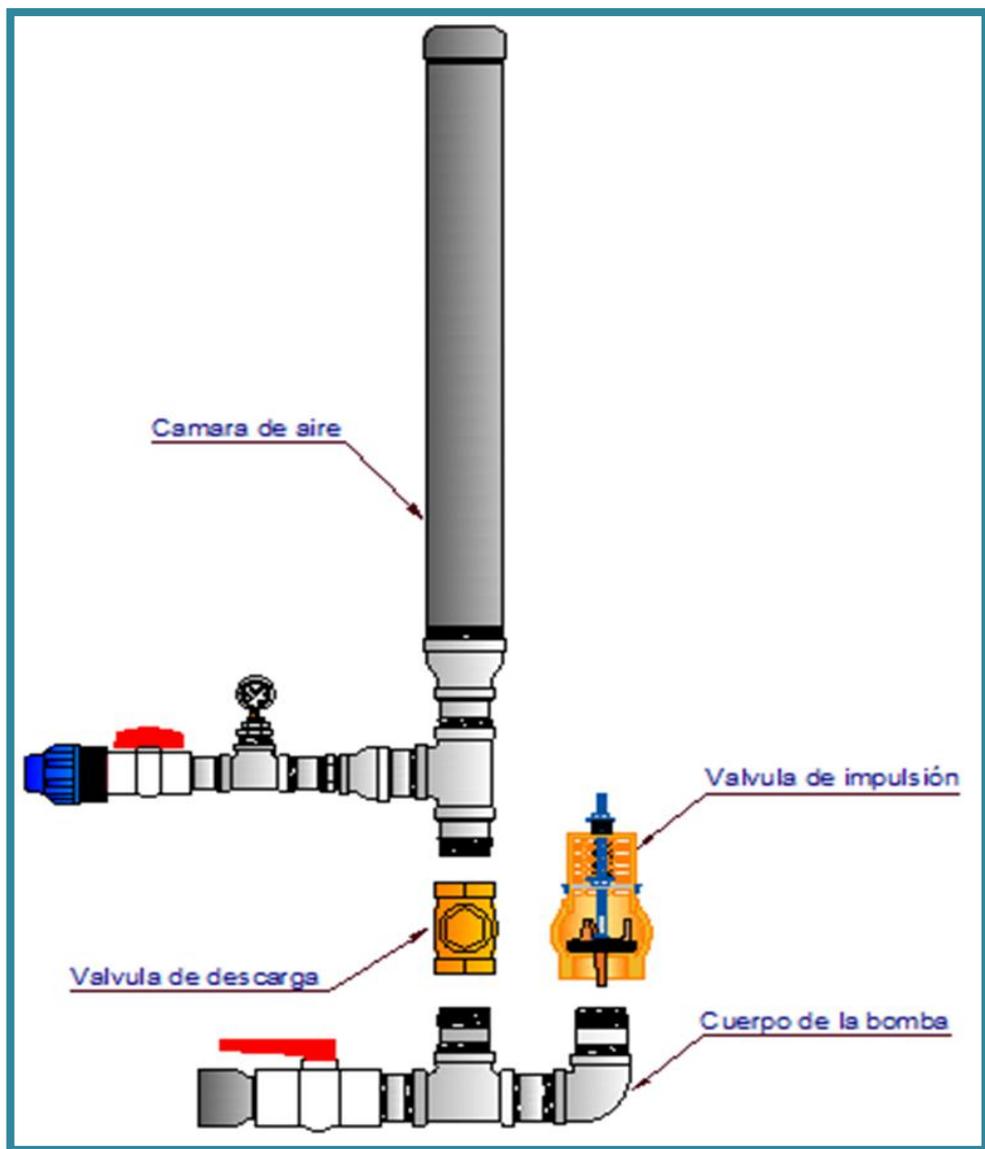


Figura III.19. Componentes de la bomba de ariete.

3.3.1. ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO

El proceso de construcción de cada uno de los componentes de la bomba de ariete hidráulico se realizó en las siguientes etapas:

- a. Adquisición de accesorios y materiales de ferreterías de la zona.
- b. Ensamblaje del equipo.
- c. Instalación y puesta a punto.

Los accesorios adquiridos para la construcción de los componentes de la bomba de ariete fueron aquellos que se visualizan en la figura III.20.



Figura III.20. Accesorios adquiridos en una ferretería local.

3.3.2. CONSTRUCCION DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO

Una vez culminado el diseño y cálculo de las dimensiones de los elementos integrantes de cada uno de los componentes se realizó la construcción de la bomba de ariete hidráulico; para el cual se hizo uso de los planos de detalle elaborados, los mismos que se adjunta en la sección de anexos. La construcción de la bomba de ariete hidráulico se realizó en el fundo Porvenir de la Comunidad de Quinrapa, cuyos componentes fueron:

a. Construcción del cuerpo de la bomba

El cuerpo del ariete es el encargado de soportar la sobrepresión a causa del cierre brusco de la válvula de impulsión, por ello, el material elegido fue resistente e indeformable, además con el fin de evitar pérdidas de energía a causa del ensanchamiento de las paredes y así aprovechar dicha energía para el mayor levantamiento de altura bajo las mismas condiciones de operación de la bomba. Los accesorios empleados fueron de acero galvanizado roscados y complementado por una válvula de paso y una unión roscada de PVC.

El cuerpo del ariete está integrado por los elementos que fueron seleccionados en la etapa de diseño los mismos que se detalla en la tabla III-16:

N°	DESCRIPCION	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
1	Adaptador UPR de 3"	PVC	1	Pza.
2	Válvula esfera de 3"	PVC	1	Pza.
3	Niple de 3" x 3 1/2 "	F° G°	4	Pzas.
4	Tee de 3" x 90°	F° G°	1	Pzas.
5	Codo de 90° de 3"	F° G°	1	Pza.

Resultado de construcción:

La construcción del cuerpo de la bomba de ariete consistió en el montaje roscado de los accesorios de acero galvanizado que lo integran; en primer lugar se hizo la adquisición de estos accesorios en una ferretería de la ciudad de Ayacucho; una vez inspeccionado la calidad de los accesorios se procedió con la colocación de teflón en

los niples y adaptador UPR de PVC; posteriormente fueron unidas mediante montaje roscado al codo, te y válvula esférica, tan solo empleando una llave stillson.



Figura III.21. Colocación de teflón en los niples y unión roscada.



Figura III.22 Montaje de niples y unión roscada a los accesorios.



Figura III.23. Cuerpo de la bomba de ariete construida.

En el niple que une el cuerpo de la bomba y la válvula de descarga se hizo, en un taller de mecánica de la zona, un orificio con diámetro de 1 mm a fin de que este actué como la válvula de aire automático, la cual recarga en cada golpe de ariete burbujas de aire hacia la cámara de aire permitiendo mantener la cantidad de aire inicial. Resultando finalmente el cuerpo de la bomba de ariete tal como se aprecia en la figura III.23.

b. Construcción de la válvula de impulsión

La válvula de impulsión es la encargada de producir un cierre brusco, deteniendo el movimiento del fluido y posteriormente regresando a su posición inicial; para ello cuenta con un juego de resorte que permite realizar este ciclo. Su construcción consistió en la adaptación de una válvula check horizontal con canastilla de 3 pulgadas de diámetro, utilizándose elementos y piezas que se precisa en la tabla III-18.

N°	DESCRIPCION	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
1	Válvula check horizontal con canastilla de 3"	Bronce	1	Pza.
2	Perno coche de ½" x 8"	Acero Inoxidable	1	Pza.
3	Tuerca de ½"	Acero Inoxidable	2	Pzas.
4	Arandela de ½"	Acero Inoxidable	2	Pzas.
5	Resorte	Alambre de piano	2	Pzas.
6	Platina de 2mm x 1" x 11cm	Acero	1	Pza.
7	Perno de ¼" x 1"	Acero Inoxidable	2	Pzas.
8	Tuerca de ¼"	Acero Inoxidable	2	Pzas.
9	Arandela de ¼"	Acero Inoxidable	2	Pzas.

Resultado de la construcción:

En la canastilla de bronce de la válvula check de succión se hizo una perforación de precisión habilitándose un orificio de ½ pulgada de diámetro en la cara circular superior, la que se convirtió en la bancada principal o superior de la válvula de impulsión, a donde se fijó el vástago consistente en un perno coche de ½ pulgada de diámetro y de 8 pulgadas de longitud con rosca fina, quien aloja a los dos resortes de compresión.



Figura III.24. Perforación en la canastilla de la válvula check de succión.

Para fijar la posición vertical del vástago fue necesario construir un bocín central, que constituye la bancada central o secundaria, para el cual, se utilizó una platina de 11 cm de longitud y 1 pulgada de ancho en la que se hizo tres perforaciones una central de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro para el paso del vástago, y en los extremos dos perforaciones para fijar mediante pernos a la canastilla de la válvula check de succión por sus lados exteriores; la función principal de esta bancada es mantener la verticalidad del vástago durante sus movimientos de subida y bajada al accionar el cierre y apertura de la válvula de impulsión.

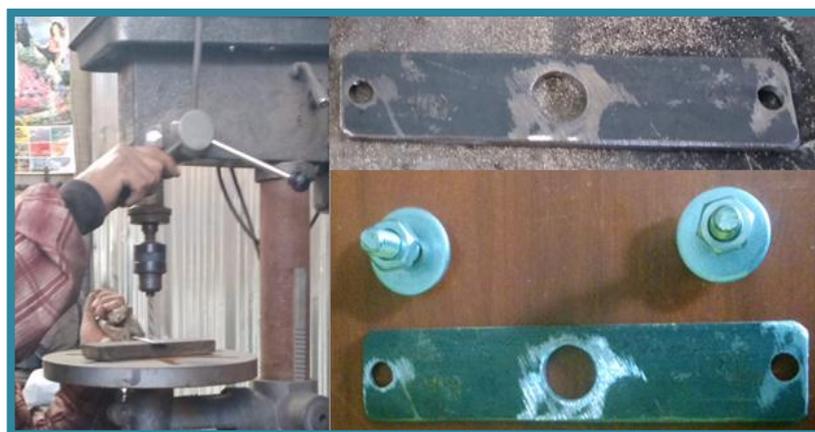


Figura III.25. Perforación de platina para la bancada central.

El vástago está constituido por un perno coche de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro y 8 pulgadas de longitud que atraviesa las dos perforaciones una que está en la canastilla y otra en la platina, asimismo, atraviesa por el interior de los dos resortes de

compresión; el resorte de compresión de alambre de piano principal está ubicado dentro de la canastilla dispuesto en su longitud normal, es decir, sin ninguna compresión, y el segundo resorte o secundario está alojado en la parte externa superior de la canastilla y comprimido al 100%, ambos resortes están fijados por una tuerca y contratuerca que descansa sobre una arandela.



Figura III.26. Resorte y vástago de la válvula de impulsión.

El resorte del vástago de la válvula de impulsión permite regular el número de golpes por minuto durante la fase de operación de la bomba de ariete hidráulico.

Quedando la válvula de impulsión con la configuración que se observa en la figura III.27.

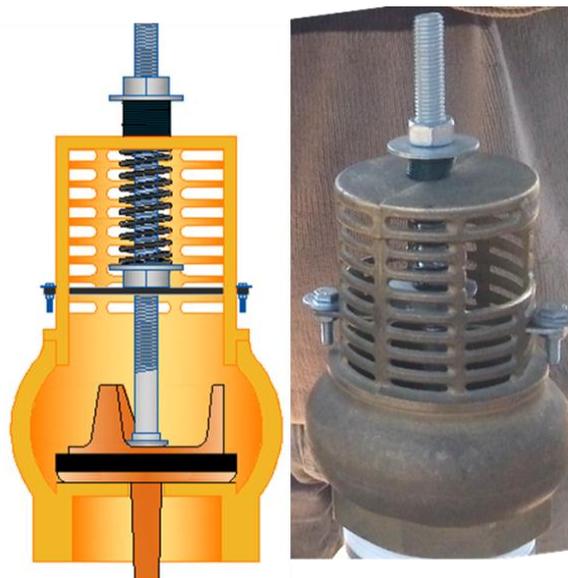


Figura III.27. Válvula de impulsión con resorte.

c. Construcción de la válvula de descarga

Este componente de la bomba de ariete, está constituido por una válvula check tipo veleta o bisagra (antiretorno) de 3 pulgadas de diámetro fabricado de material de bronce.

Se utilizó la válvula check tipo veleta tal y cual estuvo fabricada, no haciéndole ninguna modificación. Esta válvula permitiría la circulación del flujo del agua en una sola dirección, evitando que el agua que ingrese a la cámara de aire por efecto del golpe de ariete regrese al cuerpo de la bomba y en consecuencia permita bombear el agua, además, este componente posee una gran sensibilidad al cambio de presión.

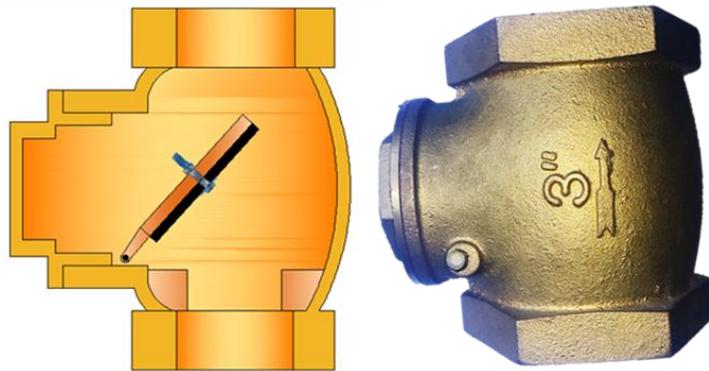


Figura III.28. Válvula de descarga de la bomba de ariete.

Esta válvula consta de un orificio de tamaño suficiente en su interior que permite el paso de la mayor cantidad de agua, asimismo, consta de una válvula tipo clapeta o bisagra de bronce y una empaquetadura de caucho que al cerrarse retiene el fluido durante la fase expansión del aire en la cámara.

d. Construcción de la cámara de aire

La cámara de aire funciona como un tanque hidroneumático, en su interior aloja una cierta cantidad de aire y otra de agua, el aire se comprime en cada golpe de ariete para desplazar el fluido a la tubería de descarga, por ello, es vital que su construcción garantice hermeticidad y resistencia a la presión suscitada en su interior.

La cámara de aire está constituida por los elementos elegidos en la fase de diseño, los cuales se detallan en la tabla III-20:

N°	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
3	Niple de 3" x 3"	F° G°	3	Pza.
4	Tee de 3" x 90°	F° G°	2	Pza.
8	Unión Campana de 3" x 4"	F° G°	1	Pza.
9	Niple de 4" x 1.10 m	PVC	1	Pza.
10	Tapón rosca hembra de 4"	PVC	1	Pza.
11	Unión Campana de 2" x 3"	F° G°	1	Pza.
12	Reducción Bushing 2" x 1 1/2"	F° G°	1	Pza.
13	Niple de 1 1/2 " x 2 1/2"	F° G°	2	Pza.
14	Tee de 1 1/2" x 90°	F° G°	1	Pza.
15	Reducción Bushing 1 1/2" x 1"	HDPE	1	Pza.
16	Reducción Bushing 1" x 1/2"	HDPE	1	Pza.
17	Reducción Bushing 1/2" x 1/4"	F° G°	1	Pza.
18	Manómetro de Glicerina de 10 Bar.	Acero Inoxidable	1	Pza.
19	Válvula esfera con de 1 1/2"	PVC	1	Pza.
20	Adaptador Macho HDPE de 1 1/2"	HDPE	1	Pza.

Construcción:

La cámara de aire está constituida por materiales de PVC, hierro galvanizado, acero inoxidable y HDPE. La tubería de PVC clase 10 de 4 pulgadas de diámetro, longitud de 1.10 m. con rosca macho en ambos extremos y demás accesorios se adquirió de una ferretería de la ciudad de Ayacucho.

Su construcción consistió en la unión de accesorios de 4", 3", 2", 1 1/2", expansiones de 3" a 4" y reducciones de 3" a 2" todos unidos mediante montaje roscado; primero se realizó el Tefloneado en la rosca de la tubería o niple PVC de 4"x1.1 m, luego se unió con el tapón por un extremo y por el otro se colocó la reducción de hierro galvanizado de 4 a 3 pulgadas.



Figura III.29. Tefloneado y montaje de tapón de 4" con niple de PVC de 4"x1.10m

Del mismo modo, se colocó el teflón en los niples de hierro galvanizado y se unieron con los accesorios como te y reducciones. A partir de la te de hierro galvanizado de 3"x3" se unieron accesorios roscados como niple de 3"x3", reducción de 3" a 2", bushing de hierro galvanizado de 2"x1 ½", formando el orificio de salida del agua a bombearse, asimismo, se prolongó este conducto con la instalación de una válvula esférica de 1 ½" de diámetro donde se colocó una te de hierro galvanizado de 1 ½" para la instalación del manómetro de glicerina de 10 bar y al final de dicho conducto se unió un adaptador HDPE a la que se uniría la manguera HDPE de descarga. La base de la cámara de aire termina en un niple de hierro galvanizado de 3"x3" mediante la cual se unió a la válvula de descarga.

La instalación del manómetro se hizo con la adaptación de tres bushing HDPE con diámetros de 1 ½"x 1", 1"x1½" y ½" x ¼" terminando con la colocación del manómetro. La instalación del manómetro se hizo con fines de investigación el cual permitió realizar las lecturas de presión y verificar la máxima presión en la cámara de aire durante la ocurrencia del fenómeno de golpe de ariete, asimismo, mediante el manómetro se pudo evidenciar la presión de bombeo y determinar la altura de descarga del agua que se desarrolló.

La construcción de la cámara de aire se hizo en concordancia a las especificaciones del plano donde indica la disposición de los elementos que lo integran.



Figura III.30. Disposición final de la cámara de aire

3.3.3. MONTAJE FINAL DE LOS COMPONENTES DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO

Consistió en la integración de todo los componentes de la bomba de ariete hidráulico, todos ellos mediante unión roscada del cuerpo del ariete, válvula de impulsión, válvula de descarga y la cámara de aire, empleando tan solo una llave stillson.



Figura III.31. Montaje de los componentes de la bomba de ariete.

Quedando concluida la construcción de la bomba de ariete hidráulico universal de 3 pulgadas, en la que, no se utilizó ninguna soldadura en la unión de sus elementos.



Figura III.32. Bomba de ariete hidráulico universal de 3 pulgadas.

3.3.4. RESUMEN DE MATERIALES INTEGRANTES DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO

La bomba de ariete hidráulico universal se encuentra integrada a base de accesorios totalmente ferreteros, las cuales se detalla en la siguiente tabla:

Tabla III-22. Materiales de construcción de la bomba de ariete hidráulico

Nº	DESCRIPCION	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
Cuerpo de la Bomba				
1	Adaptador UPR de 3"	PVC	1	Pza.
2	Válvula esfera de 3"	PVC	1	Pza.
3	Niple de 3" x 3 1/2 "	F° G°	4	Pzas.
4	Tee de 3" x 90°	F° G°	1	Pzas.
5	Codo de 90° de 3"	F° G°	1	Pza.
Válvula de impulsión				
1	Válvula check horizontal con canastilla de 3"	Bronce	1	Pza.
2	Perno coche de ½" x 8"	Acero Inoxidable	1	Pza.
3	Tuerca de ½"	Acero Inoxidable	2	Pzas.
4	Arandela de ½"	Acero Inoxidable	2	Pzas.
5	Resorte	Alambre de piano	2	Pzas.
6	Platina de 2mm x 1" x 11cm	Acero	1	Pza.
7	Perno de ¼" x 1"	Acero Inoxidable	2	Pzas.
8	Tuerca de ¼"	Acero Inoxidable	2	Pzas.
9	Arandela de ¼"	Acero Inoxidable	2	Pzas.
Válvula de impulsión				
1	Válvula check tipo veleta (antiretorno) de 3 Pulg. de diámetro	Bronce	1	Pza.
Cámara de aire				
1	Niple de 3" x 3 1/2"	F° G°	7	Pza.
2	Tee de 3" x 90°	F° G°	2	Pza.
3	Unión Campana de 3" x 4"	F° G°	1	Pza.
4	Niple de 4" x 1.10 m	PVC	1	Pza.
5	Tapón rosca hembra de 4"	PVC	1	Pza.
6	Unión Campana de 2" x 3"	F° G°	1	Pza.
7	Reducción Bushing 2" x 1 1/2"	F° G°	1	Pza.
8	Niple de 1 1/2 " x 2 1/2"	F° G°	2	Pza.
9	Tee de 1 1/2" x 90°	F° G°	1	Pza.
10	Reducción Bushing 1 1/2" x 1"	HDPE	1	Pza.
11	Reducción Bushing 1" x 1/2"	HDPE	1	Pza.
12	Reducción Bushing 1/2" x 1/4"	F° G°	1	Pza.
13	Manómetro de Glicerina de 10 Bar.	Acero Inoxidable	1	Pza.
14	Válvula esfera con de 1 1/2"	PVC	1	Pza.
15	Adaptador Macho HDPE de 1 1/2"	HDPE	1	Pza.

El prototipo de bomba de ariete hidráulico diseñada y construida quedó con la siguiente configuración física.

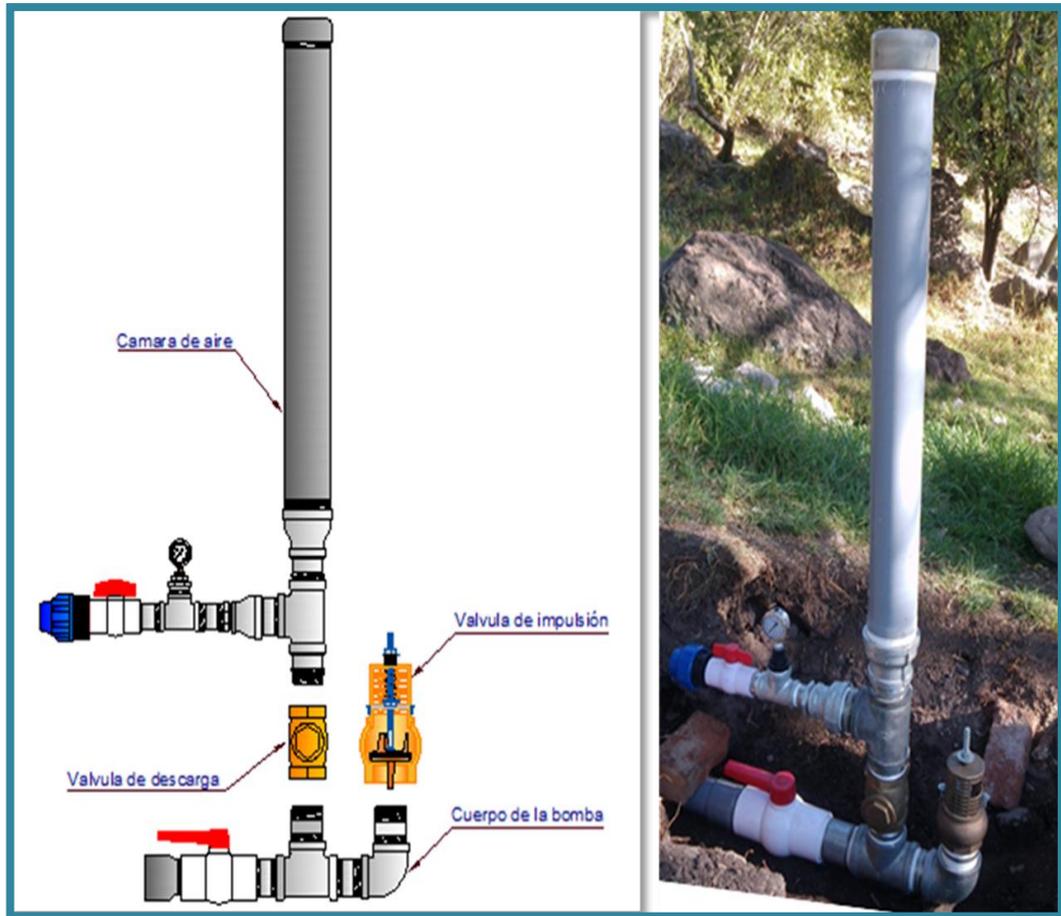


Figura III.33. Construcción final de la bomba de ariete hidráulico.

3.4. INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO

La instalación de la bomba de ariete hidráulico se realizó en el fundo Porvenir de la comunidad de Quinrapa, para lo cual se realizó en las siguientes etapas:

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

3.4.1. CAPTACIÓN E INSTALACIÓN DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN

La captación fueron dos puntos adecuados de donde se recogió de forma artesanal las aguas subterráneas del manantial Yakutoccyacc, siendo estas, llevadas por dos tramos denominados línea de conducción 1 y 2 en la cantidad requerida según el diseño del caudal de impulsión; su instalación consistió en los trabajos de replanteo según el plano general del sistema de bombeo, excavación de zanja, instalación de tubería PVC clase 5 de 3 pulgadas de diámetro, finalizando con el relleno de zanja.



Figura III.34. Instalación de la línea de conducción (captación-cámara de carga)

3.4.2. CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA DE CARGA

La cámara de carga es un depósito pequeño que permitió el ingreso constante del caudal de impulsión; su proceso de construcción consistió en los siguientes:

- **Trazo y replanteo**, se realizó la demarcación en el terreno las dimensiones de emplazamiento.
- **Excavación de plataforma**, se realizó el movimiento de tierra manual para la fundación de la cámara de carga.
- **Concreto simple**, se hizo el vaciado de la base con concreto simple $F'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$ en una altura de 0.10m.
- **Albañilería**, consistió en la construcción de los muros a base de ladrillo con aparejo de canto.

- **Revestimiento**, consistió en el tarrajeo interior y exterior del depósito, quedando con 0.80m de largo, 0.60m de ancho, 0.60 de altura y 0.15m de espesor.
- **Instalación de tubería de rebose**, se instaló 3m de tubería PVC clase 5 de 3 pulgadas de diámetro que conduce el caudal de demasías al cauce natural del manantial Yakutoccyacc.



Figura III.35. Excavación y albañilería en la cámara de carga.



Figura III.36. Revestimiento y obra final de la cámara de carga.

3.4.3. INSTALACIÓN DE LA LÍNEA DE IMPULSIÓN

La línea de impulsión es el tramo que une la cámara de carga con la cámara de bombeo donde se encuentra instalada la bomba de ariete hidráulico; su instalación consistió en la ejecución de los trabajos de limpieza y desbroce del tramo continuando con el replanteo según el plano general del sistema de bombeo, la excavación de zanja, colocación de cama de apoyo, instalación de tubería PVC clase 7.5 de 3 pulgadas de diámetro, finalizando con el relleno y compactación de zanja.

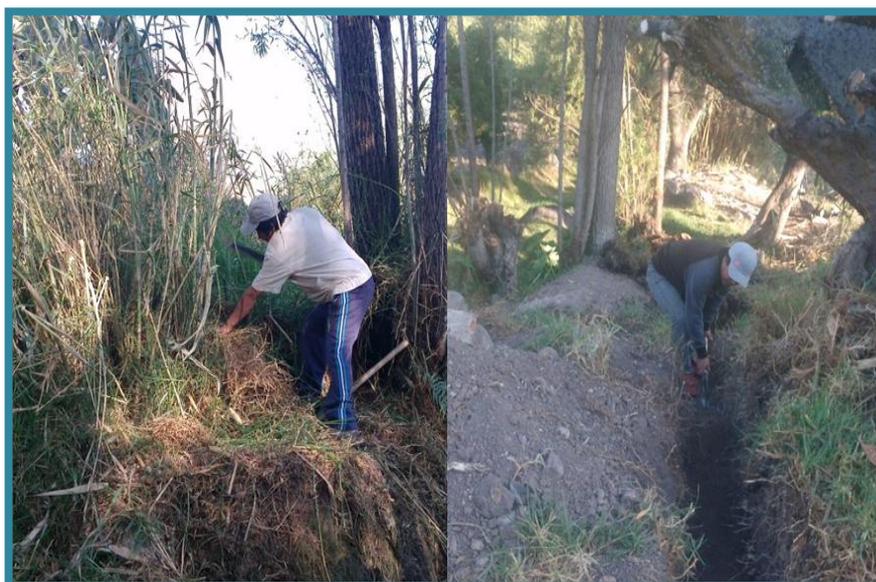


Figura III.37. Limpieza, desbroce y excavación de zanja de la línea de impulsión.



Figura III.38. Instalación de tubería de impulsión.

3.4.4. CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA DE BOMBEO

La cámara de bombeo fue una obra complementaria pero indispensable en el sistema de bombeo. La cámara de bombeo es un espacio suficiente y adecuado con piso de concreto donde se empotró el cuerpo de la bomba de ariete hidráulico de 3 pulgadas, también, es lugar donde se reúne el agua de desperdicio que se genera durante la operación del sistema y de aquí se evacúa mediante tubería hacia el cauce natural del manantial Yakutoccyacc.

La construcción consistió en la ejecución de los siguientes trabajos:

- **Trazo y replanteo**, consistió en demarcar en el terreno las dimensiones del emplazamiento de esta obra civil.
- **Excavación de plataforma**, consistió en el movimiento de tierra manual para su fundación.
- **Concreto simple**, se hizo el vaciado de la base de altura 0.10 m con concreto simple $F'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$.
- **Albañilería**, consistió en la construcción de los muros a base de ladrillo y mortero.
- **Revestimiento**, consistió en el tarrajeo interior de las paredes de los muros.
- **Instalación de tubería de desagüe**, consistió en la colocación de tubería PVC clase 5, que nace de la cámara de bombeo y culmina en el cauce natural del manantial Yakutoccyacc.

La cámara de bombeo quedó construida de 1.00m de largo, 0.70m de ancho, 0.50 de altura y 0.15 m de espesor.



Figura III.39. Excavación de plataforma de la cámara de bombeo.



Figura III.40. Cámara de bombeo

3.4.5. INSTALACIÓN DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO

En esta etapa de la instalación se realizó el montaje de la bomba de ariete hidráulico con la tubería de impulsión, fijándose mediante dos abrazaderas empernadas y empotrado a la base de concreto de la cámara de bombeo.



Figura III.41. Montaje de la bomba de ariete con la tubería de impulsión.



Figura III.42. Fijación con abrazaderas de platina a la base de concreto.



Figura III.43. Bomba de ariete hidráulico instalada.

3.4.6. INSTALACIÓN DE LA LÍNEA DE DESCARGA

En esta etapa se realizó el replanteo de la línea de descarga indicada según el plano general del sistema de bombeo, continuándose con el desbroce y limpieza de terreno,

excavación de zanja, tendido de 92 metros de manguera HDPE de 1 ½” de diámetro, tramo que comprende desde la bomba de ariete hidráulico y el punto de descarga donde se encuentra proyectado el reservorio de almacenamiento; la conexión de la manguera de descarga a la bomba de ariete se realizó mediante el adaptador HDPE de la cámara de aire, finalizando con el relleno y compactación de zanja.

Desde la progresiva 0+000 hasta la 0+045, con la finalidad de proteger la manguera de descarga, se encuentra enterrada debido a que es un tramo de circulación peatonal, y vehicular. A partir de la progresiva 0+045 hasta el 0+092 la manguera HDPE se encuentra tendida en la superficie del terreno.



Figura III.44. Tendido de manguera HDPE de 1 ½” (50mm).



Figura III.45. Conexión entre la manguera HDPE y la bomba de ariete.



Figura III.46. Bomba de ariete interconectada a la tubería de impulsión y descarga.

3.4.7. RESUMEN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE BOMBEO

El proceso de instalación del sistema de bombeo dio como resultado la existencia física de un sistema hidráulico con componentes y características que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla III-23. Componentes instalados del sistema de bombeo.

COMPONENTES	CARACTERISTICAS
Captación	Adecuado en forma natural para recolectar las aguas subterráneas.
Línea de conducción	Instalado con tubería pvc SAP c-5 de diámetro de 3 pulgadas en una longitud de 42 metros.
Cámara de carga	Construido con ladrillo y revestido con mezcla de cemento y arena cuyas dimensiones interiores son de 0.80 m de largo, 0.60m de ancho y 0.60 de altura. Rebose con tubería de 3pulgadas de diámetro y una longitud de 5 m que descarga el agua al cauce natural del manantial.
Línea de impulsión	Instalado con tubería pvc SAP c-7.5 con diámetro de 3 pulgadas, longitud de 20.40m con una caída de 6.10 metros de altura.
Cámara de bombeo	Construido con ladrillo y revestido con mezcla de cemento y arena cuyas dimensiones interiores son de 1.00 m de largo, 0.60m de ancho y 0.50 de altura. Desfogue con tubería de 3 pulgadas de diámetro y una longitud de 2.5 m que descarga el caudal de desperdicio, generado durante el funcionamiento de la bomba de ariete, al cauce natural del manantial.
Bomba de ariete hidráulico	Montaje del prototipo de bomba de ariete hidráulico universal.
Línea de descarga	Instalado con manguera HPDE de 1 1/2" de diámetro y una longitud de 92 metros.

El sistema hidráulico que resultó al instalarse el sistema de bombeo se aprecia en los planos que se adjunta en la sección de anexo.

3.5. PUESTA EN MARCHA DE LA BOMBA DE ARIETE

La bomba de ariete fue diseñada y construida con la finalidad de bombear la cantidad de agua demandada por el cultivo de alfalfa en la parcela de 0.59 hectáreas; por lo tanto, para lograr satisfacer este requerimiento se realizó varias calibraciones del reglaje de la carrera de la válvula de impulsión.

Al repetir algunas veces la apertura manual de la válvula de impulso se ayudó a que se ponga en marcha; donde físicamente sucede que la presión en la tubería de descarga sube tanto que la columna de agua de la tubería de impulso sufre una resistencia para entrar en la cámara de aire, y comienza a actuar como un martillo

que golpea una superficie dura, es decir, la columna de agua en la tubería de impulsión golpea y rebota, o retrocede (por la flexibilidad de los materiales), lo que hace que se produzca un flujo inverso hacia la entrada del tubo de impulso. En éste momento el agua ejerce una succión en el interior de la tubería de impulsión, por lo cual abre la válvula de impulso y se reinicia la aceleración de la columna hasta que se cierra nuevamente la válvula de impulso; de ésta forma el funcionamiento continúa automáticamente e indefinidamente.

El prototipo de la bomba de ariete hidráulico, completa un ciclo cada 0.26 segundos; cuando el ciclo es bien rápido o demasiado lento el rendimiento de la bomba se ve afectado. Un ciclo demasiado rápido es síntoma de que la tubería de impulsión es demasiado corto o la válvula de impulso necesita un resorte más rígido; de diferente manera, un ciclo largo es causado por una tubería excesivamente larga o un resorte de rigidez alta, lo que causa, que la columna de agua tarde más tiempo en superar al resorte y realice el cierre.

Puesta en marcha

La puesta en marcha fue la etapa en que se puso en funcionamiento al dispositivo hidráulico y por ende del sistema de bombeo, donde se evaluó a la bomba de ariete hidráulico en condiciones reales de operación; para lo cual, se realizó las siguientes acciones:

- 1°. Se cerraron las válvulas esféricas que se encuentran en el cuerpo y la cámara de aire de la bomba de ariete hidráulico.
- 2°. Se calibró la carrera del vástago de la válvula de impulsión y se apretaron fuertemente los pernos fijadores para que no se afloje por el golpeteo o vibración.
- 3°. Se aperturó los dos puntos de captación de agua del manantial Yakutoccyacc permitiendo la conducción del agua hacia la cámara de carga.
- 4°. Se permitió llenar de agua a la cámara de carga hasta que alcance el nivel de rebose, cuyo nivel se mantuvo durante la operación del sistema.



Figura III.47. Regulación de la carrera del vástago de la válvula de impulsión.



Figura III.48. Llenado con agua de la cámara carga.

- 5°. Cuando el agua estuvo rebosando por la cámara de carga, se abrió completamente la válvula esférica de paso del cuerpo del ariete, de manera lenta permitiendo que el aire que pudiera existir dentro de la tubería de impulsión saliera, así logrando el inicio del cierre y posterior apertura de la válvula de impulso generando la ocurrencia del golpe de ariete.

- 6°. Una vez que la válvula de impulsión estuvo trabajando automáticamente, aun con la llave de paso cerrada hacia la tubería de descarga; con cada golpe de ariete que se generaba se observó que la presión se incrementaba progresivamente, siendo la máxima presión de 6 bares ó 60 m.c.a. desarrollada en la cámara de aire, cuya presión fue medido a través de la lectura del manómetro incorporado en la bomba de ariete hidráulico.



Figura III.49. Medición de la sobrepresión máxima causado por el golpe de ariete.

- 7°. Después de la lectura en el manómetro de la sobrepresión máxima, se aperturó la llave de paso de la cámara de aire permitiendo el inicio del bombeo de agua a través de la tubería de descarga.
- 8°. Al abrirse la llave de paso de la cámara de aire para el ingreso del agua a la manguera de descarga, la válvula de impulsión quedó cerrada interrumpiéndose el ciclo de apertura y cierre, donde manualmente se accionó hasta tres veces la apertura de válvula de impulsión logrando retomar el ciclo de apertura y cierre de la válvula y quedando en funcionamiento automático.
- 9°. Estando en funcionamiento el sistema de bombeo se inició con las acciones de evaluación, buscando encontrar la calibración óptima de la carrera y el número de golpes por minuto que permita lograr la máxima eficacia de la bomba de ariete hidráulico.



Figura III.50. Entrega de agua a 19 metros de altura respecto de la bomba de ariete hidráulico.

3.6. PRUEBAS DE CAMPO

En esta etapa se utilizaron instrumentos de medición como: manómetro, recipientes apropiados para medir caudales, cronometro y flexómetro.

Característica del sistema de bombeo

La infraestructura de bombeo donde se desarrolló las pruebas de campo estuvo constituida por los siguientes componentes:

- Captación
- Línea de conducción
- Cámara de carga
- Línea de impulsión
- Bomba de ariete hidráulico
- Línea de descarga
- Accesorios de control y medición como llaves de paso y manómetro.

El proceso de ejecución de pruebas de campo contempló los resultados del comportamiento de los materiales utilizados en la instalación del sistema de bombeo, evaluación de la eficiencia, eficacia y la elaboración de las curvas de operación de la bomba de ariete hidráulico.

Desarrollo de la prueba de campo

Para garantizar que las pruebas tuvieran la suficiente fiabilidad, se realizó las siguientes acciones previas:

- a. Se verificó que la cámara de carga este esté lleno con agua y permanezca a nivel de la altura del rebose garantizando que la alimentación de agua sea constante y evitar el ingreso de aire que pudo generar un deficiente bombeo o el detenimiento de la bomba de ariete hidráulico.
- b. Se estableció las características para cada escenario de la prueba a realizarse mediante la variedad de regulación de la carrera del vástago y golpes por minuto de la válvula de impulsión.
- c. Una vez puesta en funcionamiento automático de la bomba de ariete hidráulico se inició con la toma de datos, consistente en la medición de la máxima presión, aforo del caudal de suministro a la cámara de carga, caudal de rebose de la cámara de carga y del caudal de descarga; la medición de la presión se realizó con la ayuda del manómetro adaptado en la cámara de aire; los datos de tiempo y volumen se tomaron directamente con la ayuda de un cronómetro y un recipiente de volumen definido, la variación de la carrera de la válvula de impulso se hizo utilizando una llave perico truper de 4 pulgadas.
- d. Culminado la toma de datos de los resultados de un escenario creado, se hizo un nuevo reglaje de la carrera de la válvula de impulsión y se inició nuevamente con la puesta en marcha y toma de datos de las características del nuevo escenario de prueba.

3.6.1. COMPORTAMIENTO DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE BOMBEO

En este aspecto se evaluó el comportamiento del material constituyente de cada elemento utilizado en la instalación de los componentes más críticos del sistema de bombeo, tales como fue la línea de impulsión y la bomba de ariete hidráulico. La evaluación se realizó manteniendo en estado de operación al sistema de bombeo y sometiendo a la máxima sobrepresión generada por el golpe de ariete, tanto a la tubería de impulsión como a la bomba de ariete.

Inicialmente se mantuvo cerrada la válvula esférica que permite la salida del agua a la tubería de descarga; luego se inició con la puesta en marcha de la bomba de ariete donde la presión en la cámara de aire inició a incrementarse progresivamente con cada golpe de ariete hasta llegar a un máximo de 6 bar, determinándose esta situación cuando la manecilla del manómetro quedó estable.



Figura III.51. Medición de la máxima sobrepresión por golpe de ariete

En estas condiciones, se procedió con la evaluación del comportamiento de los elementos constituyentes de los componentes del sistema de bombeo frente a la sobrepresión causada por el golpe de ariete, obteniéndose los siguientes resultados detallados en la tabla III-24:

Tabla III-24. Resultados del comportamiento de los materiales del sistema de bombeo

Material	Componente	Resultado de la evaluación
Tubería PVC clase 7.5 de 3 pulgadas de diámetro	Línea de impulsión	El material utilizado tuvo un comportamiento satisfactorio, no presentó ninguna falla ante el golpe de ariete.
Cuerpo de la bomba Válvula de impulsión Válvula de descarga Cámara de aire	Bomba de ariete Hidráulico	Los materiales utilizados tuvieron un comportamiento satisfactorio, no presentaron ninguna falla ante el golpe de ariete
Manguera HDPE de C-8 de 50 mm de diámetro.	Línea de descarga	Satisfactorio.

3.6.2. AFORO DEL CAUDAL DE ALIMENTACIÓN A LA CÁMARA DE CARGA

Consistió en la medición de la cantidad de agua que se suministró del manantial Yakutoccyacc a la cámara de carga, empleándose el método volumétrico que es de medición directa, para ello se utilizó un recipiente de 4 litros.

El aforo se llevó a cabo el 10 de agosto del 2016, obteniéndose el siguiente resultado:

– Aforo del caudal de alimentación N° 01

Tabla III-25. Aforo de la captación N° 01

N°	Volúmen (Litros)	Tiempo (Seg.)
1	4	2.74
2	4	1.71
3	4	2.07
4	4	2.2
5	4	1.71
6	4	1.62
7	4	1.75
8	4	1.8
9	4	1.98
10	4	1.75
PROMEDIO	4	1.93

Procesando la información de la tabla III.25 se determinó el caudal que ingresa de la captación N° 01 a la cámara de carga.

$$Q_1 = 4/1.93 = 2.07 \text{ L.P.S.}$$

– **Aforo del caudal de alimentación N° 02**

Tabla III-26. Aforo de la captación N° 02

N°	Volumen (Litros)	Tiempo (Seg.)
1	4	1.89
2	4	1.84
3	4	1.66
4	4	1.8
5	4	1.93
6	4	1.3
7	4	1.57
8	4	1.8
9	4	1.93
10	4	1.57
11	4	1.89
12	4	1.8
13	4	1.8
14	4	1.98
15	4	1.98
16	4	1.75
17	4	1.53
PROMEDIO	4.00	1.77

Procesando la información de la tabla III-26 se determinó el caudal de alimentación N° 02:

$$Q_2 = 4/1.77 = 2.27 \text{ L.P.S.}$$

El caudal total que se suministró a la cámara de carga fue la sumatoria de ambos caudales:

$$Q_A = Q_1 + Q_2$$

$$Q_A = 2.07 + 2.27$$

$$Q = 4.34 \text{ L.P.S.} = 260.40 \text{ litros/min.}$$

Resultando que 4.34 l/s fue el caudal total que ingresó a la cámara de carga.

3.6.3. EVALUACIÓN DE LA BOMBA DE ARIETE A 40 GOLPES/MINUTO

La bomba de ariete hidráulico se construyó con una calibración por defecto de 40 golpes/minuto siendo instalada con dicho reglaje en el sistema de bombeo; siendo este el primer escenario de prueba.

En este primer escenario, se realizó la medición del caudal de impulsión y el caudal de descarga con la bomba de ariete en plena operación y a un ritmo de la válvula de impulsión de 40 golpes por minuto. La bomba de ariete y el sistema de bombeo tuvieron las siguientes características:

- Carrera (S) de la válvula de impulsión: 40 mm.
- Estado del resorte: sin compresión, permanece en su longitud natural.
- Las condiciones del funcionamiento del sistema fueron:
 - Altura de impulsión: 6.10 m.
 - Longitud de la tubería de impulsión: 20.40 m.
 - Diámetro de la tubería de impulsión: 3 pulgadas.
 - Caudal de suministro a la cámara de carga: 260.40 l/min.
 - Altura de descarga: 19.00 m.
 - Longitud de manguera de descarga: 92.00 m.
 - Diámetro de la manguera de descarga: 1 ½ pulgada.

a. Medición del Caudal de impulsión

El caudal de impulsión se calculó mediante la diferencia del caudal de suministro hacia la cámara de carga proveniente de la fuente a través de las dos líneas de alimentación y el caudal de rebose durante el funcionamiento de la bomba; para ello se aforó el caudal de rebose.

– Aforo del caudal de rebose en la cámara de carga

El aforo se realizó con la ayuda de un cronometro y un recipiente de 10 litros, obteniéndose los siguientes datos:

Tabla III-27. Datos de aforo del caudal de rebose a 40 golpes por minuto.

Válvula de impulsión	: 40 Golpes/min	Caudal de alimentación	: 260.40 l/min
Carrera (S)	: 40 mm	Longitud de impulsión	: 20.40 m.
K del resorte	: 11.43 N/mm	Diámetro tub. impulsión	: 3 pulgadas
N° de veces	Volumen (litros)	Tiempo (segundos)	Altura de impulsión (metros)
1	10	46.81	6.10
2	10	44.97	6.10
3	10	47.53	6.10
4	10	44.87	6.10
5	10	45.21	6.10
Promedio	10	45.88	

Al procesar los datos de la tabla III-27 se determinó el caudal de rebose:

$$Q_R = 10/45.88 = 0.22 \text{ L.P.S.} = 13.20 \text{ l/min.}$$

Si:

Caudal de alimentación (Q_A) = 260.40 Litros/minuto.

Caudal de rebose (Q_R) = 13.20 Litros/minuto.

El caudal de impulsión resultó:

Caudal de impulsión (Q) = $Q_A - Q_R$

$$Q = 260.40 - 13.20$$

$$Q = 247.20 \text{ litros/minuto}$$

Determinándose que el caudal de impulsión fue de 247.20 l/min, que es la cantidad de agua que ingresó a la bomba de ariete hidráulico bajo las siguientes condiciones: caída de 6.10 m. de altura hacia la ubicación de la bomba de ariete, longitud de carrera 40 mm, constante de elasticidad del resorte (K) 11.43 N/mm.

b. Medición del caudal de descarga

El caudal de descarga se determinó mediante el aforo del caudal bombeado a 19 metros de altura respecto al nivel de ubicación de la bomba de ariete, siendo 40 mm la longitud de carrera, 11.43 N/mm como constante de elasticidad del resorte (K). El aforo se realizó utilizando un cronometro y un recipiente de 4 litros (balde).

Tabla III-28. Aforo del caudal de descarga a 40 golpes por minuto.

Válvula de impulsión	: 40 Golpes/min	Altura de impulsión	: 6.10 m.
Carrera (S)	: 40 mm	Caudal de impulsión	: 247.20 l/min
K del resorte	: 11.43 N/mm	Longitud de bombeo	: 92.00 m.
		Diámetro tub. de descarga	: 1 ½ pulgada
Nº de veces	Volumen (litros)	Tiempo (segundos)	Altura de descarga (metros)
1	4	5.67	19.00 m
2	4	5.72	19.00 m
3	4	5.42	19.00 m
4	4	5.83	19.00 m
5	4	5.38	19.00 m
Promedio	4	5.60	

Procesando los datos de la tabla III-28 se determinó el caudal de descarga, resultado que a un ritmo de 40 golpes por minuto la bomba de ariete hidráulico eroga un caudal de:

$$q = 4/5.60 = 0.71 \text{ l/s.}$$

$$q = 42.60 \text{ l/min.}$$

3.6.4. EVALUACIÓN DE LA BOMBA DE ARIETE A 51 GOLPES/MINUTO

Este escenario fue creado intencionalmente con fines experimentales. Como en el precedente escenario, también aquí, se determinó el caudal de impulsión y el caudal de descarga pero en este caso cuando la bomba de ariete estuvo operando a un ritmo de la válvula de impulsión de 51 golpes por minuto, para la cual la regulación de la válvula de impulsión se calibró de la siguiente manera:

- Carrera (S) de la válvula de impulsión: 20 mm.
- Estado del resorte: se comprimió 2cm, permitiendo que al agua adquiriera rápidamente la fuerza necesaria para lograr el cierre de la válvula de impulsión.

Las demás condiciones del funcionamiento del sistema de bombeo permanecieron como en el primer escenario.

a. Medición del caudal de impulsión

Del mismo modo que en el caso anterior, el caudal de impulsión se determinó por la diferencia del caudal de suministro a la cámara de carga y el caudal de rebose medidos durante el funcionamiento de la bomba, para el cual solo fue necesario aforar el caudal de rebose.

Aforo del caudal de rebose en la cámara de carga

El aforo se realizó con la ayuda de un cronometro y un recipiente de 4 litros, obteniéndose los siguientes datos:

Tabla III-29. Datos de aforo del caudal de rebose a 51 golpes por minuto.

Válvula de impulsión	: 51 Golpes/min	Caudal de alimentación	: 260.40 l/min
Carrera (S)	: 20 mm	Longitud de impulsión	: 20.40 m.
K del resorte	: 11.43 N/mm	Diámetro tub. impulsión	: 3 pulgadas
Nº de veces	Volumen (litros)	Tiempo (segundos)	Altura de impulsión (metros)
1	4	1.39	6.10
2	4	1.82	6.10
3	4	1.60	6.10
4	4	1.72	6.10
5	4	1.64	6.10
Promedio	4	1.63	

Procesando los datos se determinó el caudal de rebose:

$$Q_R = 4/1.63 = 2.45 \text{ L.P.S.} = 147 \text{ L/min.}$$

Si:

Caudal de alimentación (Q_A) = 260.40 Litros/minuto.

Caudal de rebose (Q_R) = 147.00 Litros/minuto.

Entonces, se determinó el caudal de impulsión:

Caudal de impulsión (Q) = $Q_A - Q_R$

$$Q = 260.40 - 147.00$$

$$Q = 113.40 \text{ l/min.}$$

El caudal de impulsión para este segundo escenario fue de 113.40 l/min; bajo las siguientes características: caída de agua 6.10 m. de altura desde la cámara de carga

hacia la ubicación de la bomba de ariete, 20 mm como longitud de carrera y 11.43 N/mm constante de elasticidad del resorte (K).

b. Medición del caudal de descarga

El caudal de descarga se determinó mediante el aforo del caudal bombeado a 19 metros de altura respecto al nivel de ubicación de la bomba de ariete, siendo la longitud de carrera de 20 mm, constante de elasticidad del resorte (K) de 11.43 N/mm de la válvula de impulsión. El aforo se realizó utilizando un cronometro y un recipiente de 10 litros, obteniendo el siguiente resultado:

Tabla III-30. Aforo del caudal de descarga a 51 golpes por minuto.

Válvula de impulsión	: 51 Golpes/min	Altura de impulsión	: 6.10 m.
Carrera (S)	: 20 mm	Caudal de impulsión	: 113.40 l/min
K del resorte	: 11.43 N/mm	Longitud de bombeo	: 92.00 m.
		Diámetro tub. de descarga	: 1 ½ pulgada
Nº de veces	Volumen (litros)	Tiempo (segundos)	Altura de descarga (metros)
1	10	23.53	19.00
2	10	23.89	19.00
3	10	23.41	19.00
4	10	24.11	19.00
5	10	23.61	19.00
Promedio	10	23.71	

Al procesar los datos de la tabla III-30 se determinó el caudal de descarga, a un ritmo de 51 golpes por minuto de la válvula de impulsión.

$$q = 10/23.71 = 0.42 \text{ L.P.S.} = 25.20 \text{ Litros/min.}$$

$$q = 25.20 \text{ L/min.}$$

3.6.5. EVALUACIÓN DE LA BOMBA DE ARIETE A 77 GOLPES/MINUTO

Fue el último escenario creado para la realización de la prueba de la bomba de ariete, del mismo modo que en los casos anteriores se determinó el caudal de impulsión y el caudal de descarga en este caso cuando la bomba de ariete estuvo operando a un ritmo de la válvula de impulsión de 77 golpes por minuto, para lo cual la regulación de la válvula de impulsión tuvo las siguientes características:

- Carrera (S) de la válvula de impulsión: 10 mm.

- Estado del resorte: se comprimió 3 cm, permitiendo que al agua adquiriera aún más rápidamente la fuerza necesaria para el cierre completo de la válvula de impulsión en comparación del caso anterior.

Las demás condiciones del funcionamiento del sistema permanecieron como en los dos casos anteriores.

a. Medición del caudal de impulsión

Del mismo modo que en los casos anteriores el caudal de impulsión fue determinado por diferencia del caudal de suministro a la cámara de carga y el caudal de rebose durante el funcionamiento de la bomba, para lo cual se aforó el caudal de rebose.

Aforo del caudal de rebose en la cámara de carga

El aforo se realizó utilizando un cronometro y un recipiente de 4 litros, obteniéndose los siguientes datos:

Tabla III-31. Datos de aforo del caudal de rebose a 77 golpes por minuto

Válvula de impulsión	: 77 Golpes/min	Caudal de alimentación	: 260.40 l/min
Carrera (S)	: 10 mm	Longitud de impulsión	: 20.40 m.
K del resorte	: 11.43 N/mm	Diámetro tub. impulsión	: 3 pulgadas
Nº de veces	Volumen (litros)	Tiempo (segundos)	Altura de impulsión (metros)
1	4	1.21	6.10 m
2	4	1.22	6.10 m
3	4	1.17	6.10 m
4	4	1.18	6.10 m
5	4	1.22	6.10 m
Promedio	4	1.20	

Procesando los datos de la tabla III-31 se determinó el caudal de rebose:

$$Q_R = 4/1.20 = 3.33 \text{ L.P.S.} = 199.80 \text{ L/min.}$$

Si:

Caudal de alimentación (Q_A) = 260.40 Litros/minuto.

Caudal de rebose (Q_R) = 216.00 Litros/minuto.

Se determinó el caudal de impulsión:

$$\text{Caudal de impulsión (Q)} = Q_A - Q_R$$

$$Q = 260.40 - 199.80$$

$$Q = 60.60 \text{ l/min.}$$

El caudal de impulsión para este escenario fue de 60.60 l/min, bajo las características de: caída de 6.10m de altura hacia la ubicación de la bomba de ariete, longitud de carrera de 10 mm y 11.43 N/mm constante de elasticidad del resorte (K).

b. Medición del caudal de descarga

El caudal de descarga se determinó mediante el aforo del caudal bombeado a 19 metros de altura respecto al nivel de ubicación de la bomba de ariete, bajo las siguientes características de la bomba de ariete hidráulico: 10 mm de longitud de carrera, 11.43 N/mm constante de elasticidad del resorte (K) de la válvula de impulsión. El aforo se realizó empleando un cronometro y un recipiente de 4 litros.

Tabla III-32. Aforo del caudal de descarga a 77 golpes por minuto.

Válvula de impulsión	: 77 Golpes/min	Altura de impulsión	: 6.10 m.
Carrera (S)	: 10 mm	Caudal de impulsión	: 60.60 l/min
K del resorte	: 11.43 N/mm	Longitud de bombeo	: 92.00 m.
		Diámetro tub. de descarga	: 1 ½ pulgada
N° de veces	Volumen (litros)	Tiempo (segundos)	Altura de descarga (metros)
1	4	15.87	19.00
2	4	16.15	19.00
3	4	16.15	19.00
4	4	16.13	19.00
5	4	16.15	19.00
Promedio	4	16.09	

Al procesar los datos de la tabla III-32 se determinó el caudal de descarga a un ritmo de la válvula de impulsión de 77 golpes por minuto.

$$q = 4/16.09 = 0.25 \text{ L.P.S.} = 15.00 \text{ Litros/min.}$$

$$q = 15.00 \text{ L/min.}$$

3.7. EFICIENCIA Y EFICACIA DE LA BOMBA DE ARIETE

Otro de los aspectos de evaluación del funcionamiento de la bomba de ariete y lo más importante fue la búsqueda de la eficiencia y eficacia óptima para dicho dispositivo hidráulico en condiciones reales de funcionamiento.

Para encontrar las características técnicas óptimas de la bomba de ariete hidráulico se utilizó los resultados obtenidos de la prueba de campo como son: caudal de impulsión y caudal de descarga medidos en los distintos escenarios creados al variar el número de golpes por minuto de la válvula de impulsión. Cabe aclarar que, al mencionar golpes por minuto nos referimos a la cantidad de golpes que se produce al cierre repentino de la válvula de impulsión durante un minuto.

La eficiencia de una bomba de ariete hidráulico depende de la altura de descarga (H) y de impulsión (h), esta se puede calcular empleando la ecuación de **Eytelwein**, así:

$$\eta = 0.258 \sqrt{12.80 - \frac{H}{h}}$$

Dónde:

H = Altura de descarga

h = Altura de impulsión

q = caudal de entrega

Q = caudal impulsión

Si:

$$\frac{H}{h} = 12.80$$

Entonces, $H = 12.80h$

Por lo tanto, la altura de descarga no puede ser mayor de 12.8 veces la altura de impulsión.

La eficiencia de la bomba de ariete hidráulico está dada por la relación entre el trabajo útil entregada en la descarga y el trabajo total recibida (absorbida) del agua de impulsión.

Conociendo:

qH = Trabajo útil

Qh = Trabajo total

La eficiencia se determinó mediante la siguiente formula:

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

La eficacia de una bomba de ariete hidráulico está determinada por el rendimiento volumétrico por una unidad de tiempo, es decir, por la cantidad de agua descargada por unidad de tiempo a una altura determinada de bombeo, es decir, viene a ser el valor del caudal de descarga del sistema de bombeo que eroga la bomba de ariete hidráulico.

El procedimiento de cálculo de la eficiencia y eficacia de la bomba de ariete se realizó para los 03 escenarios generados durante la prueba de campo.

3.7.1. ESCENARIO 01: 40 GOLPES/MINUTO

Si:

Caudal de impulsión (Q) = 247.20 l/min.

Altura de impulsión (H) = 6.10 m.

Caudal de descarga (q) = 42.60 l/min.

Altura de descarga (h) = 19.00 m.

Entonces se tiene:

$$\eta = \frac{42.60 * 19.00}{247.20 * 6.10} * 100$$

$$\eta = 54 \%$$

Siendo su eficacia de 42.60 litros de bombeo de agua por minuto a 19 m de altura.

3.7.2. ESCENARIO 02: 51 GOLPES/MINUTO

Si:

Caudal de impulsión (Q) = 113.40 l/min.

Altura de impulsión (H) = 6.10 m.

Caudal de descarga (q) = 25.20 l/min.

Altura de descarga (h) = 19.00 m.

Entonces se tiene:

$$\eta = \frac{25.20 * 19.00}{113.40 * 6.10} * 100$$

$$\eta = 69 \%$$

Siendo su eficacia de 25.20 litros de bombeo de agua por minuto a 19 m de altura.

3.7.3. ESCENARIO 03: 77 GOLPES/MINUTO

Si:

Caudal de impulsión (Q) = 60.60 l/min.

Altura de impulsión (H) = 6.10 m.

Caudal de descarga (q) = 15.00 l/min.

Altura de descarga (h) = 19.00 m.

Entonces se tiene:

$$\eta = \frac{15.00 * 19.00}{60.60 * 6.10} * 100$$

$$\eta = 77 \%$$

Siendo su eficacia de 15.00 litros de bombeo de agua por minuto a 19 m de altura.

3.8. CURVAS DE OPERACIÓN DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO

Los resultados obtenidos durante la prueba de campo, referentes al caudal de impulsión, caudal de descarga y eficiencia evaluada a distintos números de golpes por minuto de la válvula de impulsión fueron los que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla III-33. Resumen de resultados obtenidos de la prueba de campo

Golpes por minuto	Caudal de impulsión "Q" (l/min)	Caudal de descarga "q" (l/min)	altura de impulsión "H" (m)	altura de descarga "h" (m)
40	247.2	42.60	6.10	19.00
51	113.4	25.20	6.10	19.00
77	60.6	15.00	6.10	19.00

Con los datos de la tabla III-33, se determinó la eficiencia y eficacia de la bomba de ariete hidráulico, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla III-34. Eficiencia y eficacia de la bomba de ariete hidráulico

Golpes por minuto	Eficiencia (%)	Eficacia (l/min)
40	54	42.60
51	69	25.20
77	77	15.00

A partir de estos resultados, se generó las curvas representativas de operación para la bomba de ariete hidráulico.

3.8.1. CURVA: NÚMERO DE GOLPES/MIN. VS. CAUDAL DE IMPULSIÓN

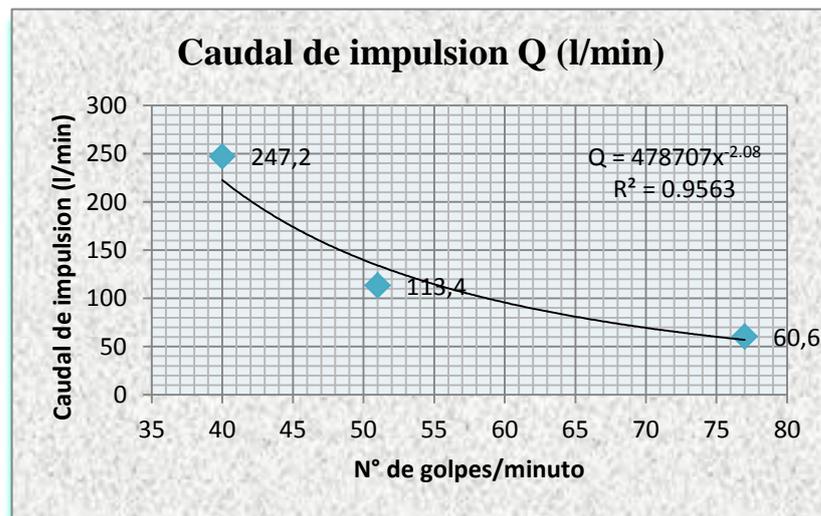


Figura III.52. Curva N° de golpes/min - Caudal de impulsión.

La curva que muestra la figura III.52 indica que cuanto más rápido sea los golpes por minuto, la bomba de ariete hidráulico requerirá menor cantidad de caudal de impulsión.

3.8.2. CURVA: NÚMERO DE GOLPES/MIN. VS. CAUDAL DE DESCARGA

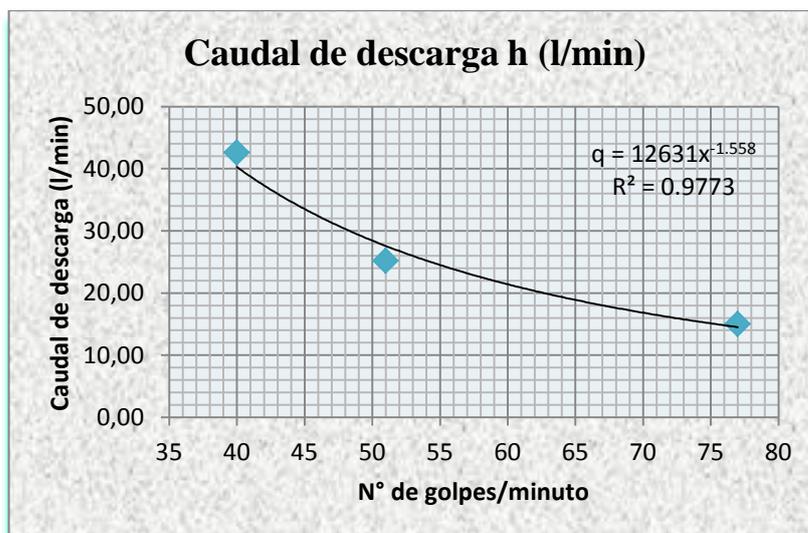


Figura III.53. Curva N° de golpes/min - Caudal de descarga.

La curva de la gráfica muestra que a menor número de golpes por minuto, la bomba de ariete elevará mayor cantidad de agua y a mayor número de golpes por minuto elevará menor cantidad de agua.

3.8.3. CURVA: NÚMERO DE GOLPES /MIN. VS. EFICIENCIA DE LA BOMBA

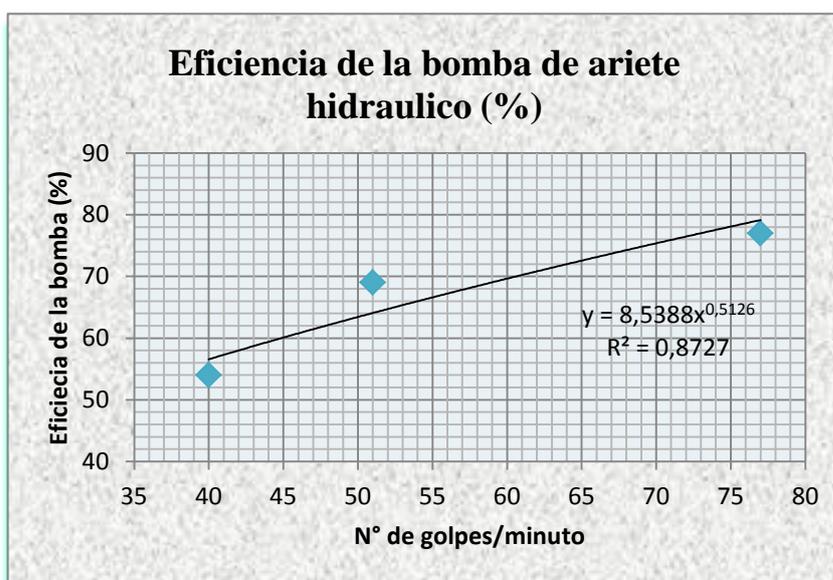


Figura III.54. Curva N° de golpes/min – Eficiencia de la bomba de ariete.

La curva de la gráfica de la figura III.54. Demuestra que la bomba de ariete hidráulico es más eficiente cuando trabaja a mayor número de golpes por minuto pero su eficacia disminuye.

3.8.4. CURVA: EFICIENCIA VS. CAUDAL DE DESCARGA

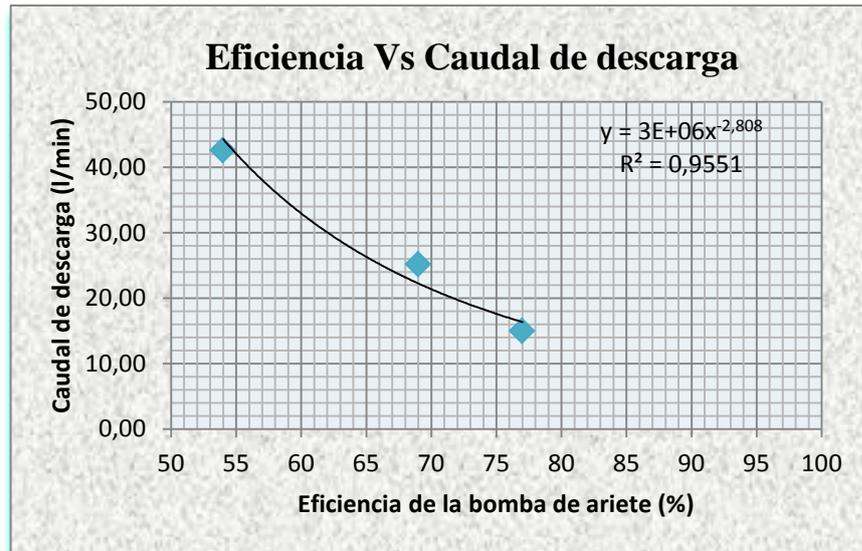


Figura III.55. Curva Eficiencia – Caudal de descarga

La curva de la gráfica demuestra que la bomba de ariete hidráulico es más eficaz cuando trabaja a menor número de golpes por minuto pero es menos eficiente, es decir cuánto más pausado sea el golpe de ariete mayor caudal será posible elevar.

3.9. CALIBRACIÓN FINAL DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO

La bomba de ariete hidráulico instalado en el fundo Porvenir fue calibrada para satisfacer la demanda de agua por el cultivo de alfalfa a instalarse en una superficie de 0.59 Has; Cuyo caudal de demanda calculado fue de 39.60 l/min, por lo que, regulando la carrera de la válvula de impulsión a 40 golpes por minuto se logró que el caudal de descarga sea de 42.60 litros por minuto con lo cual se cobertura la demanda de agua de riego. Quedando la bomba de ariete hidráulico operando en el sistema de bombeo con las siguientes características técnicas:

- Carrera (S) de la válvula de impulsión: 40 mm.

- Estado del resorte: sin compresión permanece en su longitud natural.
- Numero de golpes por minuto de la válvula de impulsión : 40
- Caudal de impulsión (Q): 247.20 l/min.
- Caudal de rebose en la cámara de carga: 13.20 l/min.
- Caudal de descarga (q): 42.60 l/min.

Además el sistema de bombeo posee las siguientes características permanentes durante su operación:

- Caudal de suministro a la cámara de carga: 260.40 l/min.
- Altura de impulsión (H) = 6.10 m.
- Altura de descarga (h) = 19.00 m.
- Longitud de la tubería de impulsión: 20.40 m.
- Diámetro de la tubería de impulsión: 3 pulgadas.
- Longitud de manguera de descarga: 92.00 m.
- Diámetro de la manguera de descarga: 1 ½ pulgada.

3.10. COSTO DE INSTALACION DEL SISTEMA DE BOMBEO

El costo total de la instalación del sistema de bombeo asciende a la suma de S/. 2,950.50 soles el cual considera los gastos de la adquisición de materiales, traslado de materiales al fundo Porvenir, servicios de terceros (manufactura en taller de mecánica), mano de obra utilizada en la construcción e instalación de la bomba de ariete hidráulico y finalmente de las herramientas empleadas.

Tabla III-35. Costo de la instalación del sistema de bombeo.

N°	COMPONENTE	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL	SUBTOTAL
1.00	CAPTACIÓN (02 Und)					20.00
	Mano de obra					
	Peón	Jornal	0.50	40.00	20.00	
2.00	LINEA DE CONDUCCION (42.00 m)					252.00
	Mano de obra					
	Peón	Jornal	3.00	40.00	120.00	
	Materiales					
	Tubería PVC SAP C-5, de 3" x 3m	Unid.	14.00	8.00	112.00	
	Pegamento para PVC	Gln	0.125	100.00	12.50	

Lija	Hja.	1.000	1.50	1.50
Equipos y Herramientas				
Herramientas manuales (5% M.O.)	%	0.050	120.00	6.00
3.00 CAMARA DE CARGA (0.80mx0.60mx0.60m)				241.00
Mano de obra				
Peón	Jornal	3.00	40.00	120.00
Materiales				
Cemento portland Tipo I	Bls.	2.00	25.00	50.00
Hormigón	m ³	0.50	40.00	20.00
Arena fina	m ³	0.25	60.00	15.00
Ladrillo 8x11x12cm	Unid.	60.00	0.50	30.00
Equipos y Herramientas				
Herramientas manuales (5% M.O.)	%	0.05	120.00	6.00
4.00 LINEA DE IMPULSION (20.40m)				460.00
Mano de obra				
Peón	Jornal	3.00	40.00	120.00
Materiales				
Tubería PVC SAP C-7.5, de 3" x 5m	Unid.	4.00	80.00	320.00
Pegamento para PVC	Gln	0.125	100.00	12.50
Lija	Hja.	1.000	1.50	1.50
Equipos y Herramientas				
Herramientas manuales (5% M.O.)	%	0.050	120.00	6.00
5.00 BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO (01 Und)				967.50
5.01 CUERPO DE LA BOMBA				189.50
Mano de obra				
Peón	Jornal	0.50	40.00	20.00
Materiales				
Adaptador UPR PVC de 3"	Pza.	1.00	7.00	7.00
Válvula esfera PVC de 3"	Pza.	1.00	35.00	35.00
Niple F° G° de 3" x 3"	Pzas.	4.00	18.00	72.00
Tee F° G° de 3" x 90°	Pzas.	1.00	35.00	35.00
Codo F° G° de 90° de 3"	Pza.	1.00	30.00	30.00
Teflón	Unid.	7.00	1.50	10.50
Equipos y Herramientas				
Herramientas manuales (5% M.O.)	%	0.050	20.00	1.00
5.02 VALVULA DE IMPULSION				231.00
Mano de obra				
Peón	Jornal	1.00	40.00	40.00
Válvula check horizontal con canastilla de 3"	Pza.	1.00	180.00	180.00
Perno coche de ½" x 8"	Pza.	1.00	5.00	5.00
Tuerca de ½"	Pzas.	2.00	1.50	3.00
Arandela de ½"	Pzas.	2.00	1.00	2.00
Resorte de alambre de piano (K=11.43N/mm)	Pzas.	2.00	8.00	16.00
Platina de 2mm x 1" x 11cm inc./perforación	Pza.	1.00	20.00	20.00
Perno de ¼" x 1"	Pzas.	2.00	1.50	3.00

Tuerca de ¼"	Pzas.	2.00	0.50	1.00
Arandela de ¼"	Pzas.	2.00	0.50	1.00
Equipos y Herramientas				
Herramientas manuales (5% M.O.)	%	0.050	40.00	2.00
5.03 VALVULA DE DESCARGA				120.00
Mano de obra				
Peón	Jornal	0.25	40.00	10.00
Materiales				
Válvula check tipo veleta (antiretorno) de 3 Pulg.	Pza.	1.00	120.00	120.00
Equipos y Herramientas				
Herramientas manuales (5% M.O.)	%	0.050	10.00	0.50
5.04 CAMARA DE AIRE				427.00
Mano de obra				
Peón	Jornal	1.00	40.00	40.00
Materiales				
Niple F° G° de 3" x 3"	Pza.	3.00	18.00	54.00
Tee F° G° de 3" x 90°	Pza.	2.00	35.00	70.00
Unión Campana F° G° de 3" x 4"	Pza.	1.00	35.00	35.00
Niple PVC de 4" x 1.10 m, C-10	Pza.	1.00	50.00	50.00
Tapón PVC rosca hembra de 4"	Pza.	1.00	13.00	13.00
Unión Campana F° G° de 2" x 3"	Pza.	1.00	35.00	35.00
Reducción Bushing F° G° de 2" x 1 1/2"	Pza.	1.00	20.00	20.00
Niple F° G° de 1 1/2" x 2 1/2"	Pza.	2.00	6.00	12.00
Tee F° G° de 1 1/2" x 90°	Pza.	1.00	12.00	12.00
Reducción Bushing 1 1/2" x 1" HDPE	Pza.	1.00	4.00	4.00
Reducción Bushing 1" x 1/2" HDPE	Pza.	1.00	3.00	3.00
Reducción Bushing 1/2" x 1/4 HDPE	Pza.	1.00	2.00	2.00
Manómetro de Glicerina de 10 Bar.	Pza.	1.00	75.00	75.00
Válvula esfera PVC de 1 1/2"	Pza.	1.00	20.00	20.00
Adaptador macho HDPE de 1 1/2"	Pza.	1.00	22.00	22.00
Teflón	Unid.	8.00	1.50	12.00
Equipos y Herramientas				
Herramientas manuales (5% M.O.)	%	0.050	40.00	2.00
6.00 CAMARA DE BOMBEO (1.0mx0.70mx0.50m)				301.00
Mano de obra				
Peón	Jornal	4.00	40.00	160.00
Materiales				
Cemento portland Tipo I	Bls.	2.00	25.00	50.00
Hormigón	m ³	0.50	40.00	20.00
Arena fina	m ³	0.25	60.00	15.00
Ladrillo 8x11x12cm	Unid.	80.00	0.50	40.00
Tubería PVC SAP C-5, de 3" x 3m	Unid.	1.00	8.00	8.00
Equipos y Herramientas				
Herramientas manuales (5% M.O.)	%	0.05	160.00	8.00
7.00 LINEA DE DESCARGA (92.00 m)				441.00
Mano de obra				

Peón	Jornal	2	40	80.00
Materiales				
Manguera HDPE 50mm	m	92	3.88	357.00
Equipos y Herramientas				
Herramientas manuales (5% M.O.)	%	0.05	80	4.00
				<hr/>
COSTO DIRECTO				2,682.50
COSTO INDIRECTO (10% CD)				268.00
				<hr/>
COSTO TOTAL (S/.)				2,950.50
				<hr/>

IV. DISCUSIÓN

4.1 DISCUSIÓN DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO

El diseño de la bomba de ariete hidráulico está sujeto a las dimensiones y características del sistema de bombeo instalado. Por lo tanto, para diseñar y construir la bomba de ariete hidráulico fue necesario conocer las características de cada uno de los componentes del sistema de bombeo.

El diseño del sistema de bombeo con fines de riego agrícola se inició desde los trabajos preliminares realizados en campo; donde se estableció la ubicación de la captación, línea de conducción, cámara de carga y reservorio; el desnivel de 12.90m existente entre la ubicación de la cámara de carga y el reservorio (punto de descarga del sistema de bombeo) permitió determinar la altura de impulsión (H), siendo este de 6.10 metros y con ello se calculó la altura de descarga resultando ser de 19 metros coincidiendo estos dos parámetros con el criterio de Watt, (1981) que plantea una relación de 1 a 3 entre la altura de impulsión y la altura de descarga; asimismo concordando con el criterio de Godoy, (2012) quien indica que es recomendable utilizar una caída mínima de 1 m y caída máxima de 13 m, elevación mínima 2 veces de la caída y elevación máxima de 130 metros; sin embargo, los criterios son solo recomendaciones para obtener un adecuado funcionamiento de la bomba de ariete ya que, investigaciones sobre la bomba de ariete hidráulico concluyen que este dispositivo es capaz de elevar el agua hasta 10 a 12 veces la caída que tenga.

Utilizando la altura de impulsión calculada (6.10 metros) se replanteó la ubicación de la bomba de ariete hidráulico en campo y plano topográfico con ello se determinó

20.40 metros de longitud de la línea de impulsión, asimismo permitió determinar 19 metros altura de descarga con una longitud de 92 metros.

Con el planteamiento hidráulico del sistema de bombeo realizada hasta esta etapa, se inició el diseño de sus componentes, para ello el punto de partida fue el cálculo de la demanda de agua de riego para la parcela de 0.59 hectáreas del fundo Porvenir; obteniéndose una demanda hídrica de 0.66 litros/segundo o 39.60 litros/minuto para el cultivo de alfalfa, a esta demanda hídrica se adoptó como el caudal de descarga (q), asumiendo 50% como eficiencia de la bomba de ariete, con ello y aplicando la fórmula de eficiencia se calculó el caudal de impulsión (Q) de 247 l/min siendo esta la cantidad de agua necesaria que ingrese o alimente a la bomba de ariete hidráulico para su funcionamiento y dotación de agua de riego cubriendo la demanda.

Teniendo el caudal de impulsión definido mediante criterios establecidos para el dimensionamiento del diámetro y aplicando la fórmula de Hazen y Williams se determinó el diámetro de 3 pulgadas para la tubería de la línea impulsión, este componente es muy importante en la instalación del sistema de bombeo, ya que, es la responsable de transportar el agua desde la cámara de carga hasta la bomba de ariete hidráulico, proporcionándole (como consecuencia del desnivel topográfico) una suficiente velocidad capaz de producir el desplazamiento de la válvula de impulsión ocasionando el cierre repentino del flujo de agua creando el golpe de ariete y consecuentemente la sobrepresión por lo que en su diseño se consideró su alta resistencia; como conducto de la línea de impulsión se eligió a la tubería de PVC por su menor costo, facilidad de traslado e instalación; a diferencia de Bonilla e Hidrobo, (2011) quienes en su trabajo de investigación realizan un análisis de las bondades que ofrecen las tuberías de hierro galvanizado, PVC y acero comercial en la instalación de sistema de bombeo mediante ariete hidráulico y recomiendan el uso de la tubería hierro galvanizado; sin embargo, siendo cuidadosos al elegir tuberías de PVC de clase y espesor adecuado capaz de resistir las sobrepresiones producidas por el fenómeno físico del golpe de ariete en el sistema de bombeo, se garantiza el adecuado funcionamiento de la línea de impulsión.

El diámetro de la tubería de impulsión permitió determinar el tamaño de diámetro del cuerpo de la bomba de ariete hidráulico, con el fin de evitar las transiciones que

generen pérdidas de energía se determinó el diámetro de la línea de impulsión de 3 pulgadas lo que implicó que el tamaño de la bomba de ariete hidráulico fuera de 3 pulgadas. Por otro lado, el diámetro de la línea de descarga también está en relación al diámetro de la tubería de impulsión por lo que se adoptó el criterio mencionado por Campaña y Guamán, (2011) que indica que el diámetro de la tubería de descarga es la mitad de la tubería de impulsión resultando el diámetro de 1 ½”.

4.2 DISCUSIÓN DEL DISEÑO DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO

Una vez diseñado los componentes del sistema de bombeo, recién fue posible iniciar con el diseño y construcción de la bomba de ariete hidráulico, puesto que solo conociendo el diámetro de la tubería de impulsión fue posible determinar el tamaño del cuerpo de la bomba y diseñar la válvula de impulsión, válvula de descarga cámara de aire; asimismo, el diámetro de la tubería de descarga permitió elegir el tamaño de los accesorios de conexión a la bomba de ariete.

El diseño de la bomba de ariete hidráulico fue elaborado teniendo en cuenta su fácil construcción, con materiales de ferretería posibles de adquirirlos en el mercado local, que posea robustez, sea regulable para distintas condiciones de operación y tenga una vida útil prolongada. El diseño de la bomba de ariete hidráulico conllevó a dimensionar cuatro componentes:

- **Cuerpo de la bomba.** Posee un diámetro de 3 pulgadas siendo el mismo diámetro de la tubería de impulsión lo que permite evitar una contracción o expansión que genere pérdidas de energía. En su diseño se eligió accesorios de hierro galvanizado de 3 pulgadas de diámetro además consta de una válvula esférica que permite controlar el ingreso del flujo de agua a la bomba de ariete hidráulico para su funcionamiento o para suspender ante algún desperfecto o con fines de regulación y mantenimiento. La elección del material de hierro galvanizado fue con la finalidad de brindar mayor robustez a este componente puesto que esta zona de la bomba será directamente la que resista el golpe de ariete y con ello evitar la expansión y absorción de la

sobrepresión generada. Estos criterios coinciden con los empleados por Rivadeneira y Silva, (2013) en sus trabajos de investigación, con los cuales, se logró un adecuado comportamiento de los materiales durante la operación de la bomba de ariete hidráulico.

- **Válvula de impulsión.** Los criterios de diseño utilizados fueron en concordancia con los empleados por Paredes y Tuquinga, (2012). La válvula de impulsión es el elemento principal de la bomba de ariete hidráulico, en su diseño se optó por usar una válvula de impulsión gobernada por un par de resortes los mismos que accionan el cierre y apertura de la válvula produciendo el fenómeno de golpe de ariete. El diseño de la válvula de impulso con resorte fue una adecuación de la válvula check con canastilla de 3 pulgadas de diámetro fabricado con material de bronce, al que se verificó la dimensión de su diámetro, espesor, carrera del pie de válvula mediante fórmulas establecidos para su respectivo calculo por Nekrasov, (1968). El diseño de las características técnicas del resorte fue una de las partes más importantes ya que depende de la constante de elasticidad del resorte el cierre rápido o lento de la válvula de impulsión lo que implica en la magnitud de la sobrepresión a generarse por el golpe de ariete; el cálculo de la fuerza de cierre del agua en el pie de válvula permitió la elección del resorte de compresión de alambre piano que tiene una constante de elasticidad de 11.43 N/mm. El diseño de la válvula de impulsión también implicó dimensionar el diámetro y longitud del vástago, el primero está en relación al diámetro del orificio del asiento de la válvula resultando este de ½” y la longitud del vástago se determinó mediante la suma de la longitud de carrera, longitud natural del resorte, espesor de las bancadas, espesor de las tuercas, contratueras y arandelas resultando 20 centímetros la longitud de vástago.

La válvula de impulsión diseñada tiene una carrera de 4cm y se encuentra regulada por un resorte de 11.43 N/mm de coeficiente de elasticidad, longitud libre de 101.6 mm, con máxima compresión de 40% de la longitud libre, a diferencia de lo diseñado por Paredes y Tuquinga, (2012) cuya válvula de impulsión posee una carrera de 2 cm y está regulada por un resorte de

313.8N/mm, longitud libre de 51mm y una máxima compresión de 30% de la longitud libre, esta variación es a causa de que los sistemas de bombeo planteados utilizan diferentes caudales y caídas de impulsión.

- **Válvula de descarga.** El diseño consideró la elección de la válvula check tipo veleta, conocido también como válvula antiretorno fabricado con material de bronce, cuyo diámetro de 3 pulgadas permitiría el paso de una cantidad suficiente a la cámara de aire y lograr bombear un caudal superior a la demanda de agua de riego. Una vez seleccionado este elemento prefabricado su diseño estuvo basado en verificar las dimensiones preestablecidas desde la fábrica las cuales coincidió con los requeridos; en cambio Rivadeneira y Silva, (2013) utiliza la válvula de no retorno tipo solapa indicando que la elección es por sus buenas características de funcionamiento, fácil construcción y bajo costo; sin embargo, el uso de la válvula check antiretorno también tiene un menor costo y evita invertir tiempo para su construcción.

La válvula de descarga con área de paso de 11.34 cm^2 seleccionada posee una similitud con lo realizado por Paredes y Tuquinga, (2012) quienes en su trabajo de investigación diseñaron una válvula del tipo check o antiretorno constituida de un empaque, una arandela y caucho natural rígido con dimensiones de 0.12m de diámetro exterior de la base, 0.012 m de espesor de la base, 0.045m de diámetro de la charnela o disco abisagrado y 0.008m de altura la charnela, cuya válvula de pie tiene 0.12m de diámetro exterior, 0.0254m de diámetro interior y 0.003m de espesor.

- **Cámara de aire.** Para dimensionar la cámara de aire fue necesario conocer la sobrepresión que se produce por la ocurrencia del golpe de ariete, calculándose una sobrepresión de 62.78 m.c.a. al cual adicionando la altura estática (6.10m) existente entre la cámara de carga y la bomba de ariete totaliza una presión de carga de 68.88 m.c.a. siendo esta la presión teórica que soporta la cámara de aire; la presión de carga total nos permitió elegir el tipo de material a considerar en la cámara de aire. Para el dimensionamiento del tamaño de la cámara de aire, primero se calculó el volumen de agua que se

descarga en cada ciclo de bombeo, resultando este de 2.54 litros/ciclo, con este dato y haciendo uso de las fórmulas empíricas utilizadas por Campaña y Guamán, (2011) en sus trabajos de investigación, se determinó el volumen de la cámara de aire, resultando un volumen de 10.65 litros. Además el diseño de la cámara de aire también consistió en la elección de accesorios de hierro galvanizado que favorecen una configuración adecuada para realizar el montaje a la válvula de descarga y realizar la conexión de la manguera de descarga.

El volumen de la cámara de aire está formado por dos secciones un primer tramo de 30 centímetros con diámetro de 3 pulgadas integrada por los accesorios de unión a la válvula de descarga y la segunda por una tubería PVC C-10 de 4 pulgadas de diámetro y una longitud de 1.10 metros con un tapón roscado en uno de sus extremos; la elección de la calidad de la tubería fue en base a la máxima presión (68.88 m.c.a), siendo la adecuada para esta la de clase 10. Paredes y Tuquinga, (2012) diseñaron una cámara de aire de 8 litros de volumen, pero lo construyeron de 10 litros a base de fundición gris que soporta una presión de 40KPsi (28.11 Kg/mm²), recomendado el uso de este material para una mayor seguridad de resistencia al golpe de ariete; sin embargo, en este trabajo de investigación el material de PVC seleccionado de acuerdo a sus especificaciones técnicas brinda resistencia satisfactoria ante los golpes de ariete logrando con ello disminuir el costo y permitir una fácil construcción.

La presión máxima calculada también permitió verificar y elegir adecuadamente la clase de tubería para la línea de impulsión, correspondiéndole la tubería PVC de clase 7.5.

En general, el diseño de los componentes de la bomba de ariete hidráulico posee tamaño y dimensiones que se encuentran dentro de los rangos permisibles establecidos por investigadores en trabajos similares, con lo que se garantizó el adecuado funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico.

4.3 DISCUSIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA BOMBA DE ARIETE

La construcción de la bomba de ariete hidráulico de 3 pulgadas fue a base de materiales prefabricados y comercializados en las ferreterías locales. Una vez adquirido todos los elementos integrantes de cada componente de este dispositivo hidráulico, se hizo el montaje de cada una de las piezas según lo establecido en los planos de diseño, logrando que las uniones roscadas se ajusten herméticamente a fin de evitar fugas de presión que disminuye la eficiencia de la bomba de ariete. El tamaño de 3 pulgadas de la bomba de ariete hidráulico fue determinado en base al caudal de demanda (0.66 l/s) requerida para el riego de la parcela de 0.59 hectáreas del fundo Porvenir; a diferencia del presente trabajo Paredes y Tuquinga, (2012) construyeron una bomba de ariete hidráulico de 4 pulgadas de acero comercial de fundición gris a base soldadura, lo que para la construcción de un agricultor de la sierra le es muy complejo y dificultoso; sin embargo, la bomba de ariete hidráulico universal propuesto requiere solo de una llave stillson para su montaje y desmontaje, siendo muy fácil su construcción.

4.4 DISCUSIÓN DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO

La instalación del sistema de bombeo físicamente se encuentra en el fundo Porvenir de propiedad del Sr. Teodoro Palomino Cuba, donde se construyó e instaló todos los componentes necesarios para el funcionamiento del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, el cual está integrado por: captación artesanal, línea de conducción a base de tubería PVC SAP C-5 con 3 pulgadas de diámetro, cámara de carga con 0.80m de largo, 0.60m de ancho y 0.60m de altura, línea de impulsión a base de tubería PVC SAP C-10 con diámetro de 3 pulgadas, una cámara de bombeo con 1.00m de largo, 0.60m de ancho y 0.50m de altura; bomba de ariete hidráulico universal de 3 pulgadas, línea de descarga instalado con manguera HDPE de 1 pulgada y 1/2 de diámetro y una longitud de 92 metros; cuyo sistema aprovecha 6.10m de caída de agua para bombear a 19m de altura; siendo menor en comparación a la instalación del sistema de bombeo realizado, en la comunidad de Airón Cebadas de Riobamba en el país de Ecuador por Paredes y Tuquinga, (2012) la cual está integrada por una bomba de ariete hidráulico de 4 pulgadas, tubería de impulsión de 2 pulgadas de diámetro y tubería de descarga de 1 pulgada de diámetro que

aprovechando 17 m de caída de agua bombea a una altura de 100 m y una longitud de 300 m con fines de uso agropecuario.

4.5 DISCUSIÓN DE LAS PRUEBAS DE CAMPO

Solo después de la instalación del sistema de bombeo fue posible realizar la evaluación de la eficiencia y eficacia de la bomba de ariete hidráulico universal que previamente se diseñó y construyó; en caso contrario, dicho equipo solo tuviera resultados teóricos. Siendo la prueba de campo la validación de los resultados obtenidos en el diseño y la construcción del mencionado equipo.

La primera prueba muestra que los materiales de construcción utilizados en el sistema de bombeo tienen un adecuado desempeño durante su operación. En el diseño se eligió materiales poco recomendados a fin de disminuir los costos, tal es el caso de la línea de impulsión para el cual Paredes y Tuquinga, (2012) como otros investigadores en trabajos similares recomiendan usar tuberías de acero galvanizado; sin embargo, en el presente trabajo de investigación se eligió usar tubería PVC de clase 7.5 cuya especificación técnica indica que está fabricada para soportar una presión teórica de 75 m.c.a., por ello en la elección del material para este componente se dio especial atención al espesor de tubería para garantizar su resistencia a la sobrepresión generada por el golpe de ariete; otro de los elementos de evaluación fue la cámara de aire construido con tubería PVC SAP C-10, ya que este componente de la bomba de ariete también está sometido a la máxima presión de carga cuando se produce el golpe de ariete. Para la evaluación del comportamiento de los materiales utilizados en la línea de impulsión y la bomba de ariete hidráulico, el sistema de bombeo fue sometido a la máxima sobrepresión que se generó al producirse el fenómeno físico denominado golpe de ariete; registrándose en el manómetro como máximo una lectura de 6 bares o 60 m.c.a en la cámara de aire siendo menor a los 68.88 m.c.a. determinado teóricamente en el cálculo de diseño; manteniendo este estado por un periodo de 24 horas se evaluó el comportamiento de los elementos integrantes del sistema de bombeo encontrando que sometidos a esta sobrepresión no presentaban ninguna deficiencia, desperfecto o falla alguna; demostrando con ello que una adecuada elección de los materiales durante el diseño

y teniendo en cuenta las especificaciones técnicas de cada material se obtiene un desempeño satisfactorio y adecuado durante el funcionamiento del sistema de bombeo, además brindándole sostenibilidad al mecanismos de bombeo de agua para riego.

En teoría, la bomba de ariete hidráulico es capaz de elevar agua aproximadamente de 10 a 12 veces la altura de impulsión; cuyo afirmación se comprobó puesto que en el sistema de bombeo instalado (con altura de impulsión de 6.10 metros, 20.40 metros de longitud de tubería de impulsión de 3 pulgadas con una inclinación de 15°) se generó una sobrepresión de 60 m.c.a. en la cámara de aire lo que indica que el prototipo de la bomba de ariete hidráulico diseñado y construido puede bombear agua hasta una altura de 60 metros, equivalente a 10 veces la caída de agua con el que cuenta.

La segunda prueba permitió determinar el rango de la eficiencia y eficacia que desarrolla la bomba de ariete hidráulico universal, para ello se creó tres escenarios de prueba mediante la calibración a diferentes reglajes de la válvula de impulsión; asimismo se buscó la calibración que permita bombear la cantidad de agua demandada por la parcela de 0.59 hectáreas del fundo Porvenir. La bomba de ariete hidráulico diseñada y construida alcanzó una eficiencia mínima de 54% con un reglaje de 40 golpes por minuto además con esta calibración es capaz de bombear a 60 metros de altura y alcanzó una eficiencia máxima de 77% con un reglaje de 77 golpes por minuto. El primer escenario creado para la prueba mediante un reglaje de la válvula de impulsión a 40 golpes/minuto se logró elevar un caudal de descarga de 42.60 litros/minuto siendo este mayor a 39.60 litros/minuto demandado por la parcela de 0.59 hectáreas; por lo tanto, esta calibración permitió cubrir la demanda de agua de riego.

Las gráficas de las curvas de operación de la bomba de ariete hidráulico universal muestra que resulta ser más eficiente a mayor número de golpes por minuto desarrollado, pero siendo menos eficaz; es decir, cuanto mayor sea el número de golpes por minuto se bombeará menor cantidad de agua requiriendo menor caudal de impulsión; cuanto más pausado se cierre la válvula de impulso habrá menor número

de golpes en un minuto y mayor volumen de agua se impulsará, pero requerirá mayor caudal de impulsión.

En los resultados obtenidos se encuentra una mínima variación entre los requeridos y los obtenidos sin embargo estas diferencias son valores superiores a los esperados.

Tabla IV-1. Comparación de resultados requeridos con los obtenidos.

N°	PRUEBAS	RESULTADO REQUERIDO	RESULTADO OBTENIDO
1	Altura de impulsión	6.10 m.	6.10 m.
2	Altura de descarga	19.00 m.	19.00 m.
3	Longitud de tubería de impulsión	20.40 m.	20.40 m.
4	Longitud de la tubería de descarga	92.00 m.	92.00 m.
5	Caudal de impulsión	247.00 l/min.	247.20 l/min.
6	Caudal de descarga	39.60 l/min.	42.60 l/min.
7	Eficiencia	50%	54% - 77%
8	Evaluación de materiales de instalación	Resistentes	Resistentes
9	Sobre presión del golpe de ariete	68.88 m.c.a.	60.00 m.c.a.

Comparando con el sistema de bombeo diseñado e instalado por Paredes y Tuquinga, (2012) quienes utilizaron una bomba de ariete hidráulico de 4 pulgadas que aprovechando una caída de 17 m de altura y alimentándose con un caudal de 2 l/seg eleva 0.22 l/seg como caudal de descarga a una altura de 100 m y una longitud de 300 m desarrollando una eficiencia del 45%, se observa que a mayor altura de bombeo el caudal de descarga disminuye.

4.6 DISCUSIÓN DEL COSTO DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO

Para lograr un menor costo en la construcción de la bomba de ariete se recurrió a la búsqueda de materiales prefabricados y de comercialización común, sin descuidar la calidad de estos. El costo de la bomba de ariete y de la instalación del sistema de bombeo es relativamente menor y se realiza por única vez, puesto que no requiere de mantenimiento permanente, tan solo de una inspección periódica, pudiendo tener una vida útil mínima de 5 a 10 años gracias a las características de los materiales

utilizados como acero galvanizado, PVC, bronce y HDPE, favoreciendo al incremento de la producción agropecuaria y con ello ampliar la frontera agrícola y generar mayores ingresos en las familias.

El costo total de la instalación del sistema de bombeo fue de S/. 2,950.50 soles, de los cuales el costo de construcción de la bomba de ariete hidráulico asciende a la suma de S/. 967.50 soles al mes de agosto del año 2016. Rivadeneira y Silva, (2013) diseñaron y construyeron una bomba de ariete hidráulico a base de acero al carbón mediante soldadura con un costo \$ 384.00 equivalente a S/. 1,226.00 y un costo total del sistema de bombeo que ascendió a \$ 791.40 equivalente a S/. 2,527.00; Paredes y Tuquinga, (2012) diseñaron e instalaron un sistema de bombeo mediante bomba de ariete hidráulico con un costo de \$ 4,385.40 equivalente a S/. 14,000.00, observándose que la bomba de ariete hidráulico universal propuesto a base de accesorios totalmente ferreteros resulta tener un costo menor a los construidos por otros investigadores en trabajos similares, por otro lado, se observa que cada sistema de bombeo tiene un costo de instalación diferente puesto que cada sistema presenta diferentes características, ya sea en longitud y diámetro de la línea de conducción, línea de impulsión, línea de descarga o en las dimensiones de la cámara de carga y reservorio.

V. CONCLUSIONES

1. Se diseñó y construyó una bomba de ariete hidráulico eficiente y eficaz, utilizando tecnología del medio en base a accesorios sanitarios de instalación de agua potable y a un costo de S/. 967.50 soles, con fines de riego en el fundo Porvenir de la comunidad de Quinrapa del distrito de Huanta.
2. En el diseño de este dispositivo hidráulico se utilizó criterios empíricos recomendados por investigadores en trabajos similares, desarrollando una propuesta de metodología de diseño que permitió dimensionar los componentes de la bomba de ariete hidráulico y se garantizó el funcionamiento eficiente y sostenible en el tiempo.
3. El diseño de la bomba de ariete hidráulico, consistió en modificaciones de la válvula de impulsión y válvula de descarga de 3 pulgadas de diámetro, las cuales a nivel de la cámara de aire generan el golpe de ariete que, dispuestas de manera estratégica aprovechan la energía del agua a través de una tubería de impulsión de 3 pulgadas de diámetro y 20.4 metros de longitud en una caída de 6.10 metros; y utilizando un caudal de 247.20 l/min eleva 42.60 l/min de agua a través de una tubería de descarga de 1 ½ pulgada de diámetro, 92 metros de longitud hasta una altura de 19 metros donde se encuentra el reservorio de almacenamiento.
4. La construcción de la bomba de ariete hidráulico fue realizada mediante niples, codos, tees de fierro galvanizado de 3" y 1 ½" de diámetro; reducción de fierro galvanizado de 4"x3", 3"x2" y 2"x1 ½"; válvula check de succión

bronce de 3", válvula check tipo veleta o antiretorno bronce de 3", válvula bola PVC de 3", tubería PVC C-10 de 4", manómetro de glicerina de 10 bar y conector HDPE de 1 ½".

5. La bomba de ariete hidráulico construido e instalado posee la virtud de operar a diferentes calibraciones, ello permite su uso en función a la disponibilidad de agua del lugar donde se pretenda implementar su aplicación; este dispositivo hidráulico con un reglaje de 40 golpes por minuto desarrolla una eficiencia de 54% bombeando un caudal de 42.60 l/min; con reglaje de 51 golpes por minuto desarrolla una eficiencia de 69% bombeando un caudal de 25.20 l/min y con el reglaje de 77 golpes por minuto desarrolla una eficiencia de 77% bombeando un caudal de 15.00 l/min.

La bomba de ariete hidráulico quedó operando con el reglaje de 40 golpes por minuto puesto que, esta calibración permitió satisfacer el requerimiento hídrico de 39.60 l/min calculada para el cultivo de alfalfa en la parcela de 0.59 hectáreas del fundo Porvenir.

VI. RECOMENDACIONES

1. Complementar el trabajo de investigación, mediante la evaluación del uso de los diferentes tipos de válvula de impulsión a fin de determinar qué tipo de válvula brinda mayor eficiencia y eficacia, puesto que es el elemento más importante y la que determina las características de funcionamiento, lo que permitirá tener una base certera para el diseño y construcción de la bomba de ariete hidráulico.
2. Se recomienda realizar investigaciones referentes a la comparación de la calidad de materiales de construcción de la bomba de ariete hidráulico, a fin de determinar el tipo de material que brinde un adecuado funcionamiento permitiendo reducir los costos.
3. Difundir el uso de la bomba de ariete hidráulico en sistemas de bombeo de agua para fines de riego y consumo humano, ya que esta tecnología a pesar de ser muy antigua es desconocida en la región Ayacucho.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

Aguero, R. (1997). *Agua Potable Para Poblaciones Rurales*. Lima: SER.

Barnes Group Inc. (8 de Agosto de 2016). *Barnes Group Spain*. Obtenido de <http://www.bgespana.com/p/113/muelles-de-compresion-en-alambre-de-piano/>

Barney, et al. (2012). *Bomba de ariete hidraulico*. Misiones: [s.n].

Bonilla, C., & Hidrobo, O. (2011). *Diseño de un sistema de turbobombeo y riego por aspersión en la comunidad de San Francisco de Cunuguachay*. Riobamba: Tesis de grado previo a la obtencion del titulo de Ingeniero Mecanico. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.

Borja, M. (2012). *Metodologia de la investigacion cientifica para ingenieros*. Chiclayo.

Budynas, G., & Nisbett, J. (2005). *Diseño en ingenieria mecanica de Shigley*. Mexico: Mc Graw Hill.

Campaña, C., & Guamán, D. (2011). *Diseño y construccion de una bomba de ariete hidraulico*. Quito: Proyecto previo a la obtencion de titulo de ingeniero Mecanico. Escuela Politécnica Nacional.

Colombo, G. (1901). *Manual del ingeniero*. Madrid: Romo y Fussel.

Crane. (1992). *Flujo de fluidos en valvulas, accesorios y tuberias*. Mexico: Mc Graw Hill.

Encinas, M. (1975). *Turbomaquinas Hidraulicas*. Mexico: Limusa.

Galarza, F. (2013). *Estudio de factores hidraulicos en una bomba de ariete y su efecto sobre la eficiencia*. Ambato: Trabajo estructurado de manera independiente previo a la obtencion del titulo de Ingeniero Mecanico. Universidad Tcnica de Ambato.

Gutierrez, L., & Mancebo, J. A. (2013). *Bombas de Ariete*. Madrid: [s.n.].

- Mataix, C. (1986). *Mecanica de fluidos y maquinas hidraulicas*. Madrid: Del Castillo S.A.
- Mott, R. (2006). *Mecanica de fluidos*. México: Pearson educacion.
- Nekrasov, B. (1968). *Hidraulica*. Moscú: MIR.
- Obando, et al. (2006). *Guia Tecnica Manejo y Aprovechameinto de Agua con Fines Agropecuarios*. Managua: PASOLAC.
- Oliveras, J. (13 de enero de 2015). *Hidrojing*. Recuperado el 1 de Junio de 2016, de <http://www.hidrojing.com/author/joliveras/>
- Paredes, M., & Tuquinga, R. (2012). *Diseño e instalacion de un sistema de bombeo mediante ariete hidraulico en la comunidad de Airón Cebadas*. Riobamba: Tesis de grado previo a la obtencion de Ingeniera Mecanica. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.
- Pavco. (1 de Agosto de 2016). *Pavco Peru*. Obtenido de <http://www.pavco.com.pe/>
- Perez, M.(27 de Agosto de 2015). Fontaneria Caceres. Recuperado el 5 de Julio de 2016, de <https://plus.google.com/+FONTANERIAcaceresMiguel%C3%81ngelP%C3%A9rezGranadoC%C3%A1ceres/posts/U34u2fDnX5u>
- Rivadeneira, S., & Silva, L. (2013). *Diseño y construccion de una bomba de eriete hidraulico con el desarrollo de un software para su dimensionamiento*. Quito: Tesis previa a la obtencion del titulo de Ingeniero Mecanico. Universidad Salesiana sede Quito.
- Sierra, C., & Biancha, G. (2012). *Analisis del ariete hidraulico para diferentes configuraciones*. Bucaramanga: Trabajo para optar el titulo de Ingeniero Mecanico. Universidad Industrial de Santander.
- Silver, M. (1977). *Use of hydraulic rams in Nepal*. Kathmandu: UNICEF.
- Watt, S. (1981). *A manual on the hidraulic ram for pumping water*. Londres: Technology Publications Ltd.

ANEXOS

- Anexo 1. Calculo de la demanda de agua
- Anexo 2. Diagrama de Moody
- Anexo 3. Coeficientes de resistencia para válvulas y accesorios
- Anexo 4. Rugosidad absoluta de materiales
- Anexo 5. Propiedades físicas del agua
- Anexo 6. Factores de conversión de unidades
- Anexo 7. Planos

Anexo 1.

REGISTRO DE HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)

ESTACION	: HUANTA	DISTRITO	: HUANTA	ALTITUD	: 2620.0 msnm
CODIGO	: 026	PROVINCIA	: HUANTA	LATTITUD	: 12°56'00" S
		DEPARTAMENTO	: AYACUCHO	LONGITUD	: 74°15'00" W

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1996	61.00	66.00	80.00	72.00	45.00	41.00	44.00	40.00	46.00	44.00	48.00	48.00
1997	59.00	64.00	63.00	58.00	44.00	37.00	36.00	48.00	45.00	47.00	43.00	54.00
1998	61.00	67.00	62.00	S/D								
1999	S/D	62.00	63.00	60.00	64.00							
2000	71.00	76.00	S/D	S/D	59.00	61.00	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
MEDIA	63.00	68.25	68.33	65.33	49.33	46.33	40.00	44.00	51.00	51.33	50.33	55.33

REGISTRO DE VELOCIDADES DE VIENTO MEDIA DIARIA (m/s)

ESTACION	: HUANTA	DISTRITO	: HUANTA	ALTITUD	: 2620.0 msnm
CODIGO	: 026	PROVINCIA	: HUANTA	LATTITUD	: 12°56'00" S
		DEPARTAMENTO	: AYACUCHO	LONGITUD	: 74°15'00" W

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2002	0.00	0.42	0.00	0.20	0.00	0.67	0.70	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
2003	0.49	0.29	0.26	0.84	0.64	0.39	0.20	0.90	0.22	0.67	0.66	0.52
2004	0.43	1.53	0.33	0.49	0.39	0.51	0.39	0.56	0.19	0.63	0.22	0.40
2005												
2006												
MEDIA	0.31	0.75	0.20	0.51	0.34	0.52	0.43	0.55	0.14	0.43	0.29	0.31
Km./día	26.48	64.58	17.09	43.97	29.73	44.93	37.25	47.85	11.81	37.44	25.34	26.48

REGISTRO DE TEMPERATURAS MINIMAS ABSOLUTAS DIARIAS (°C)

ESTACION	: HUANTA	DISTRITO	: HUANTA	ALTITUD	: 2620.0 msnm
CODIGO	: 026	PROVINCIA	: HUANTA	LATTITUD	: 12°56'00" S
		DEPARTAMENTO	: AYACUCHO	LONGITUD	: 74°15'00" W

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1993	5.50	6.00	6.60	6.00	4.00	-0.20	-0.20	-1.00	5.00	5.00	6.00	6.00
1994	5.50	6.50	6.50	5.50	5.00	4.00	3.50	3.50	5.00	5.50	5.50	6.50
1995	6.50	5.90	6.00	5.50	5.00	4.50	5.50	5.50	5.50	6.00	6.50	6.00
1996	7.00	6.50	1.00	2.50	4.50	3.00	3.50	4.50	5.50	6.00	5.50	5.50
1997	6.50	6.50	5.00	6.50	5.00	4.50	3.00	1.30	3.60	5.40	5.70	7.00
1998	S/D											
1999	S/D											
2000	S/D											
2001	S/D	S/D	S/D	3.02	1.00	1.10	2.20	0.00	2.30	3.30	2.20	6.00
2002	5.20	7.00	6.30	4.10	3.40	1.40	2.10	2.10	5.20	3.40	6.10	7.00
2003	6.30	1.40	5.30	4.30	3.20	2.40	2.20	3.00	3.40	5.20	8.80	9.40
2004	10.00	9.00	8.40	7.20	6.80	3.60	5.40	5.40	6.20	9.20	9.20	9.40
2005	8.60	8.60	8.00	6.60	5.40	5.00	3.40	5.40	7.60	8.20	7.60	8.80
2006	8.20	9.60	9.80	4.30	3.60	4.80	4.00	6.00	7.00	6.00	5.00	6.30
2007	6.10	6.20	9.20	8.20	4.00	4.80	5.20	5.60	6.20	7.60	9.00	9.20
2008	9.20	8.00	6.20	7.20	5.20	4.60	5.80	6.60	6.80	8.40	9.00	8.00
2009	9.60	7.80	8.20	7.80	5.80	5.00	5.00	5.40	7.80	6.40	8.00	7.00
MEDIA	7.25	6.85	6.65	5.62	4.42	3.46	3.61	3.81	5.51	6.11	6.72	7.29

REGISTRO DE TEMPERATURAS MAXIMAS ABSOLUTAS DIARIAS (°C)

ESTACION	: HUANTA	DISTRITO	: HUANTA	ALTITUD	: 2620.0 msnm
CODIGO	: 026	PROVINCIA	: HUANTA	LATTITUD	: 12°56'00" S
		DEPARTAMENTO	: AYACUCHO	LONGITUD	: 74°15'00" W

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2001	S/D	S/D	S/D	25.30	31.30	26.70	26.10	26.30	27.20	29.30	29.40	28.20
2002	29.30	25.40	26.20	26.20	27.10	25.30	25.20	25.40	29.30	28.20	28.10	29.20
2003	28.40	27.10	26.20	26.30	26.00	26.30	26.30	26.30	28.40	29.40	31.00	29.40
2004	27.80	26.40	27.00	27.80	27.40	25.60	25.40	26.60	28.20	28.60	29.00	28.00
2005	28.60	28.80	27.40	28.00	27.80	27.60	28.80	28.20	30.80	29.80	30.60	30.40
2006	27.40	27.80	26.80	26.50	27.00	27.00	25.40	28.20	27.00	27.60	26.00	28.30
2007	26.20	27.20	27.00	26.80	27.20	27.20	25.40	27.00	27.80	29.60	31.60	30.00
2008	26.60	27.00	27.20	27.60	27.20	26.20	26.40	28.60	28.80	29.80	29.60	30.60
2009	27.60	26.60	26.60	27.00	26.60	44.60	26.60	27.60	29.40	31.20	30.20	29.20
MEDIA	27.74	27.04	26.80	26.83	27.51	28.50	26.18	27.13	28.54	29.28	29.50	29.26

REGISTRO DE TEMPERATURAS MEDIA MENSUAL (°C)

ESTACION	: HUANTA	DISTRITO	: HUANTA	ALTITUD	: 2620.0 msnm							
CODIGO	: 026	PROVINCIA	: HUANTA	LATTITUD	: 12°56'00" S							
		DEPARTAMENTO	: AYACUCHO	LONGITUD	: 74°15'00" W							
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2001	15.42	13.63	14.06	15.22	15.20	12.88	13.57	13.10	15.35	16.54	17.05	16.92
2002	15.47	13.63	14.07	14.00	14.08	13.17	12.41	13.27	14.47	16.03	15.40	16.13
2003	17.38	16.46	15.48	13.41	15.06	14.51	14.24	15.30	16.26	22.96	19.47	18.63
2004	18.88	17.63	17.46	15.11	18.70	15.46	15.63	15.59	17.34	18.48	18.77	17.70
2005	18.07	18.42	17.81	17.84	17.22	16.34	16.17	17.00	18.57	18.64	19.03	16.10
2006	17.20	17.05	16.70	13.45	13.34	16.01	15.31	17.68	11.79	12.45	11.12	12.99
2007	12.61	12.89	16.50	17.05	17.18	16.36	16.14	17.52	17.13	18.50	16.53	18.09
2008	17.53	17.19	16.94	17.05	15.97	15.94	16.03	17.32	17.88	18.91	19.43	18.52
2009	17.81	17.48	17.28	17.18	16.44	16.26	16.21	17.09	18.09	18.91	18.74	18.53
MEDIA	16.71	16.04	16.26	15.59	15.91	15.21	15.08	15.98	16.32	17.93	17.28	17.07

REGISTRO DE HORAS DE SOL PROMEDIOS MENSUALES (horas/día)

ESTACION	: HUANTA	DISTRITO	: HUANTA	ALTITUD	: 2620.0 msnm							
CODIGO	: 026	PROVINCIA	: HUANTA	LATTITUD	: 12°56'00" S							
		DEPARTAMENTO	: AYACUCHO	LONGITUD	: 74°15'00" W							
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2001	3.20	4.25	5.30	7.30	7.28	7.24	8.22	8.32	6.28	7.27	7.33	4.25
2002	5.32	5.30	4.32	7.30	8.30	8.30	8.29	7.36	6.32	8.23	7.30	7.31
2003	5.27	2.28	3.33	5.26	7.26	8.21	7.25	8.31	6.24	6.36	6.32	5.30
2004	5.29	5.27	5.33	7.24	9.21	7.30	8.28	7.26	4.25	6.29	8.27	5.23
2005	7.24	0.29	1.24	6.29	8.35	8.28	8.25	8.25	7.26	5.29	7.27	3.27
2006	4.28	5.27	4.25	4.24	9.27	7.29	8.28	7.26	6.26	6.25	4.25	S/D
MEDIA	5.10	3.78	3.96	6.27	8.28	7.77	8.10	7.79	6.10	6.62	6.79	5.07

REGISTRO DE EVAPORACIONES DE TANQUE TOTAL MENSUAL (mm)

ESTACION	: HUANTA	DISTRITO	: HUANTA	ALTITUD	: 2620.0 msnm							
CODIGO	: 026	PROVINCIA	: HUANTA	LATTITUD	: 12°56'00" S							
		DEPARTAMENTO	: AYACUCHO	LONGITUD	: 74°15'00" W							
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2001	S/D	S/D	S/D	114.04	123.08	122.59	131.19	148.22	161.85	168.77	201.60	155.77
2002	111.14	77.46	107.02	88.18	83.97	105.93	84.24	123.60	102.82	118.90	148.22	158.92
2003	100.66	95.65	100.80	81.64	82.79	102.56	107.76	107.27	107.11	139.76	134.15	120.31
2004	86.83	77.90	84.70	58.71	62.25	59.99	65.69	61.16	73.96	80.73	92.15	126.04
2005	103.52	115.46	89.26	97.94	106.23	119.20	107.46	131.64	135.57	136.57	133.53	98.63
2006	96.51	93.25	68.84	110.45	110.58	117.66	124.52	108.84	146.69	137.33	116.22	132.35
2007	151.52	117.02	98.82	98.58	107.57	111.64	110.07	136.20	119.29	150.31	135.21	116.37
2008	63.16	83.58	70.84	85.42	89.36	91.30	93.44	115.38	125.45	134.21	133.40	119.96
2009	89.50	77.80	68.68	82.20	82.42	81.22	83.52	112.74	130.92	130.60	116.50	99.90
MEDIA	100.36	92.27	86.12	90.80	94.25	101.34	100.88	116.12	122.63	133.02	134.55	125.36

REGISTRO DE PRECIPITACIONES TOTAL MENSUAL (mm)

ESTACION	: HUANTA	DISTRITO	: HUANTA	ALTITUD	: 2620.0 msnm							
CODIGO	: 026	PROVINCIA	: HUANTA	LATTITUD	: 12°56'00" S							
		DEPARTAMENTO	: AYACUCHO	LONGITUD	: 74°15'00" W							
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1991	69.89	106.27	84.22	35.32	14.38	9.87	8.98	4.49	9.41	37.42	38.78	41.09
1992	52.42	92.62	70.96	29.27	2.91	21.11	17.12	17.73	7.08	53.71	24.79	60.14
1993	104.31	80.21	108.17	62.42	18.95	8.51	19.55	11.77	21.07	48.81	73.55	135.07
1994	86.88	98.00	97.58	47.47	13.20	5.33	0.66	1.95	13.90	18.24	37.16	64.98
1995	75.01	90.95	105.49	35.29	6.69	2.97	5.19	3.16	10.98	26.43	61.50	66.52
1996	87.53	115.53	106.57	48.58	7.05	1.26	1.98	10.68	11.64	26.38	24.71	85.53
1997	95.19	104.20	60.06	36.13	9.47	0.17	2.08	23.84	24.39	21.01	58.63	117.34
1998	94.65	89.55	84.54	29.76	2.71	17.46	0.75	4.98	5.86	38.08	33.88	75.12
1999	76.40	119.53	93.21	60.89	8.89	5.27	4.84	0.95	26.72	35.91	33.43	73.80
2000	84.77	145.54	94.04	25.56	23.75	23.65	23.54	8.72	7.52	51.41	16.68	85.80
2001	110.53	71.16	111.51	71.90	42.90	42.00	39.44	27.10	33.00	40.70	70.10	82.30
2002	31.70	115.80	97.40	40.50	19.70	1.40	22.30	11.46	28.54	34.96	55.07	120.00
2003	76.89	138.31	136.34	53.30	8.23	2.06	0.00	21.01	30.35	14.88	15.37	102.89
2004	42.49	81.20	57.60	8.19	8.65	9.18	20.08	14.02	24.17	19.21	37.30	98.75
2005	62.62	118.50	140.70	23.18	5.05	0.00	4.01	0.00	3.07	33.70	33.51	84.90
2006	113.52	64.32	66.18	91.41	0.00	5.00	0.00	2.00	15.60	17.20	50.00	80.90
2007	150.00	101.80	117.04	9.72	6.09	0.00	6.05	1.02	3.01	47.66	44.46	84.13
2008	67.86	82.30	23.40	14.80	12.00	9.40	0.00	0.00	2.20	47.40	28.00	63.90
2009	103.90	112.90	39.10	41.80	23.10	0.00	4.40	6.30	10.80	36.20	83.30	92.70
MEDIA	83.50	101.51	89.16	40.29	12.30	8.67	9.53	9.01	15.23	34.17	43.17	85.05
MAX.	150.00	145.54	140.70	91.41	42.90	42.00	39.44	27.10	33.00	53.71	83.30	135.07
MIN.	31.70	64.32	23.40	8.19	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20	14.88	15.37	41.09
DESV.	27.44	21.54	30.59	21.40	10.05	10.77	10.99	8.42	10.05	12.38	19.39	22.77
P50%	84.77	101.80	94.04	36.13	8.89	5.27	4.84	6.30	11.64	35.91	37.30	84.13
P75%	68.88	85.92	68.57	27.41	6.39	1.33	1.36	1.97	7.30	23.70	30.72	70.16
P90%	50.43	78.40	53.90	13.78	2.87	0.00	0.00	0.76	3.06	18.03	23.11	63.15
PE(mm)	72.3	85.0	76.5	37.7	12.1	8.6	9.4	8.9	14.8	32.3	40.2	73.5

DETERMINACIÓN ETo MÉTODO BLANEY CRIDDLE (Modificado por la FAO)

$$ETo = a + b * [p * (0.46 Tm + 8.13)]$$

Donde: ETo = Evapotranspiración potencial, (mm/día) del cultivo de referencia
 (f) = $p * (0.46 Tm + 8.13)$ (factor de uso consuntivo de Blaney-Criddle en mm/día)
 a, b = Coeficientes de la regresión lineal entre (f) y ETo
 p = Porcentaje de horas luz diarias, promedio del total anual
 Tm = Temperatura media mensual (°C)
 n = Número de horas de insolación real (horas/día)
 N = Máximo posible de horas de insolación

Mes	No de días	n	N	(n/N)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m/seg.)	a	b	p	Tm	ETo (mm/día)	ETo (mm/mes)
Enero	31	5.10	12.7929	0.40	63.00	0.31	-1.45	0.80	0.290	16.71	2.219	68.799
Febrero	28	3.78	12.5286	0.30	68.25	0.75	-1.45	0.80	0.280	16.04	2.024	56.675
Marzo	31	3.96	12.1643	0.33	68.33	0.20	-1.45	0.80	0.280	16.26	2.046	63.432
Abril	30	6.27	11.8000	0.53	65.33	0.51	-1.45	0.80	0.270	15.59	1.855	55.650
Mayo	31	8.28	11.4714	0.72	49.33	0.34	-2.20	1.20	0.260	15.91	2.620	81.215
Junio	30	7.77	11.3071	0.69	46.33	0.52	-2.20	1.20	0.253	15.21	2.393	71.790
Julio	31	8.10	11.4071	0.71	40.00	0.43	-2.20	1.20	0.260	15.08	2.500	77.513
Agosto	31	7.79	11.6714	0.67	44.00	0.55	-2.20	1.20	0.263	15.98	2.686	83.280
Setiembre	30	6.10	12.0000	0.51	51.00	0.14	-1.45	0.80	0.270	16.32	1.928	57.832
Octubre	31	6.62	12.4286	0.53	51.33	0.43	-1.45	0.80	0.280	17.93	2.219	68.790
Noviembre	30	6.79	12.7286	0.53	50.33	0.29	-1.55	0.88	0.287	17.28	2.511	75.334
Diciembre	31	5.07	12.8929	0.39	55.33	0.31	-1.55	0.88	0.290	17.07	2.528	78.381
TOTAL												838.693

Nota: Estación Meteorológica Huanta (altitud 2620 m.s.n.m., latitud sur 12° 56' 05" S longitud 74° 15' 00" W)

DETERMINACIÓN ETo MÉTODO DE PENMAN MONTEITH (Modificado por la FAO)

$$ETo = (c) * W * (Rn) + (1 - W) * [f(u) * (ea - ed)]$$

Donde: ETo = Evapotranspiración potencial (mm/día) del cultivo de referencia
 (C) = Factor de ajuste para Penman.
 W = Factor de ponderación para Penman.
 Rn = Radiación neta total (mm/día).
 f(u) = Función del viento.
 ea = Presión del vapor de agua a saturación (mbar)
 ed = Presión del vapor de agua ambiente (mbar)

Determinación de (c)

Mes	Velocidad del viento (m/seg.)	Relación U día / Unoche	Humedad relativa Med. (%)	Radiación Neta Total (mm/día)	(c)
Enero	0.31	2 / 1	63.00	4.389	0.980
Febrero	0.75	2 / 1	68.25	3.968	0.980
Marzo	0.20	2 / 1	68.33	3.742	0.980
Abril	0.51	2 / 1	65.33	3.852	0.980
Mayo	0.34	2 / 1	49.33	3.417	0.910
Junio	0.52	2 / 1	46.33	2.922	0.830
Julio	0.43	2 / 1	40.00	3.043	0.830
Agosto	0.55	2 / 1	44.00	3.571	0.910
Setiembre	0.14	2 / 1	51.00	3.903	0.910
Octubre	0.43	2 / 1	51.33	4.543	0.910
Noviembre	0.29	2 / 1	50.33	4.799	0.910
Diciembre	0.31	2 / 1	55.33	4.358	0.910

Determinación de W

Mes	Temperatura media mensual (°C)	Altitud (m.s.n.m.)	W
Enero	16.71	2,500	0.7029
Febrero	16.04	2,500	0.7096
Marzo	16.26	2,500	0.7074
Abril	15.59	2,500	0.7141
Mayo	15.91	2,500	0.7109
Junio	15.21	2,500	0.7179
Julio	15.08	2,500	0.7192
Agosto	15.98	2,500	0.7102
Setiembre	16.32	2,500	0.7468
Octubre	17.93	2,500	0.7307
Noviembre	17.28	2,500	0.7372
Diciembre	17.07	2,500	0.7393

cálculo de Rn: (Rn = Rns - Rnl)

Donde:	Mes	n (horas/día)	N (horas/día)	Ra (mm/día)	Rs	Ø	Rns
Rn = Radiación neta total (mm/día), por medición directa.	Enero	5.10	12.7929	16.6608	7.486	0.25	5.615
Rns = Radiación neta de onda corta (mm/día), por medición directa.	Febrero	3.78	12.5286	16.3608	6.556	0.25	4.917
Rnl = Radiación neta de onda larga (mm/día), por medición directa.	Marzo	3.96	12.1643	15.3393	6.333	0.25	4.750
	Abril	6.27	11.8000	13.8178	7.127	0.25	5.345
	Mayo	8.28	11.4714	12.2570	7.487	0.25	5.615
	Junio	7.77	11.3071	11.3570	6.741	0.25	5.056
	Julio	8.10	11.4071	11.7570	7.111	0.25	5.333
	Agosto	7.79	11.6714	13.0178	7.601	0.25	5.700
	Setiembre	6.10	12.0000	14.5785	7.351	0.25	5.513
	Octubre	6.62	12.4286	15.8000	8.155	0.25	6.116
	Noviembre	6.79	12.7286	16.4608	8.506	0.25	6.379
	Diciembre	5.07	12.8929	16.5608	7.398	0.25	5.548

Nota: Estación Meteorológica Huanta (altitud 2620 m.s.n.m., latitud sur 12° 56' 05" S longitud 74° 15' 00" W)

$$Rnl = f(T) * f(ed) * f(n/N)$$

(fórmula 2 - 16)

Donde: f(T) = Función de la temperatura
 f(ed) = Función de la presión del vapor de agua
 f(n/N) = Función de la relación entre horas de insolación reales y máximas.

$$Rn = Rns - Rnl$$

Mes	Temperatura media mensual (°C)	f(T)	ea (mbar)	Humedad relativa Med. (%)	ed (mbar)	f(ed)	(n/N)	f(n/N)	Rnl	Rn
Enero	16.71	14.458	19.75	63.00	12.442	0.18	0.40	0.46	1.226	4.389
Febrero	16.04	14.592	20.55	68.25	14.025	0.18	0.30	0.37	0.949	3.968
Marzo	16.26	14.549	20.29	68.33	13.866	0.18	0.33	0.39	1.007	3.742
Abril	15.59	13.862	18.69	65.33	12.213	0.19	0.53	0.58	1.493	3.852
Mayo	15.91	14.114	18.31	49.33	9.032	0.21	0.72	0.75	2.198	3.417
Junio	15.21	14.218	19.14	46.33	8.870	0.21	0.69	0.72	2.135	2.922
Julio	15.08	14.238	19.31	40.00	7.723	0.22	0.71	0.74	2.290	3.043
Agosto	15.98	14.102	18.22	44.00	8.016	0.22	0.67	0.70	2.129	3.571
Setiembre	16.32	14.536	20.21	51.00	10.309	0.20	0.51	0.56	1.611	3.903
Octubre	17.93	13.813	20.68	51.33	10.615	0.20	0.53	0.58	1.573	4.543
Noviembre	17.28	13.944	21.46	50.33	10.802	0.20	0.53	0.58	1.580	4.799
Diciembre	17.07	13.986	21.72	55.33	12.017	0.19	0.39	0.45	1.191	4.358

$f(u) = 0.27 * [1 + (U2)/100]$												
Donde:												
f (u) = Función del viento.												
(U2) = Velocidad del viento, diaria media, medida a 2 m. de altura sobre el nivel del su												
(U2) = f (z) * (u) (Km/día).												
f (z) = Coeficiente corrección para medición de velocidad del viento.												
(u) = Velocidad del viento, media diaria, medida con anemómetro a altura (3 m.)												
$ET_o = (c) * W * (R_n) + (1 - W) * [f(u) * (ea - ed)]$												
(u)	f (z)	(U2)	f (u)	Mes	(c)	W	Rn	1 - W	f (u)	(ea - ed)	ET _o (mm/día)	ET _o (mm/mes)
26.48	0.93	24.62	0.336	Enero	0.980	0.702910793	4.389	0.297089207	0.336	7.307	3.739	115.913
64.58	0.93	60.06	0.432	Febrero	0.980	0.709576875	3.968	0.290423125	0.432	6.524	3.562	106.849
17.09	0.93	15.90	0.313	Marzo	0.980	0.707435384	3.742	0.292564616	0.313	6.426	3.171	98.296
43.97	0.93	40.89	0.380	Abril	0.980	0.7141	3.852	0.28589	0.380	6.480	3.386	101.589
29.73	0.93	27.65	0.345	Mayo	0.910	0.710907766	3.417	0.289092234	0.345	9.277	3.052	94.610
44.93	0.93	41.78	0.383	Junio	0.830	0.717859691	2.922	0.282140309	0.383	10.273	2.662	82.512
37.25	0.93	34.65	0.364	Julio	0.830	0.719230127	3.043	0.280769873	0.364	11.585	2.798	78.348
47.85	0.93	44.50	0.390	Agosto	0.910	0.710150299	3.571	0.289849701	0.390	10.202	3.358	104.084
11.81	0.93	10.98	0.300	Setiembre	0.910	0.746788676	3.903	0.253211324	0.300	9.905	3.336	100.079
37.44	0.93	34.82	0.364	Octubre	0.910	0.730659634	4.543	0.269340366	0.364	10.064	3.919	121.480
25.34	0.93	23.57	0.334	Noviembre	0.910	0.737176543	4.799	0.262823457	0.334	10.659	4.070	122.093
26.48	0.93	24.62	0.336	Diciembre	0.910	0.739319235	4.358	0.260680765	0.336	9.701	3.706	114.889
TOTAL												1240.742

RESUMEN EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Mes	Tanque Evaporimetro Clase A		Blaney Criddle		Hargreaves en base Radiación Extraterrestre		Hargreaves en base a la temperatura		Penman Monteith		Promedio Entre Hargreaves Radiación - Temperatura - Penman	
	(mm/día)	mm/mes)	(mm/día)	mm/mes)	(mm/día)	mm/mes)	(mm/día)	mm/mes)	(mm/día)	mm/mes)	(mm/día)	mm/mes)
Enero	2.266	70.249	2.219	68.799	6.118	189.655	5.643	174.935	3.739	115.913	5.167	160.167
Febrero	2.307	64.586	2.024	56.675	5.871	164.376	4.927	137.968	3.562	106.849	4.787	136.398
Marzo	1.945	60.284	2.046	63.432	5.471	169.610	4.543	140.840	3.171	98.296	4.395	136.249
Abril	2.119	63.557	1.855	55.650	4.992	149.765	4.060	121.813	3.386	101.589	4.146	124.389
Mayo	2.128	65.975	2.620	81.215	4.590	142.294	3.614	112.037	3.052	94.610	3.752	116.314
Junio	2.365	70.940	2.393	71.790	4.432	132.960	3.251	97.535	2.662	82.512	3.448	104.336
Julio	2.278	70.614	2.500	77.513	4.215	130.668	3.358	104.084	2.798	78.348	3.457	104.367
Agosto	2.622	81.282	2.686	83.280	4.823	149.513	3.943	122.237	3.358	104.084	4.041	125.278
Setiembre	2.861	85.840	1.928	57.832	5.613	168.391	4.628	138.832	3.336	100.079	4.526	135.767
Octubre	3.004	93.114	2.219	68.790	6.208	192.455	5.411	167.746	3.919	121.480	5.179	160.560
Noviembre	3.140	94.187	2.511	75.334	6.485	194.537	5.628	168.833	4.070	122.093	5.394	161.821
Diciembre	2.831	87.753	2.528	78.381	6.435	199.493	6.321	195.940	3.706	114.889	5.487	170.107
TOTAL		908.380		838.693		1983.717		1682.801		1240.742		1635.753

Nota: Estación Meteorológica Huanta (altitud 2620 m.s.n.m., latitud sur 12° 56' 05" S longitud 74° 15' 00" W)

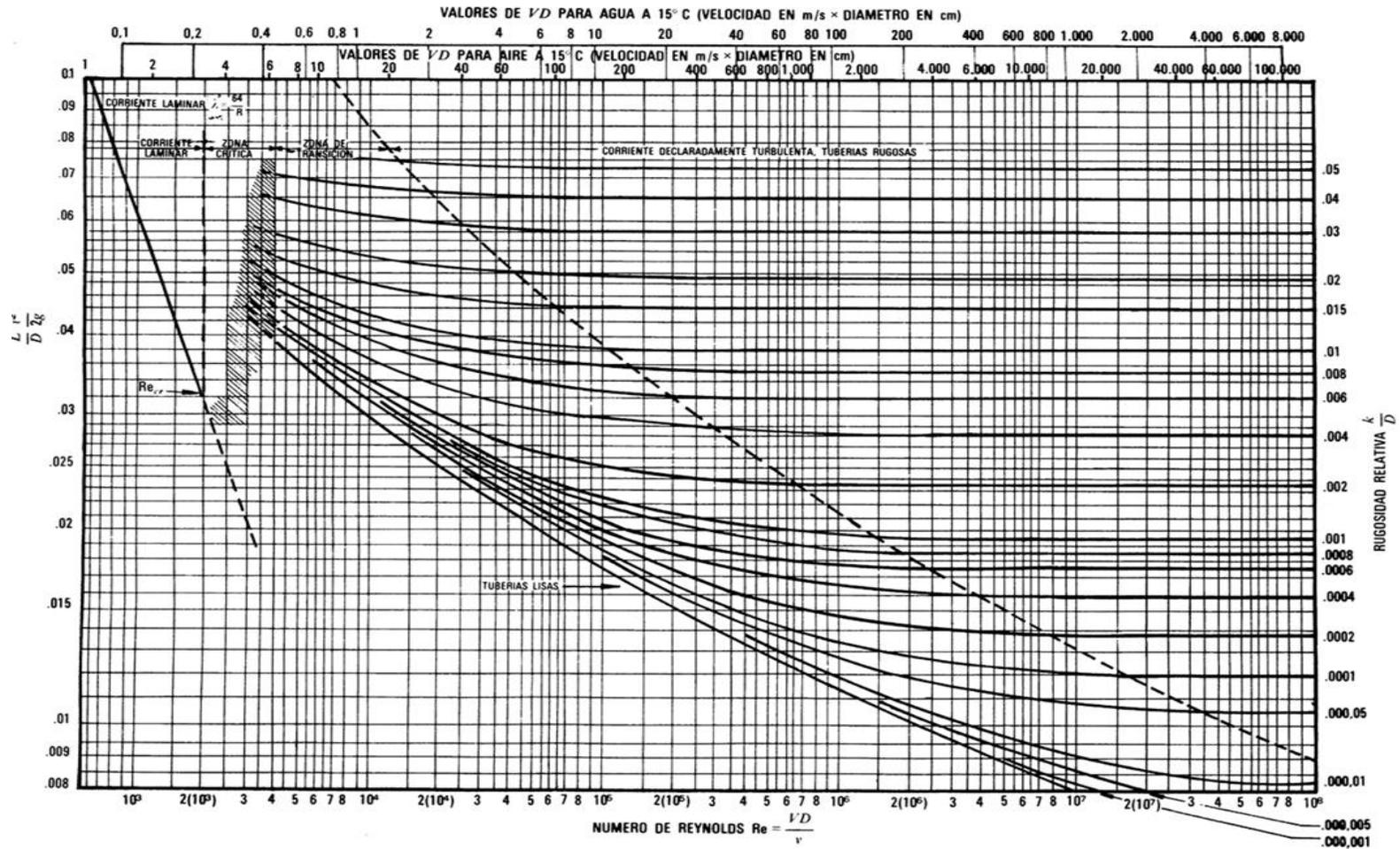
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Tanque Evap A	70.25	64.59	60.28	63.56	65.98	70.94	70.61	81.28	85.84	93.11	94.19	87.75
Blaney Criddle	68.80	56.68	63.43	55.65	81.22	71.79	77.51	83.28	57.83	68.79	75.33	78.38
Hargreaves Ra	189.65	164.38	169.61	149.77	142.29	132.96	130.67	149.51	168.39	192.45	194.54	199.49
Hargreaves T°	174.90	137.94	140.81	121.78	112.01	97.51	104.06	122.21	138.80	167.71	168.79	195.90
Penman	116.34	104.55	98.81	101.25	99.09	83.49	80.60	107.40	106.60	126.40	127.78	116.50

CALCULO DE LA DEMANDA DE AGUA

DESCRIPCIÓN	PERÍODO DE SIEMBRA																							
	Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun		Jul		Ago		Set		Oct		Nov		Dic	
Número de días del mes	31		28		31		30		31		30		31		31		30		31		30		31	
CULTIVO PRINCIPAL O CAMPAÑA GRANDE	Kc	Has.	Kc	Has.	Kc	Has.	Kc	Has.	Kc	Has.	Kc	Has.	Kc	Has.	Kc	Has.	Kc	Has.	Kc	Has.	Kc	Has.	Kc	Has.
ALFALFA	0.59	Has.	0.95	0.59	0.95	0.59	0.95	0.59	0.95	0.59	0.95	0.59	0.95	0.59	0.95	0.59	0.95	0.59	0.95	0.59	0.95	0.59	0.95	0.59
Área total sembrada	0.59	Has.																						
(Kc) Promedio Coeficiente de Cultivo	0.95		0.95		0.95		0.95		0.95		0.95		0.95		0.95		0.95		0.95		0.95		0.95	
Área Mensual Sembrada (Has.)		0.59		0.59		0.59		0.59		0.59		0.59		0.59		0.59		0.59		0.59		0.59		0.59

(ETo) promedio Hargreaves-Penman (mm/día)	5.17	4.79	4.40	4.15	3.75	3.45	3.46	4.04	4.53	5.18	5.39	5.49
(ETc) Necesidad Real del Cultivo ó UC (mm/día)	4.91	4.55	4.18	3.94	3.56	3.28	3.28	3.84	4.30	4.92	5.12	5.21
(Pp) Precipitación Total Promedio Mensual (mm/mes)	83.50	101.51	89.16	40.29	12.30	8.67	9.53	9.01	15.23	34.17	43.17	85.05
(PE) Pp. Efectiva (mm/mes)	72.30	85.00	76.50	37.70	12.10	8.60	9.40	8.90	14.80	32.30	40.20	73.50
(Er) Eficiencia de riego promedio (%)	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
(Dn) Demanda Unitaria Neta de Riego (mm/mes)	79.86	42.32	52.94	80.47	98.40	89.68	92.41	110.11	114.18	120.23	113.53	88.10
(Db) Demanda bruta total de Riego (mm/mes)	199.65	105.81	132.34	201.17	246.00	224.19	231.02	275.29	285.45	300.58	283.82	220.26
(Db) Demanda bruta total de Riego (m3/ha)	1,996.48	1,058.05	1,323.40	2,011.74	2,459.95	2,241.90	2,310.17	2,752.85	2,854.47	3,005.80	2,838.25	2,202.55
(Hr) Numero de Horas de riego/día	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
(D) Demanda de Agua del Proyecto (m3)	1,177.9	624.3	780.8	1,186.9	1,451.4	1,322.7	1,363.0	1,624.2	1,684.1	1,773.4	1,674.6	1,299.5
(D) Demanda de Agua del Proyecto (litros/seg)	0.44	0.26	0.29	0.46	0.54	0.51	0.51	0.61	0.65	0.66	0.65	0.49
(Mr) Módulo de riego calculado (litros/seg/has.)	0.75	0.44	0.49	0.78	0.92	0.86	0.86	1.03	1.10	1.12	1.10	0.82

Anexo 2. DIAGRAMA DE MOODY PARA HALLAR EL COEFICIENTES DE PERDIDAS DE CARGA λ EN TUBERIAS



Anexo 3.

A-24. TABLA DEL FACTOR "K" (página 1 de 4)
 Coeficientes de resistencia [K] válidos para válvulas y accesorios
 ("K" está basado en el uso de los términos como se muestra en el diagrama en la página 3-10)

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

Diámetro Nominal	mm	15	20	25	31	40	50	65, 80	100	125	150	200, 250	300, 400	450-600
	in	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2, 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

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

Fórmula 2

$$K_1 = \frac{0.5 (1 - \beta^2) \sqrt{\sin \frac{\theta}{2}}}{\beta^4} = \frac{K_3}{\beta^4}$$

Fórmula 3

$$K_1 = \frac{2.6 \left(\sin \frac{\theta}{2} \right) (1 - \beta^2)^2}{\beta^4} = \frac{K_4}{\beta^4}$$

Fórmula 4

$$K_1 = \frac{(1 - \beta^2)^2}{\beta^4} = \frac{K_5}{\beta^4}$$

Fórmula 5

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

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

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

$$K_2 = \frac{K_1}{\beta^4} \epsilon \beta (\text{Fórmula 2} + \text{Fórmula 4}), \text{ cuando } \beta \leq 0.7$$

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

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

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

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

*Otra el valor de K proporcionado por el proveedor, cuando se dispone de dicho valor

ESTRECHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL



$$2: \theta \leq 45^\circ \dots \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 1}$$

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

ENSANCHAMIENTO BRUSCO Y GRADUAL



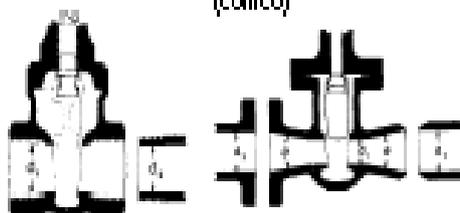
$$2: \theta \leq 45^\circ \dots \dots \dots K_2 = \text{Fórmula 3}$$

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

A-24 TABLA DEL FACTOR "K" (página 2 de 4)
Coeficientes de resistencia (K) válidos para válvulas y accesorios

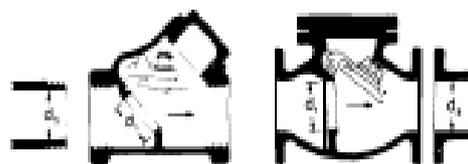
VÁLVULAS DE COMPUERTA

De anillo de doble obturador o tipo macho (cónico)



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

VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO OSCILANTE



$K = 100 f_T$ $K = 50 f_T$

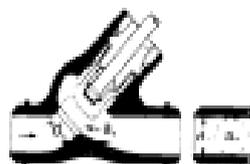
Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador

(m/seg) $45 \sqrt{V}$ $75 \sqrt{V}$
 (pie/seg) $15 \sqrt{V}$ $= 60 \sqrt{V}$
 UPL Registrada $120 \sqrt{V}$ $= 100 \sqrt{V}$

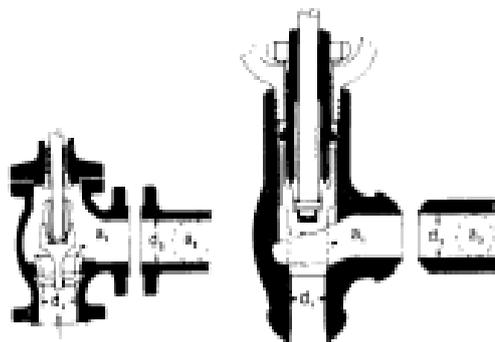
VÁLVULAS DE GLOBO Y ANGULARES



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



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



Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 1150 f_T$ Si: $\beta = 1 \dots \dots K_1 = 55 f_T$

Toda la válvula de globo y angular con asiento redondo β de varillas.

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

VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE OBTURADOR ASCENDENTE



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

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador = $50 \beta^{1.5} \sqrt{V}$ m/seg $40 \beta^{1.5} \sqrt{V}$ pie/seg



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

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador = $170 \beta^{1.5} \sqrt{V}$ m/seg $140 \beta^{1.5} \sqrt{V}$ pie/seg

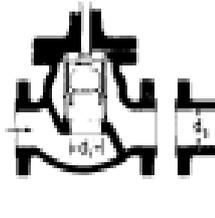
VÁLVULAS DE RETENCIÓN DE DISCO BASCULANTE



Flujo	$\alpha = 5^\circ$	$\alpha = 15^\circ$
50 mm (2") a 200 mm (8") K =	40 f_T	120 f_T
250 mm (10") a 350 mm (14") K =	30 f_T	90 f_T
400 mm (16") a 1200 mm (48") K =	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	$50 \sqrt{V}$	$30 \sqrt{V}$

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

VÁLVULAS DE RETENCIÓN Y GIERRE
 (Tipos recto y angular)



S:

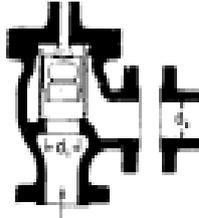
$\beta = 1, \dots, K_1 = 400 f_T$

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

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador

m/seg = $70 \beta^2 \sqrt{V}$

pie/seg = $55 \beta^2 \sqrt{V}$



S:

$\beta = 1, \dots, K_1 = 200 f_T$

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

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador

m/seg = $95 \beta^2 \sqrt{V}$

pie/seg = $75 \beta^2 \sqrt{V}$

VÁLVULAS DE PIE CON FILTRO
 Obturador ascendente Obturador oscilante

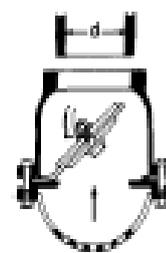


$K = 420 f_T$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador

m/seg = $20 \sqrt{V}$

pie/seg = $15 \sqrt{V}$

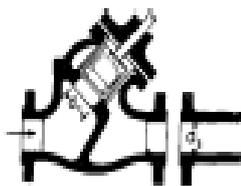


$K = 75 f_T$

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador

m/seg = $45 \sqrt{V}$

pie/seg = $35 \sqrt{V}$



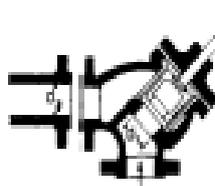
S:

$\beta = 1, \dots, K_1 = 300 f_T$

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

Velocidad mínima en la tubería para abrir totalmente el obturador

m/seg = $75 \beta^2 \sqrt{V}$



S:

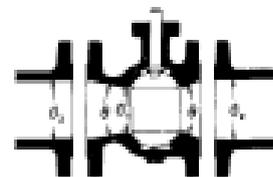
$\beta = 1, \dots, K_1 = 350 f_T$

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

Velocidad mínima en la tubería para abrir totalmente el obturador

pie/seg = $60 \beta^2 \sqrt{V}$

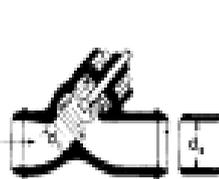
VÁLVULAS DE GLOBO



S: $\beta = 1, \theta = 0, \dots, K_1 = 3 f_T$

$\beta < 1$ y $\theta < 45^\circ, \dots, K_2 = \text{Fórmula 5}$

$\beta < 1$ y $45^\circ < \theta < 180^\circ, \dots, K_3 = \text{Fórmula 6}$

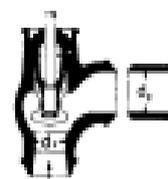


$\beta = 1, \dots, K_1 = 55 f_T$

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

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador

m/seg = $170 \beta^2 \sqrt{V}$



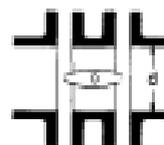
$\beta = 1, \dots, K_1 = 55 f_T$

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

Velocidad mínima en la tubería para levantar totalmente el obturador

pie/seg = $140 \beta^2 \sqrt{V}$

VÁLVULAS DE MARIPOSA



Diámetro 50 mm (2") a 200 mm (8")... $K = 45 f_T$

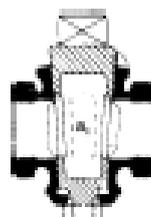
Diámetro 250 mm (10") a 350 mm (14")... $K = 35 f_T$

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

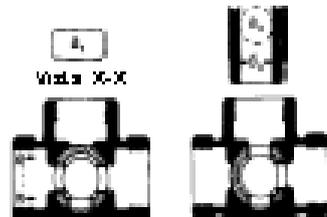
VÁLVULAS DE MACHO Y LLAVES

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 $\beta < 1$ $K_1 = \text{Fórmula 6}$

CEDOS ESTÁNDAR

90°



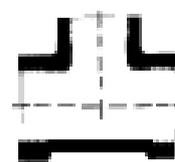
$K = 30 f_T$

45°



$K = 16 f_T$

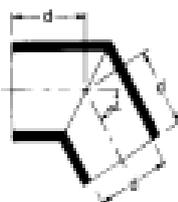
CONEXIONES ESTÁNDAR EN "T"



Flujo directo $K = 20 f_T$

Flujo desviado a 90° .. $K = 60 f_T$

CURVAS EN ESQUADRA
 O FALSA ESQUADRA



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 CEDOS 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_{90} , para curvas que no sean de 90° puede determinarse con la fórmula:

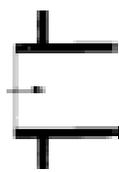
$$K_B = (n - 1) \left(0.25 n f_T \frac{r}{d} + 0.5 K \right) + K$$

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 canto vivo

A tope



Véase los valores de K en la tabla

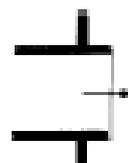
CURVAS DE 180° DE RADIO CORTO



$K = 50 f_T$

SALIDAS DE TUBERÍA

Con resalte De cantos vivos Redondeada



$K = 1.0$



$K = 1.0$



$K = 1.0$

Anexo 4. RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES

Material	ϵ (mm)	Material	ϵ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

Anexo 5. PROPIEDADES FISICAS DEL AGUA

Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m ³)	Densidad (kg/m ³)	Módulo de elasticidad (kN/m ²)	Viscosidad dinámica (N·s/m ²)	Viscosidad cinemática (m ² /s)	Tensión superficial (N/m)	Presión de vapor (kN/m ²)
0	9,805	999,8	$1,98 \cdot 10^6$	$1,781 \cdot 10^{-3}$	$1,785 \cdot 10^{-6}$	0,0765	0,61
5	9,807	1000,0	$2,05 \cdot 10^6$	$1,518 \cdot 10^{-3}$	$1,519 \cdot 10^{-6}$	0,0749	0,87
10	9,804	999,7	$2,10 \cdot 10^6$	$1,307 \cdot 10^{-3}$	$1,306 \cdot 10^{-6}$	0,0742	1,23
15	9,798	999,1	$2,15 \cdot 10^6$	$1,139 \cdot 10^{-3}$	$1,139 \cdot 10^{-6}$	0,0735	1,70
20	9,789	998,2	$2,17 \cdot 10^6$	$1,102 \cdot 10^{-3}$	$1,003 \cdot 10^{-6}$	0,0728	2,34
25	9,777	997,0	$2,22 \cdot 10^6$	$0,890 \cdot 10^{-3}$	$0,893 \cdot 10^{-6}$	0,0720	3,17
30	9,764	995,7	$2,25 \cdot 10^6$	$0,708 \cdot 10^{-3}$	$0,800 \cdot 10^{-6}$	0,0712	4,24
40	9,730	992,2	$2,28 \cdot 10^6$	$0,653 \cdot 10^{-3}$	$0,658 \cdot 10^{-6}$	0,0696	7,38
50	9,689	988,0	$2,29 \cdot 10^6$	$0,547 \cdot 10^{-3}$	$0,553 \cdot 10^{-6}$	0,0679	12,33
60	9,642	983,2	$2,28 \cdot 10^6$	$0,466 \cdot 10^{-3}$	$0,474 \cdot 10^{-6}$	0,0662	19,92
70	9,589	977,8	$2,25 \cdot 10^6$	$0,404 \cdot 10^{-3}$	$0,413 \cdot 10^{-6}$	0,0644	31,16
80	9,530	971,8	$2,20 \cdot 10^6$	$0,354 \cdot 10^{-3}$	$0,364 \cdot 10^{-6}$	0,0626	47,34
90	9,466	965,3	$2,14 \cdot 10^6$	$0,315 \cdot 10^{-3}$	$0,326 \cdot 10^{-6}$	0,0608	70,10
100	9,399	958,4	$2,07 \cdot 10^6$	$0,282 \cdot 10^{-3}$	$0,294 \cdot 10^{-6}$	0,0589	101,33

Anexo 6. FACTORES DE CONVERSION DE UNIDADES

Factores de conversión

MAGNITUD	SISTEMA MÉTRICO	SISTEMA MÉTRICO INGLÉS
Aceleración	$1 \text{ m/s}^2 = 100 \text{ cm/s}^2$	$1 \text{ m/s}^2 = 3.2808 \text{ ft/s}^2$ $1 \text{ ft/s}^2 = 0.3048^* \text{ m/s}^2$
Área	$1 \text{ m}^2 = 10^4 \text{ cm}^2 = 10^6 \text{ mm}^2 = 10^{-6} \text{ km}^2$	$1 \text{ m}^2 = 1550 \text{ in}^2 = 10.764 \text{ ft}^2$ $1 \text{ ft}^2 = 144 \text{ in}^2 = 0.09290304^* \text{ m}^2$
Densidad	$1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/L} = 1000 \text{ kg/m}^3$	$1 \text{ g/cm}^3 = 62.428 \text{ lbm/ft}^3 = 0.036127 \text{ lbm/in}^3$ $1 \text{ lbm/in}^3 = 1728 \text{ lbm/ft}^3$ $1 \text{ kg/m}^3 = 0.062428 \text{ lbm/ft}^3$
Energía, calor, trabajo y energía específica	$1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J} = 1000 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3$ $1 \text{ kJ/kg} = 1000 \text{ m}^2/\text{s}^2$ $1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$	$1 \text{ kJ} = 0.94782 \text{ Btu}$ $1 \text{ Btu} = 1.055056 \text{ kJ}$ $= 5.40395 \text{ psia} \cdot \text{ft}^3 = 778.169 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$ $1 \text{ Btu/lbm} = 25.037 \text{ ft}^2/\text{s}^2 = 2.326^* \text{ kJ/kg}$ $1 \text{ kWh} = 3412.14 \text{ Btu}$
Fuerza	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 10^5 \text{ dinas}$ $1 \text{ kgf} = 9.80665 \text{ N}$	$1 \text{ N} = 0.22481 \text{ lbf}$ $1 \text{ lbf} = 32.174 \text{ lbm} \cdot \text{ft/s}^2 = 4.44822 \text{ N}$ $1 \text{ lbf} = 1 \text{ slug} \cdot \text{ft/s}^2$
Longitud	$1 \text{ m} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm} = 10^6 \mu\text{m}$ $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$	$1 \text{ m} = 39.370 \text{ in} = 3.2808 \text{ ft} = 1.0926 \text{ yd}$ $1 \text{ ft} = 12 \text{ in} = 0.3048^* \text{ m}$ $1 \text{ milla} = 5280 \text{ ft} = 1.6093 \text{ km}$ $1 \text{ in} = 2.54^* \text{ cm}$
Masa	$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$ $1 \text{ tonelada} = 1000 \text{ kg}$	$1 \text{ kg} = 2.2046226 \text{ lbm}$ $1 \text{ lbm} = 0.45359237^* \text{ kg}$ $1 \text{ onza} = 28.3495 \text{ g}$ $1 \text{ slug} = 32.174 \text{ lbm} = 14.5939 \text{ kg}$ $1 \text{ tonelada corta} = 2000 \text{ lbm} = 907.1847 \text{ kg}$
Potencia	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = 1 \text{ kJ/s}$ $1 \text{ hp}^{\dagger} = 745.7 \text{ W}$	$1 \text{ kW} = 3412.14 \text{ Btu/h} = 1.341 \text{ hp}$ $= 737.56 \text{ lbf} \cdot \text{ft/s}$ $1 \text{ hp} = 550 \text{ lbf} \cdot \text{ft/s} = 0.7068 \text{ Btu/s}$ $= 42.41 \text{ Btu/min} = 2544.5 \text{ Btu/h}$ $= 0.74570 \text{ kW}$ $1 \text{ Btu/h} = 1.055056 \text{ kJ/h}$
Presión o esfuerzo, y presión expresada como carga hidrostática	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ $1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa} = 10^{-3} \text{ MPa}$ $1 \text{ atm} = 101.325 \text{ kPa} = 1.01325 \text{ bar}$ $= 760 \text{ mm Hg a } 0^\circ\text{C}$ $= 1.03323 \text{ kgf/cm}^2$ $1 \text{ mm Hg} = 0.1333 \text{ kPa}$	$1 \text{ Pa} = 1.4504 \times 10^{-4} \text{ psi}$ $= 0.020886 \text{ lbf/ft}^2$ $1 \text{ psi} = 144 \text{ lbf/ft}^2 = 6.894757 \text{ kPa}$ $1 \text{ atm} = 14.696 \text{ psi}$ $= 29.92 \text{ pulgadas Hg a } 30^\circ\text{F}$ $1 \text{ pulgada Hg} = 13.60 \text{ pulgadas H}_2\text{O} = 3.387 \text{ kPa}$
Calor específico	$1 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} = 1 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ $= 1 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$	$1 \text{ Btu/lbm} \cdot ^\circ\text{F} = 4.1868 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ $1 \text{ Btu/lbmol} \cdot \text{R} = 4.1868 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K}$ $1 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} = 0.23885 \text{ Btu/lbm} \cdot ^\circ\text{F}$ $= 0.23885 \text{ Btu/lbm} \cdot \text{R}$
Volumen específico	$1 \text{ m}^3/\text{kg} = 1000 \text{ L/kg}$ $= 1000 \text{ cm}^3/\text{g}$	$1 \text{ m}^3/\text{kg} = 16.02 \text{ ft}^3/\text{lbm}$ $1 \text{ ft}^3/\text{lbm} = 0.062428 \text{ m}^3/\text{kg}$
Temperatura	$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15$ $\Delta T(\text{K}) = \Delta T(^{\circ}\text{C})$	$T(\text{R}) = T(^{\circ}\text{F}) + 459.67 = 1.8T(\text{K})$ $T(^{\circ}\text{F}) = 1.8T(^{\circ}\text{C}) + 32$ $\Delta T(^{\circ}\text{F}) = \Delta T(\text{R}) = 1.8^* \Delta T(\text{K})$
Velocidad	$1 \text{ m/s} = 3.60 \text{ km/h}$	$1 \text{ m/s} = 3.2808 \text{ ft/s} = 2.237 \text{ mi/h}$ $1 \text{ mi/h} = 1.46667 \text{ ft/s}$ $1 \text{ mi/h} = 1.6093 \text{ km/h}$
Viscosidad, dinámica	$1 \text{ kg/m} \cdot \text{s} = 1 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2 = 1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 10 \text{ poise}$	$1 \text{ kg/m} \cdot \text{s} = 2419.1 \text{ lbm/ft} \cdot \text{h}$ $= 0.020886 \text{ lbf} \cdot \text{s/ft}^2$ $= 0.67197 \text{ lbm/ft} \cdot \text{s}$

* Factor de conversión exacto entre unidades métricas e inglesas.

†Potencia mecánica. La potencia eléctrica se toma exactamente como 746 W.

Anexo 7.

PIEZAS INTEGRANTES DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO				
N.º	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
1	Aspasor 1/2" x 2"	PVC	1	Pza.
2	Valvula de impulsión 1/2"	PVC	1	Pza.
3	Niple 1/2" x 2"	F. O.	1	Pza.
4	Tubo 1/2" x 2"	F. O.	2	Pza.
5	Codo 90° 1/2"	F. O.	1	Pza.
6	Valvula de impulsión 1/2"	Bronce	1	Pza.
7	Valvula de impulsión 1/2"	Bronce	1	Pza.
8	Unión Copun 1/2" x 1/2"	F. O.	1	Pza.
9	Niple 1/2" x 1"	PVC	1	Pza.
10	Tubo 1/2"	PVC	1	Pza.
11	Unión Copun 1/2" x 1/2"	F. O.	1	Pza.
12	Resaca de 1/2" x 1/2"	F. O.	1	Pza.
13	Niple 1/2" x 2 1/2"	F. O.	2	Pza.
14	Tubo 1/2" x 2"	F. O.	1	Pza.
15	Resaca de 1/2" x 1/2"	HDFE	1	Pza.
16	Resaca de 1/2" x 1/2"	HDFE	1	Pza.
17	Resaca de 1/2" x 1/2"	F. O.	1	Pza.
18	Hardware de 1/2" x 1/2"	Alum. Inoxidable	1	Pza.
19	Valvula de impulsión 1/2"	PVC	1	Pza.
20	Aspasor Hidro-HDFE 1/2" x 1/2"	HDFE	1	Pza.

DESPIECE DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO
Esc.: 1/10

VALVULA DE IMPULSION

VALVULA DE IMPULSION ABIERTA Esc.: 1/5
VALVULA DE IMPULSION CERRADA Esc.: 1/5

VALVULA DE DESCARGA

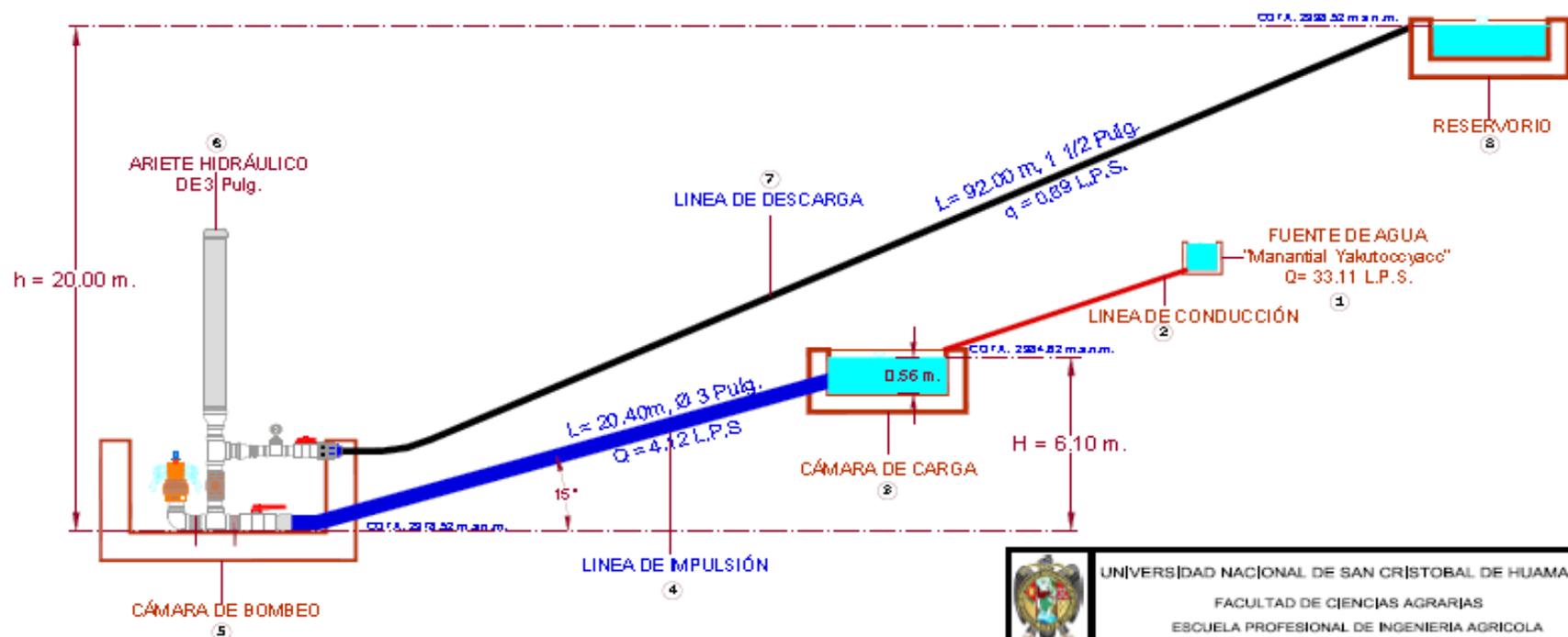
VALVULA DE DESCARGA CERRADA Esc.: 1/5
VALVULA DE DESCARGA ABIERTA Esc.: 1/5

ELEMENTOS DE LA VALVULA DE IMPULSION

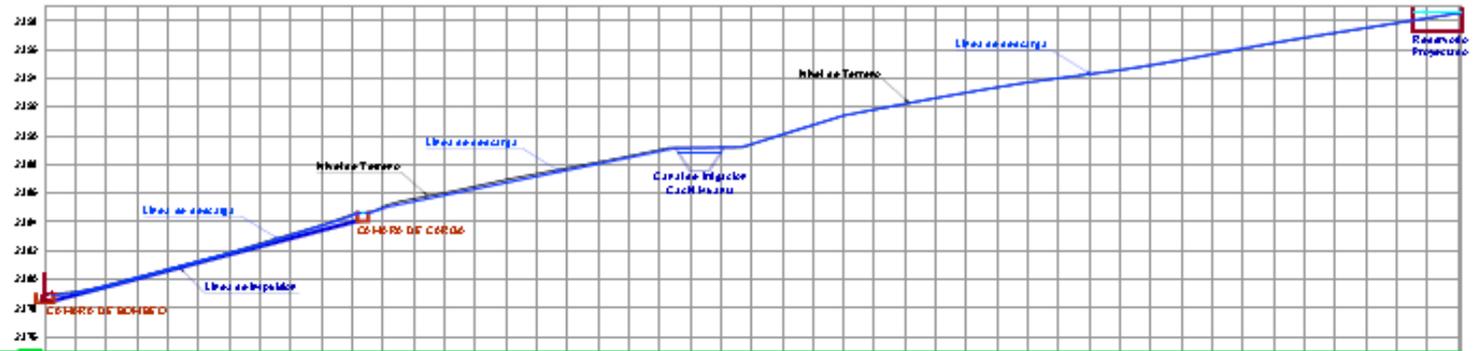
RESORTE DE COMPRESION PRINCIPAL Esc.: 5/8
RESORTE SECUNDARIO Esc.: 5/8
VALVULA DE IMPULSION Esc.: 1/5
VALVULO REGULADOR DE GOLPEA Esc.: 1/5
ARANDELA DE 1/2" Esc.: 1/5
VALVULO SECUNDARIO (CENTRO DE VALVULO) Esc.: 1/5
RESORTE 1/2" Esc.: 10/5
TUBO DE 1/2" Esc.: 10/5
ARANDELA DE 1/2" Esc.: 10/5

 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA</p>				
<p>UBICACION</p> <p>REGION : Ayacucho</p> <p>PROVINCIA : Huancayo</p> <p>DISTRITO : Huancayo</p> <p>LOCALIDAD : Chacrapa</p>		<p>TITULO</p> <p>DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO PARA EL PUNDO POR VIVER, HUANTO - 2017</p>		
<p>PROFESOR</p> <p>Ing. Msc. Víctor Manuel Rodríguez</p>		<p>ALUMNO</p> <p>Ing. Msc. Víctor Manuel Rodríguez</p>		
<p>FECHA</p> <p>10/05/2017</p>		<p>INSTITUCION</p> <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</p>		
<p>INSTITUCION</p> <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</p>		<p>INSTITUCION</p> <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA</p>		

ESQUEMA HIDRAULICO POST CONSTRUCCION

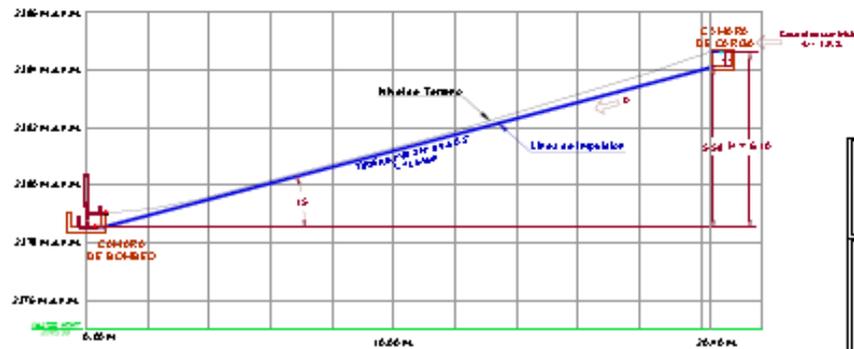


 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA				
UBICACION REGION : Ayacucho PROVINCIA : Huancayo DISTRITO : Huancayo LOCALIDAD : Del Prado		TITULO DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LINEA DE BOMBEO DE ARIETE HIDRAULICO PARA EL FUNDOPORVENIR, HUANTO - 2647		
ESQUEMA HIDRAULICO DEL SISTEMA DE BOMBEO POST CONSTRUCCION				
INGENIERO AGRICOLA Emilio Manuel Pacheco Pacheco	CONSULTOR Emilio Manuel Pacheco Pacheco	DISEÑO Emilio Manuel Pacheco Pacheco	REVISOR Emilio Manuel Pacheco Pacheco	APROBADO Emilio Manuel Pacheco Pacheco



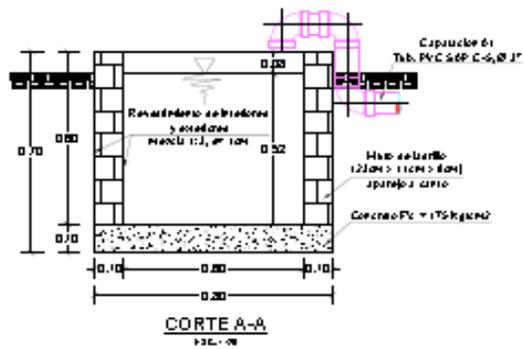
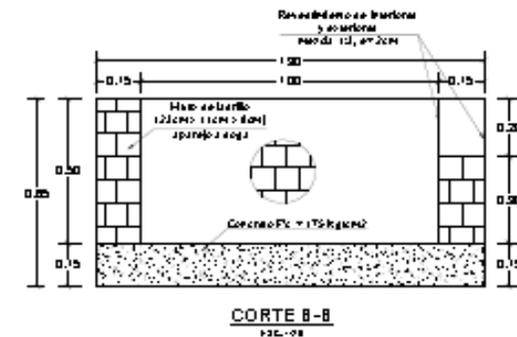
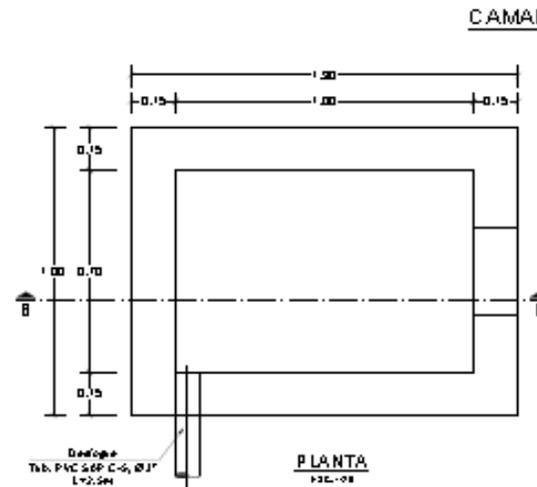
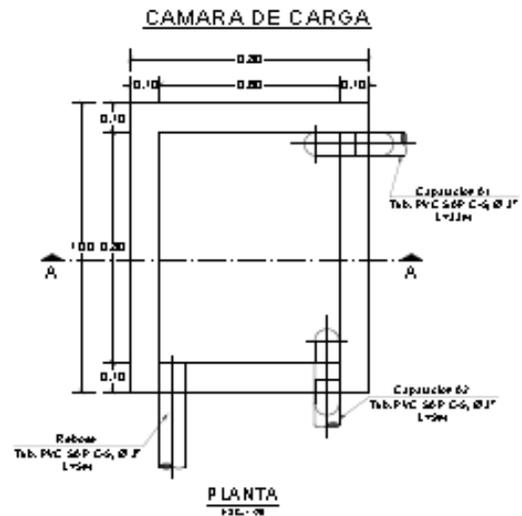
PROYECTIVA	0+000	0+100	0+150	0+200	0+250	0+300	0+350	0+400	0+450	0+500	0+550	0+600	0+650	0+700	0+750	0+800	0+850	0+900	0+950	0+1000	
COTA DE TERRENO	2170.25	2174.24	2178.24	2182.24	2186.24	2190.24	2194.24	2198.24	2202.24	2206.24	2210.24	2214.24	2218.24	2222.24	2226.24	2230.24	2234.24	2238.24	2242.24	2246.24	2250.24
COTA DE RASANTE	2170.25	2174.24	2178.24	2182.24	2186.24	2190.24	2194.24	2198.24	2202.24	2206.24	2210.24	2214.24	2218.24	2222.24	2226.24	2230.24	2234.24	2238.24	2242.24	2246.24	2250.24
LÍNEA DE ALIMENTACIÓN	TUBERÍA PVC 60 P.C. 500																				
LÍNEA DE DESCARGA	MANGUERA HDPE DE 50mm C-4																				
	Longitud 26.00 m																				

PERFIL LONGITUDINAL DE LA LINEA DE IMPULSION Y DESCARGA
ESC. 1:200



DETALLE DE LA LINEA DE IMPULSION
ESC. 1:100

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA			
	UBICACION REGION : Ayacucho PROVINCIA : Huanta DISTRITO : Huanta LOCALIDAD : Cochabamba	TÍTULO TUBERÍA Y MANGUERA DE UNA BOMBETA DE 400 P.C. HDPE 60 P.C. PARA LA LINEA DE IMPULSION, MANGUERA 50 P.C.	R. 001 PERFIL LONGITUDINAL DE LA LINEA DE IMPULSION Y DESCARGA	
TUBERÍA Y MANGUERA DE 60 P.C. 500 8 metros Mang. HDPE 50mm C-4	DISEÑO Y DIBUJO Raúl Ben. Méndez P. de la Cruz	FECHA 10/05/2023	PÁGINA Número de 708	PL



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA		TITULO TUBERÍAS Y CONSTRUCCIÓN DE UN BOMBO DE SISTEMA RIGIDO PARA EL FUNDIO PORVENIR, HUAYTO - 2017			
		PLANO OBRAS COMPLEMENTARIAS			
UBICACIÓN REGION : Ayacucho PROVINCIA : Huanta DISTRITO : Huanta LOCALIDAD : Ollantaya	PROYECTADO POR Ing. Arq. M. del P. de la Cruz M. del C.	PROYECTADO POR Ing. Arq. M. del P. de la Cruz M. del C.	PROYECTADO POR Ing. Arq. M. del P. de la Cruz M. del C.	PROYECTADO POR Ing. Arq. M. del P. de la Cruz M. del C.	PROYECTADO POR Ing. Arq. M. del P. de la Cruz M. del C.