



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

T E S I S

**DISEÑO DE BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO, EN LA
ASOCIACIÓN SAN MIGUEL - YACANGO DISTRITO
TORATA REGIÓN MOQUEGUA, 2016**

PRESENTADO POR

BACHILLER RUSVEL POLI PAURO CHÁVEZ

ASESOR

MGR EDIBERTO CHURA MENDOZA

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

MOQUEGUA – PERÚ

2018

CONTENIDO

	Pág.
PORTADA	
Página de jurado.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras.....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	xvi

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.	Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2.	Definición del problema.....	1
1.2.1.	Problema general.....	1
1.2.2.	Problemas Específicos.....	2
1.3.	Objetivo de la Investigación.....	2
1.3.1.	Objetivo General.....	2
1.3.2.	Objetivos Específicos.....	2
1.4.	Justificación e importancia de la investigación.....	2
1.5.	Alcances y limitaciones.....	3
1.5.1.	Alcances.....	3
1.5.2.	Limitaciones.....	4
1.6.	Variables.....	4
1.7.	Hipótesis de la Investigación.....	5

1.7.1.	Hipótesis General.....	5
1.7.2.	Hipótesis Específicas	5

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de la investigación.....	6
2.2.	Bases teóricas.....	14
2.2.1.	Hidráulica.....	14
2.2.2.	Energía hidráulica	15
2.2.3.	Energía Cinética.....	15
2.2.4.	Energía potencial	15
2.2.5.	Bomba hidráulica.....	15
2.2.6.	Golpe de ariete	15
2.2.6.1.	<i>Principios básicos del golpe de ariete</i>	15
2.2.6.2.	<i>Golpe de ariete el fenómeno físico</i>	17
2.2.6.3.	<i>Explicación del fenómeno</i>	18
2.2.6.4.	<i>Celeridad o rapidez de propagación de onda</i>	22
2.2.6.5.	<i>Sobrepresión debido al cierre de una válvula</i>	23
2.2.7.	Bomba de Ariete	24
2.2.8.	Historia y evolución de la bomba de Ariete Hidráulico	25
2.2.8.1.	<i>El ariete eléctrico en Europa.....</i>	27
2.2.8.2.	<i>El ariete hidráulico en Latinoamérica.....</i>	30
2.2.8.3.	<i>El ariete hidráulico Multipulsor</i>	31
2.2.9.	Bomba de ariete	33

2.2.9.1.	<i>Principio de funcionamiento</i>	33
2.2.9.2.	<i>Componentes de la bomba</i>	33
2.2.10.	Funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico	37
2.2.11.	Análisis Teórico	42
2.2.12.	Cámara de aire o campana	42
2.2.13.	Parámetros de diseño para bombas de ariete	43
2.2.13.1.	<i>Localización de la bomba</i>	43
2.2.13.2.	<i>Altura de Entrega</i>	43
2.2.13.3.	<i>Altura de Suministro</i>	43
2.2.13.4.	<i>Tubería de suministro</i>	44
2.2.13.5.	<i>Tubería de descarga</i>	45
2.2.13.6.	<i>Caudal de entrega</i>	46
2.2.13.7.	<i>Velocidad de cierre de la válvula de impulso</i>	46
2.2.13.8.	<i>Coeficiente de descarga</i>	47
2.2.13.9.	<i>Caudal libre</i>	47
2.2.13.10.	<i>Pérdidas mayores</i>	49
2.2.13.11.	<i>Pérdidas menores</i>	49
2.2.13.12.	<i>Factor de Fricción</i>	50
2.2.13.13.	<i>Número de Reynolds</i>	50
2.2.13.14.	<i>Rugosidad Relativa.</i>	51
2.2.13.15.	<i>Caudal de suministro.</i>	51
2.2.13.16.	<i>Caudal desechado</i>	53
2.2.13.17.	<i>Rendimiento Volumétrico</i>	53
2.2.13.18.	<i>Potencia de la bomba de ariete</i>	54

2.2.13.19.	<i>Diseño de la válvula de impulso</i>	54
2.2.13.19.1.	<i>Diámetro del pie de la válvula de impulso</i>	55
2.2.13.19.2.	<i>Cálculo del diámetro del orificio del asiento de la válvula</i>	55
2.2.13.19.3.	<i>Espesor del pie de la válvula</i>	55
2.2.13.19.4.	<i>Diámetro del vástago de la válvula de impulso</i>	56
2.2.13.19.5.	<i>Longitud del vástago</i>	56
2.2.13.19.6.	<i>Carrera de la válvula de impulso</i>	56
2.2.13.20.	<i>Fuerza de arrastre para la válvula de impulso</i>	56
2.2.13.21.	<i>Fuerza aplicada al codo</i>	57
2.2.13.22.	<i>Fuerza boyante o fuerza flotante</i>	58
2.2.13.23.	<i>Peso máximo para la válvula de impulso</i>	59
2.2.13.24.	<i>Diseño de la válvula de aire (Respiradero)</i>	60
2.2.13.25.	<i>Diseño de la cámara de aire</i>	61
2.2.13.26.	<i>Capacidad de la cámara de aire</i>	61
2.2.13.27.	<i>Presión mínima y máxima en la cámara de aire</i>	63
2.2.13.28.	<i>Dimensionamiento del tanque de almacenamiento</i>	64
2.3.	Marco conceptual.....	64

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1.	Tipo de investigación.....	68
3.2.	Diseño de investigación	68
3.3.	Población y muestra.....	68

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1.	Presentación de resultados	69
4.1.1.	Cálculos de diseño.	69
4.1.1.1.	<i>Altura de entrega.</i>	69
4.1.1.2.	<i>Cálculo de la altura de suministro</i>	70
4.1.1.3.	<i>Elección de la tubería de suministro</i>	70
4.1.1.4.	<i>Elección de la tubería de entrega</i>	73
4.1.1.5.	<i>Selección y diseño de la bomba</i>	73
4.1.1.5.1.	<i>Cuerpo del ariete</i>	73
4.1.1.6.	<i>Diseño de la válvula de impulso</i>	74
4.1.1.6.1.	<i>Diámetro del pie de la válvula de impulso</i>	74
4.1.1.6.2.	<i>Cálculo del orificio del asiento de la válvula</i>	74
4.1.1.6.3.	<i>Cálculo del espesor del pie de la válvula</i>	74
4.1.1.6.4.	<i>Determinación del Diámetro del vástago de la válvula de impulso</i>	75
4.1.1.6.5.	<i>Longitud del vástago</i>	75
4.1.1.7.	<i>Cálculo del caudal de entrega</i>	75
4.1.1.8.	<i>Cálculo de la velocidad de cierre de la válvula de impulso</i>	76
4.1.1.9.	<i>Cálculo de la carrera de la válvula de impulso</i>	76
4.1.1.10.	<i>Cálculo del coeficiente de descarga.</i>	77
4.1.1.11.	<i>Cálculo del caudal libre con la ecuación general de la energía</i>	77
4.1.1.12.	<i>Cálculo de las pérdidas mayores</i>	78
4.1.1.13.	<i>Cálculo de pérdidas menores</i>	79
4.1.1.14.	<i>Cálculo del caudal libre</i>	81

4.1.1.15.	<i>Cálculo del número de Reynolds</i>	84
4.1.1.16.	<i>Cálculo de la rugosidad relativa</i>	85
4.1.1.17.	<i>Cálculo del factor de fricción</i>	85
4.1.1.18.	<i>Cálculo del coeficiente de descarga</i>	86
4.1.1.19.	<i>Cálculo del caudal de suministro</i>	87
4.1.1.20.	<i>Cálculo del caudal desechado</i>	87
4.1.1.21.	<i>Cálculo de la potencia de la bomba</i>	88
4.1.1.22.	<i>Cálculo del rendimiento volumétrico</i>	88
4.1.1.23.	<i>Cálculo de fenómenos físicos involucrados en la bomba de ariete</i> .	89
4.1.1.23.1.	<i>Cálculo de la celeridad</i>	89
4.1.1.23.2.	<i>Cálculo de la sobrepresión existente dentro del ariete</i>	90
4.1.1.24.	<i>Cálculo de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo del ariete</i>	91
4.1.1.24.1.	<i>Fuerza localizada en el codo del ariete hidráulico</i>	91
4.1.1.24.2.	<i>Cálculo de la fuerza de arrastre para la válvula de impulso.</i>	93
4.1.1.24.3.	<i>Cálculo de la fuerza boyante o flotante</i>	94
4.1.1.25.	<i>Cálculo del peso máximo para la válvula de impulso</i>	96
4.1.1.26.	<i>Cálculo del peso para la válvula de impulso</i>	97
4.1.1.27.	<i>Diseño de la válvula de aire (respiradero)</i>	101
4.1.1.28.	<i>Diseño de la cámara de aire</i>	101
4.1.1.29.	<i>Capacidad de la cámara de aire</i>	101
4.1.1.30.	<i>Cálculo de la presión mínima y máxima en la de aire</i>	103
4.1.1.31.	<i>Dimensionamiento del tanque de almacenamiento</i>	106
4.1.1.31.1.	<i>Tamaño y capacidad</i>	107
4.1.1.31.2.	<i>Cálculo del volumen del tanque</i>	108

4.1.1.31.3.	<i>Cálculo de las dimensiones del tanque de almacenamiento.....</i>	109
4.1.1.32.	<i>Utilización del agua almacenada.</i>	109
4.1.1.33.	<i>Verificación de la capacidad del tanque de almacenamiento</i>	111
4.2.	Contrastación de Hipótesis	113
4.2.1.	Contrastación de la hipótesis general.....	113
4.2.2.	Contrastación de las hipótesis específicas	113
4.3.	Discusión de Resultados.	114

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones	117
5.2.	Recomendaciones	119
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122
	APÉNDICE.....	127
	MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	158
	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	159

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalizacion de las variables	4
Tabla 2. Variacion del rendimiento del ariete en funcion del coeficiente Hd/Hs .	52
Tabla 3. Coeficientes de fricción en codos	80
Tabla 4. Resultados de la encuesta a los pobladores.....	110
Tabla 5. Resultado de los distintos cálculos de diseño	114
Tabla 6. Matriz de consistencia	158

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Componentes principales.....	7
Figura 2. Ariete Hidráulico.	16
Figura 3. Onda de presión en el cierre instantáneo de una válvula.....	17
Figura 4. Tubería sin perturbaciones.....	18
Figura 5. Cierre instantáneo de la válvula.....	19
Figura 6. Propagación de la onda de presión.	19
Figura 7. Llegada de la Sobrepresión al Embalse.	19
Figura 8. Tubería con la parte izquierda contraída.	20
Figura 9. Diámetro tubería nominal.	20
Figura 10. Depresión en la mitad de la tubería.	21
Figura 11. Depresión en toda la tubería	21
Figura 12. Tubería con la parte izquierda en movimiento.	22
Figura 13. Diámetros de la tubería normal.....	22
Figura 14. Bomba de ariete Hidráulico	25
Figura 15. Esquema de funcionamiento del ariete ideado por John Whitehurst...	26
Figura 16. Esquema del ariete ideado por Joseph Michael Montgolfier.....	27
Figura 17. Ariete hidráulico construido por Walton	28
Figura 18. Ariete hidráulico “El Paují”.....	31
Figura 19. Ariete hidráulico Multipulsor “Jan Heamhouts”.....	32
Figura 20. Elementos y componentes de la bomba de ariete.	33
Figura 21. Componentes esenciales de la Bomba de Ariete.	37
Figura 22. Funcionamiento del Ariete Hidráulico.	37

Figura 23. Funcionamiento del Ariete Hidráulico.	38
Figura 24. Funcionamiento del Ariete Hidráulico.	38
Figura 25. Funcionamiento del Ariete Hidráulico.	39
Figura 26. Funcionamiento del Ariete Hidráulico.	39
Figura 27. Funcionamiento del Ariete Hidráulico.	39
Figura 28. Funcionamiento del Ariete Hidráulico.	40
Figura 29. Gráficas de funcionamiento del Ariete Hidráulico.	41
Figura 30. Ubicación del Sistema de Aeración.	45
Figura 31. Distribución de caudales en el sistema.	53
Figura 32. Válvula de aire simple con pasador.	60
Figura 33. Cámara de Aire.	61
Figura 34. Presión mínima válvula de entrada serrada.	63
Figura 35. Instalación de los componentes de la bomba de ariete.	69
Figura 36. Medidas de instalación.	70
Figura 37. Sección transversal de la tubería.	72
Figura 38. Válvula de impulso abierta.	77
Figura 39. Coeficientes K para los distintos accesorios.	79
Figura 40. Diagrama de fuerzas del fluido en el codo.	91
Figura 41. Volumen desplazado por el agua.	95
Figura 42. Fuerzas aplicadas en la válvula de impulso.	95
Figura 43. Especificaciones del pie de la válvula de impulso.	97
Figura 44. Especificaciones de la pesas de 16mm de espesor.	99
Figura 45. Especificaciones de la pesas de 6mm de espesor.	100
Figura 46. Dimensiones del tanque de almacenamiento.	109

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de abastecer de agua para irrigar las tierras eriazas de la Asociación San Miguel, aprovechando un fenómeno físico muy conocido en la ingeniería hidráulica como golpe de ariete, como objetivo general se pretende determinar si el diseño de la bomba de ariete logrará cumplir con los requisitos de caudal y altura necesaria para surtir de agua a estas tierras. Para ello hubo la necesidad de realizar trabajos de campo y gabinete, para determinar la altura, área exacta de tierras a irrigar y ubicación de puntos necesarios para su diseño, todas estas medidas se tomaron con instrumentos topográficos, con ayuda de especialistas en el tema. Con estos datos tomados de campo se procedió a los cálculos de diseño. La bomba de ariete diseñada aprovecha la geografía del terreno, y por ende la energía cinética y potencial del agua, logrando elevar 23,10 m (parte más elevada del terreno), donde se almacenará en un reservorio, el caudal necesario para el funcionamiento del ariete es de 32,467 l/min el cual es muy pequeño comparado con el caudal que se cuenta en la asociación, la bomba no tiene buen rendimiento volumétrico debido al elevado caudal desechado (23,700 l/min), el caudal suministrado es 8,766 l/min, a simple vista parece demasiado pequeño, pero el ariete trabaja las 24 horas, sin generar gasto alguno, en conclusión se diseñó una bomba de ariete que cumple con los requisitos de caudal y altura necesario para irrigar estas tierras.

Palabras clave: golpe de ariete, ariete hidráulico, bomba de ariete, caudal, altura, cultivos.

ABSTRACT

This research work was carried out with the purpose of supplying water to irrigate the uncultivated lands of the San Miguel Association, taking advantage of a well-known physical phenomenon in hydraulic engineering such as water hammer, as a general objective to determine whether the design of The water pump will achieve the requirements of flow and height necessary to supply water to these lands. For this there was the need to perform field and cabinet work, to determine the height, exact area of land to irrigate and location of points necessary for its design, all these measurements were taken with topographical instruments, with the help of specialists in the subject. With these data taken from the field, the design calculations were carried out. The designed ram pump takes advantage of the geography of the terrain, and therefore the kinetic and potential energy of the water, managing to raise 23,10 m (highest part of the terrain), where it will be stored in a reservoir, the flow necessary for the operation of the ram is 32,467 l / min which is very small compared to the flow rate that is counted in the association, the pump does not have good volumetric performance due to the high discharged flow (23,700 l / min), the flow rate is 8,766 l / min , at first sight it seems too small, but the ram works 24 hours, without generating any expense, in conclusion a water pump was designed that meets the flow and height requirements necessary to irrigate these lands.

Key words: water hammer, hydraulic ram, ram pump, flow, height, crops.

INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad para la supervivencia el ser humano ha tenido la gran necesidad de trasladar el líquido elemento a distintos lugares de la superficie terrestre y darle diversos usos, siendo los más importantes el consumo humano, ganadería y agricultura, lo que ha obligado a desarrollar diversos sistemas para satisfacer estas necesidades, desde el transporte en recipientes pequeños como botellas, baldes, cubetas los cuales son transportados por ellos mismo o animales de carga, hasta los dispositivos más complejos y sofisticados como las bombas manuales, mecánicas, eléctricas, etc. que con el avance del tiempo y tecnología han ido evolucionando y cada vez son más eficientes. Desde hace mucho tiempo uno de los problemas más frecuentes es transportar el fluido hacia los lugares más elevados de la superficie en lugares donde aún no se cuenta con energía eléctrica y el uso de combustibles fósiles resulta costosos, no es posible usar bombas eléctricas ni bombas de combustión interna, para ello el presente estudio está enfocado en el transporte y elevación de una cantidad de fluido hacia el lugar más alto del terreno, utilizando una experiencia muy antigua que se vale de un fenómeno físico, perjudicial en el transporte de fluidos por tubería, denominado golpe de ariete, pero a través de distintas pruebas y la configuración perfecta de válvulas se convierte en una máquina conocida con el nombre de bomba de ariete hidráulico, cambiando así el sentido de perjudicial por un beneficio. La bomba de ariete hidráulico funciona aprovechando la energía cinética del fluido, el cual es incrementado por un salto (Altura de Suministro) logrando así elevar a una altura mucho mayor que el tanque de captación, este dispositivo data de la ingeniería antigua de los años 1776 año en el que fue inventada por el francés Joseph Michel Montgolfer. Como

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

Como se sabe en la actualidad, nuestro planeta ha resultado afectado debido a la gran cantidad de uso de petróleo y derivados, la prueba es el calentamiento global que experimentamos día a día, lo que nos obliga a tener una conciencia a nivel mundial y mostrar la preocupación a este gravísimo problema, en respuesta, se viene desarrollando proyectos como este, que de alguna manera benefician al planeta disminuyendo las emisiones contaminantes. El presente estudio está desarrollado al sur del Perú en la región Moquegua en el distrito de Torata, donde los pobladores en un 98% se dedica a la agricultura y ganadería lugar en que la bomba de ariete es una buena propuesta debido a que la geografía de los terrenos es perfecta para conseguir los saltos apropiados para lograr el funcionamiento del ariete, como objetivo general se tiene, cumplir los requisitos de caudal y altura necesaria para surtir de agua para irrigar las tierras eriazas, ubicadas 15,40 m de altura por encima de la red principal de regadío donde será almacenada en un reservorio para posteriormente ser distribuido mediante la tecnología de riego la que nos permitirá el ahorro del agua.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad problemática

En la Asociación San Miguel-Centro Poblado de Yacango del Distrito de Torata, Mariscal Nieto Moquegua, existen tierras eriazas sin cultivar, éstas están ubicadas unos 50 m aproximadamente arriba de la acequia de riego de la Asociación.

El sistema de riego que se utiliza en esta Asociación es por gravedad, por esta razón es que no les permite irrigar las tierras que se encuentra por encima de su red principal, siendo estas tierras aptas para el cultivo.

La cantidad de tierras eriazas que no se está aprovechando son de aproximadamente unas 2 hectáreas razón por la cual es necesario encontrar una alternativa para cultivar estas tierras.

1.2. Definición del problema

1.2.1. Problema general

¿El Diseño de una bomba de ariete logrará cumplir con los requisitos de caudal y altura necesarios para surtir de agua para irrigar las tierras eriazas en la Asociación San Miguel, 2016?

1.2.2. Problemas Específicos

- a) ¿El caudal que proporcionará la bomba de ariete a diseñar tendrá un valor superior a 2 l/s?
- b) ¿La altura que proporcionará el diseño propuesto alcanzará un valor superior a 50 m?

1.3. Objetivo de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Determinar si el diseño de una bomba de ariete logrará cumplir los requisitos de caudal y altura necesarios para surtir de agua para irrigar las tierras eriazas en la Asociación San Miguel, 2016?

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Determinar si el caudal proporcionado por la bomba de ariete diseñada tendrá un valor superior a 2 l/s.
- b) Investigar si la altura que proporcionará el diseño propuesto alcanzará un valor superior a 50 m.

1.4. Justificación e importancia de la investigación

Este trabajo de investigación surge debido a que en la Asociación San Miguel existen tierras fértiles que no están siendo cultivadas debido a que su red principal no les permite irrigar las tierras que se encuentran por encima de esta red principal de regadío, por este motivo, el presente estudio se enmarca en el aprovechamiento del recurso hídrico y las condiciones geográficas del lugar, la misma que ayuda a aprovechar la energía cinética y potencial para elevar una parte del caudal existente hacia un lugar de mayor altura en donde se almacenará en un pequeño reservorio

para posteriormente ser distribuida en la modalidad de riego por goteo o aspersión y así dotar de agua a estas tierras eriazas.

Con la utilización del ariete hidráulico se permitirá dotar de agua a estas tierras de dicha Asociación, con la gran ventaja que no tendrá que pagar energía eléctrica ni combustible fósiles, por la configuración del ariete el cual aprovecha un salto de altura el mismo que dispone la zona.

Con la adaptación de este nuevo sistema de bombeo, se busca mejorar el nivel de productividad agropecuaria y la calidad de vida de los pobladores que sin duda repercute en el desarrollo de esta Asociación y por lo tanto al Distrito de Torata, con esta agua almacenada en el reservorio, se pretende irrigar estas tierras eriazas ya que contará con el caudal suficiente para el cultivo de árboles frutícolas en estas tierras.

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad mejorar la calidad de vida de los integrantes de esta Asociación haciendo que el distrito sea impulsor del desarrollo agropecuario, por otra parte será la base para impulsar a realizar más trabajos de investigación como este, para el beneficio de esta Asociación, comunidades vecinas y a la región Moquegua.

1.5. Alcances y limitaciones

1.5.1. Alcances

En el desarrollo del siguiente trabajo de investigación titulado “Diseño de Bomba de Ariete Hidráulico, en la Asociación San Moguel del Distrito de Torata Región Moquegua, 2016.” Se tiene como objetivo diseñar una bomba de Ariete, un tanque de captación y un reservorio con las características necesarias para almacenar el agua suministrada por la bomba, la suficiente para irrigar las tierras eriazas

disponibles, así mismo plantear una aplicación a través del riego tecnificado en arboles frutícolas la cual nos permitirá ahorrar el líquido elemento.

1.5.2. Limitaciones

Durante el desarrollo del trabajo de investigación hubo varias limitaciones, la que considero más fuerte es no haber encontrado una bomba de ariete en funcionamiento o haber elaborado un prototipo para efectos de pruebas el cual hubiese sido de gran importancia para complementar el desarrollo de la tesis.

1.6. Variables

Se puede destacar dos variables las cuales son:

- a) **Caudal:** Es la cantidad de fluido, medido en volumen, que circula a través de una sección del ducto (cañería, oleoducto, tubería, canal, río,...) por unidad de tiempo.
- b) **Altura:** se le denomina a la distancia vertical de un cuerpo respecto a un punto, objeto, corteza terrestre o a cualquier otra superficie tomada como referencia.

Tabla 1

Operacionalización de las variables

Variable	definición conceptual	Definición operacional	Unidad de Medida	Escala
Caudal	Cantidad de fluido que circula a través de un ducto	Medición del volumen de un fluido que se desplaza en un tiempo determinado	m ³ /s	Cuantitativa
Altura	Distancia vertical de un cuerpo respecto a una referencia	Medición de la distancia en metros hacia una línea de referencia	m	Cuantitativa

Fuente: Elaboración Propia

1.7. Hipótesis de la Investigación.

1.7.1. Hipótesis General

El diseño propuesto de la bomba de ariete logrará cumplir con los requisitos de caudal y altura necesarios para surtir de agua para irrigar las tierras eriazas en la Asociación San Miguel, 2 016.

1.7.2. Hipótesis Específicas

- a) El caudal proporcionado por la bomba de ariete diseñada tendrá un valor superior a 2 l/s.
- b) La altura que proporciona el diseño propuesto alcanzará un valor superior a 50 m.

1.7.3. Hipótesis estadísticas

H₀: El caudal proporcionado por la bomba de ariete diseñada no tendrá un valor superior a 2 l/s.

H_a: El caudal proporcionado por la bomba de ariete diseñada tendrá un valor superior a 2 l/s.

H₀: La altura que proporciona el diseño propuesto no alcanzará un valor superior a 50 m.

H_a: La altura que proporciona el diseño propuesto alcanzará un valor superior a 50 m.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación.

En el presente trabajo de investigación citaré algunos autores de tesis desarrolladas e instaladas, que serán de gran ayuda para el desarrollo de este diseño de bomba de ariete hidráulico, los mismos que se mencionan a continuación.

Sánchez y De Freitas (2 002), en su trabajo de investigación denominado **diseño y construcción de un sistema de suministro de agua para una comunidad agrícola** llegó a las siguientes conclusiones:

- a) La alta frecuencia de ciclos produce una disminución de la sobrepresión producida por el golpe.
- b) La frecuencia de ciclos está directamente relacionada con la longitud del tornillo eje de la válvula de impulso. Las altas frecuencias de ciclo son producidas por la corta longitud del tornillo eje utilizado (que es inferior al diseñado).
- c) La alta frecuencia de ciclos está directamente relacionada con la baja relación L/D de la tubería de succión.

- d) A medida que exigimos mayor altura en la descarga de la bomba (mayor presión de descarga), se bombea menos agua, ya que por menos tiempo se abre la válvula de retención.
- e) Se obtuvieron buenos rendimientos y muy bajos costos de fabricación, lo que hace competitivo nuestro diseño frente a otros sistemas similares vendidos comercialmente.
- f) Mientras mejor se fije la bomba para evitar vibraciones, se reduce las pérdidas de energía por disipación. (p.58)

Por otro lado Flores, Alanoca y Vera (2008), en su trabajo **la bomba de ariete** señalan que “Para que una bomba de ariete funcione correctamente”, necesitamos de cinco componentes principales.

Las mismas que se aprecian en la figura N° 1

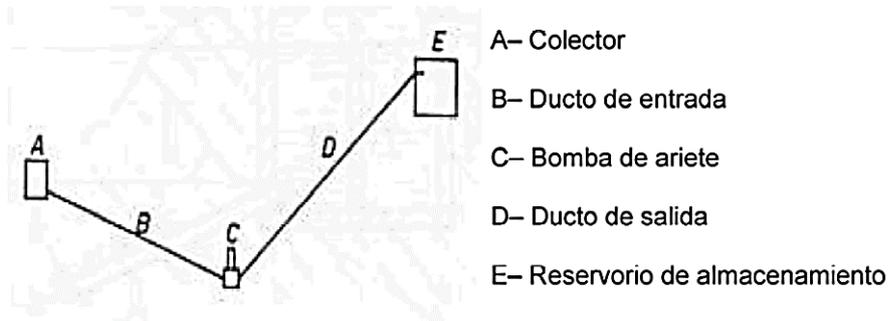


Figura 1. Componentes principales

Fuente: flores, Alanca y Vera (2008)

Por otra parte Campaña y Guamán (2011), en su trabajo de investigación **Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico**. Llegaron a las siguientes conclusiones:

- a) La bomba del golpe de ariete, ariete hidráulico, ram, o hydram es un arreglo de válvulas, que dispuestas de manera estratégica utilizan la energía de una

cantidad de líquido, con el objetivo de elevar una porción de esta hasta una altura mayor, mediante el empleo del fenómeno físico de golpe de ariete (p. 153)

- b) El ariete hidráulico permite elevar agua a distintos niveles de altura de acuerdo a la sincronización de la carrera-presión de la altura de impulso (p.153)

Según Jiménez (2011), al desarrollar su proyecto de investigación denominado **cálculo, diseño y construcción de un prototipo de ariete hidráulico**, concluye que es de suma importancia que la instalación de la tubería de suministro tenga una considerable longitud con una pendiente mínima, para conseguir una mayor columna de agua, con el fin de aumentar la sobrepresión y en consecuencia la altura de descarga será mayor, además si, en el tanque de alimentación el caudal disminuye, la fuerza que provocara el cierre de la válvula de impulso también disminuirá. Para ello tendremos que calibrar las pesas alojadas en el vástago para compensar la variación de la fuerza. Como sabemos la eficiencia del ariete hidráulico es baja pero esto compensa con su funcionamiento continuo logrando satisfacer la demanda en el punto de consumo.

Así mismo recomienda que el caudal desechado por la válvula de impulso puede ser reutilizado en cultivos que se encuentren por debajo de la zona de bombeo o puede ser canalizado y almacenado para la instalación de una nueva bomba de ariete, como defecto de su proyecto de investigación no se profundizó el mantenimiento de la bomba de ariete hidráulico, en tal sentido se recomienda que en trabajos futuros se tomen en cuenta para tener una mayor durabilidad de las piezas y componentes.

Por otro lado Sierra y Bincha (2012), en su proyecto de investigación **Análisis Del Ariete Hidráulico Para Diferente Configuraciones**, al término de su investigación llegaron a las siguientes conclusiones:

- a) La influencia del resorte de la válvula de impulso afecta significativamente la eficiencia global del sistema, se determinó que hay un límite superior y uno inferior que debe tener la constante del resorte para un debido funcionamiento del ariete, además que para una constante menor la eficiencia global es mayor (p. 103)
- b) Para una válvula de descarga fija, una válvula de impulso de mayor área es más eficiente que una válvula de impulso de menor área (p. 104)
- c) Una válvula de descarga mayor permite más facilidad de descarga del fluido (p. 104)

Cabe citar que Gomes Castro (2012), en su proyecto denominado **diseño paramétrico de una bomba de ariete hidráulico**, menciona lo siguiente:

- a) Respecto al análisis del funcionamiento del dispositivo con base en las variables de entrada se concluye que, el diseño de la bomba de ariete hidráulico integra a la tubería de entrada como parte del dispositivo. Una larga tubería da mayor celeridad al fluido que la recorre y provee ciclos de tiempo más largos que brindan una mejor sincronía en la apertura y cierre de las válvulas (p. 64)
- b) Además el caudal de entrada (Q) y la altura de alimentación (H) determinan la potencia de entrada a la bomba, misma que está en relación de la transferencia de la potencia de salida (p. 64)
- c) La eficiencia de la bomba se obtuvo al relacionar la potencia de entrada ($Q \cdot H$) entre la potencia de salida ($q \cdot h$), donde esta última está en función del

porcentaje de la eficiencia del dispositivo, que se estimó en un 60%. La eficiencia de la bomba se utiliza para: calcular el caudal de salida q , obtener un buen caudal, la eficiencia del ariete y la cantidad de caudal de entrada Q , estos dos últimos deberán de ser altos (p. 64)

Por otra parte Acitores Martínez (2012), en su proyecto de investigación denominado “**estudio teórico y experimental de la bomba de ariete**”, llego a las siguientes conclusiones:

- a) En el presente proyecto hemos conseguido construir el banco de ensayos para bombas de ariete, tal y como nos habíamos planteado en un principio, siendo esta construcción incluso más completa de lo inicialmente teníamos planteado crear, aunque nos ha costado más tiempo y trabajo del que habíamos previsto (p. 78)
- b) En las pruebas realizadas, hemos conseguido llegar a un rendimiento máximo del 42,1%, el cual es más que aceptable, sobre todo teniendo en cuenta que no consume electricidad ni necesita esfuerzo físico para funcionar, pero además no parece descabellado aventurar que se pueden lograr rendimientos más altos (en torno al 60%) para esta bomba, si aumentáramos las alturas de trabajo (al menos la altura de elevación, h) (p. 78)
- c) La caracterización de la bomba llevada a cabo durante el proyecto, aun no siendo uno de los objetivos principales, sino simplemente una comprobación de que era posible una primera toma de medidas, ha sido un éxito, dentro de las limitaciones propias del tamaño físico del laboratorio disponible, obteniendo medidas consistentes y perfectamente coherentes. El problema más

notable durante esta caracterización ha sido el inconveniente que nos hemos encontrado al intentar tomar alguna medida concreta, cuando se cerraba la válvula de choque y no se volvía a abrir, deteniendo el funcionamiento de la bomba con la que trabajamos, ya que ésta no está diseñada para trabajar con ciertas alturas de trabajo (p.78)

Cabe mencionar que Paredes Godoy (2013), En su trabajo de investigación denominado: **diseño e instalación de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en la comunidad de Airón cebadas**, menciona que para el correcto funcionamiento tanto la longitud como el diámetro del mismo es una parte esencial del diseño; aunque la bomba de ariete trabaja satisfactoriamente si la relación de longitud (L) de la tubería con su respectivo diámetro (D), está entre los límites $150 \leq \frac{L}{D} \leq 1\ 000$, fuera de este rango la operación del ariete puede verse afectado notoriamente (p. 159)

Así mismo como recomendación menciona que las pérdidas de en la etapa de bombeo deben ser reducidas al mínimo en la instalación, ubicando la tubería de descarga lo más recta posible. Además el usuario debe evitar fuerzas externas a la cámara de aire, ya que su correcto funcionamiento depende de su presión vertical. Por ningún motivo, la válvula de impulso debe ser obstaculizada de lo contrario el ariete dejara de funcionar, también se debe fijar correctamente la bomba de ariete en una posición horizontal bien anclada se sugiere realizar el anclaje mediante caucho para disminuir las vibraciones que produce la bomba por ultimo debemos comprobar que exista el correcto apriete en los pernos, por lo menos cada mes. Por la seguridad de los elementos involucrados en la bomba hidráulica de ariete.

Por otra parte Gonzaga Chacón (2013), en tu trabajo de investigación denominado **estudio de factores hidráulicos en una bomba de ariete y su efecto sobre la eficiencia**, menciona que Las conclusiones se basan en los resultados obtenidos en forma teórica y del análisis e interpretación de los mismos, así como en el marco teórico en el cual se fundamenta dicha experimentación. De igual manera, de los estudios realizados se puede concluir que la eficiencia de la bomba de ariete depende de:

- a) La variación de los factores que influyen en la bomba de ariete se la realizó en base al ciclo teórico, cumpliendo con todas las condiciones que establece el ciclo.
- b) Mediante el estudio de diferentes modelos matemáticos, se adaptó los principios concernientes a las condiciones del medio de operación para el diseño hidráulico de la bomba de ariete; para que, mediante las modificaciones de cada uno de los factores que influyen en el modelo de la eficiencia poder evaluar esta con las mejores alternativas propuestas.
- c) La selección correcta del material de la tubería de impulsión es de vital importancia para la operación óptima del sistema, por lo tanto la tubería de acero es la que nos ofrece mayor valor de celeridad.
- d) El ángulo de inclinación de la tubería de impulsión debe ser lo más cercano a 10° , ya que este valor nos va a proporcionar el funcionamiento óptimo del sistema.
- e) La válvula de impulsión es la parte vital del ariete. Un peso fuerte y un golpe largo hacen posibles altas tasas de flujo a través de la válvula de impulsión provocando un golpe fuerte necesario para bombear grandes caudales. Un peso

pequeño y un golpe corto, golpearán más rápidamente y descargarán mayores volúmenes a caudales más pequeños.

- f) La cámara de aire permite comprimir y amortiguar el golpe de ariete, hace que la corriente sea más constante a través de la tubería de descarga y con menos pérdida por fricción.
- g) De todo el estudio realizado se concluye que la configuración para 3 válvulas de impulsión colocadas en serie, es la que nos permite obtener una eficiencia del 30,15 % valorada tanto en términos de factibilidad y operación.

Por otra parte Rivadeneira y silva (2013), e su proyecto de investigación denominado **diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico con el desarrollo de un software para su dimensionamiento**, llego a las conclusiones siguientes:

- a) Por el principio teórico del cierre brusco de una válvula dentro de una tubería (golpe de ariete), en el cual se basa el presente proyecto, se encontró que la sobrepresión teórica es diferente a la existente en condiciones de funcionamiento de la bomba de ariete, ya que esta permite disminuir dicha presión por la configuración de sus válvulas, por esta razón la sobrepresión real es menor que la calculada.
- b) Una de las ventajas de instalar una bomba de ariete hidráulico es que no utiliza las energías convencionales que son la energía eléctrica y los combustibles fósiles, ya que esta aprovecha la energía cinética y potencial del agua.
- c) Se observó que al variar la altura de descarga también habría que calibrar la carrera y las pesas de la válvula de impulso, para así obtener el mejor caudal elevado.

- d) Debido a los componentes y materiales de la bomba de ariete se consiguen en cualquier ferretería y su montaje se puede realizar en cualquier taller mecánico, no habría excusa de instalar uno en localidad ya que es sencillamente fácil.
- e) El software desarrollado garantiza la factibilidad de diseño y construcción de bombas de ariete de diversa capacidad, debido a que fue realizado en base al capítulo de diseño, el cual fundamenta su veracidad con la bibliografía consultada.
- f) El tema de mantenimiento de la bomba de ariete hidráulico es ligeramente sencillo debido a que se compone de pocas piezas de remplazo, el mantenimiento solo estaría comprendido por limpieza y lubricación.

Es necesario citar que Auccacusi Montejo (2014), que en su proyecto denominado **Análisis Técnico y Económico para la Selección del Equipo Óptimo de Bombeo en Muskarumi - Pucyura - Cusco Usando Fuentes Renovables de Energía**, concluyo que:

Mediante un sistema de bombeo que usa energía renovable se puede mejorar la producción del sector de Muskarumi en dos veces, en vez de una, al año, por otro lado se nota que las capacidades de este tipo de bombas son limitadas a comparación de las que usan energía eléctrica o diésel (p. 107)

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Hidráulica

La Hidráulica es una de las tantas ramas de la física, la cual estudia la conducta de los fluidos en base a sus propiedades específicas, y a las fuerzas a las que son sometidos relacionadas con la viscosidad de los mismos.

2.2.2. Energía hidráulica

Es aquella energía renovable obtenida de los fluidos normalmente agua, provenientes de ríos, canales, embalses, cuencas, saltos naturales, o cualquier otra fuente que aumenten la energía potencial y cinética del fluido.

2.2.3. Energía Cinética

Dentro del estudio de la hidráulica, se la define como el trabajo necesario para aumentar la velocidad de los fluidos desde su estado de reposo hasta alcanzar su máxima velocidad, su unidad de medida es el Joule (J).

2.2.4. Energía potencial

Es la energía mecánica asociada o capacidad que tiene un cuerpo para realizar trabajo dentro de un campo de fuerzas ya sea electrostático, magnético, gravitatorio, entre otros.

2.2.5. Bomba hidráulica

La bomba hidráulica es un dispositivo que permite impulsar, elevar, trasladar, etc. los fluidos mediante el aumento de la energía cinética, para el traslado de fluido hacia alturas o distancias deseadas. Convierte la energía mecánica de una máquina rotativa (motor) u otra clase de máquina que dé energía para elevar fluido, lo que quiere decir que su función es aumentar la energía cinética y presión interna de un fluido en un sistema hidráulico, para desplazar o elevar el fluido de un lugar a otro.

2.2.6. Golpe de ariete

2.2.6.1. Principios básicos del golpe de ariete

El fenómeno golpe de ariete es muy conocido en el estudio de la hidráulica debido a los perjuicios que ocasiona en el transporte de fluidos por tubería, el mismo que

causa sobrepresiones y en casos extremos la rotura de los sistemas de transporte (tuberías). El golpe de ariete se produce debido a las oscilaciones causadas por una repentina variación de la velocidad a la cual circula el flujo. Estas fluctuaciones de presión dependiendo de su magnitud pueden llegar a colapsar las tuberías de agua.

Sin embargo este fenómeno físico y sus principios se utilizarán en este proyecto. Lo que quiere decir se pueden obtener ventajas muy valiosas al acumular ciertas presiones en sistemas de tuberías que, desde el punto de vista técnico, pueden resultar en una grandiosa alternativa para elevar y transportar fluidos.



Figura 2. Ariete Hidráulico.

Fuente: Rivadeneyra y Silva, 2013

La figura N° 2 ilustra a manera de un ejemplo didáctico el efecto producido del golpe de ariete, allí se aprecia un ducto conectado a un recipiente con agua, el mismo que en su extremo final lleva instalada una válvula sin accionar (cerrada) y le antecede una tee por donde el fluido (agua) sale disparado hacia arriba sin sobrepasar el nivel de agua almacenada en el recipiente de alimentación.

Pero, si la llave se abre y se cierra rápidamente, se observa que el agua en un instante emergerá por encima del nivel de líquido contenido en el recipiente de alimentación, comprobando obviamente que la presión fundada en el ducto supera la presión hidrostática. Este principio del golpe de ariete es aprovechado por un

dispositivo de fácil construcción para elevar una cantidad de fluido, conocido como bomba de ariete hidráulico.

2.2.6.2. Golpe de ariete el fenómeno físico

Para iniciar con el estudio del fenómeno del golpe de ariete hay que dejar de lado dos hipótesis habitualmente manejadas que son: régimen permanente y fluido incomprensible. El golpe de ariete es un fenómeno temporal y por ende de régimen variable, en que el líquido es comprensible y la tubería ya no es rígida.

El fenómeno se origina en los ductos al cerrar o abrir una válvula, al disminuir el caudal bruscamente y al poner en marcha o parar una máquina hidráulica.

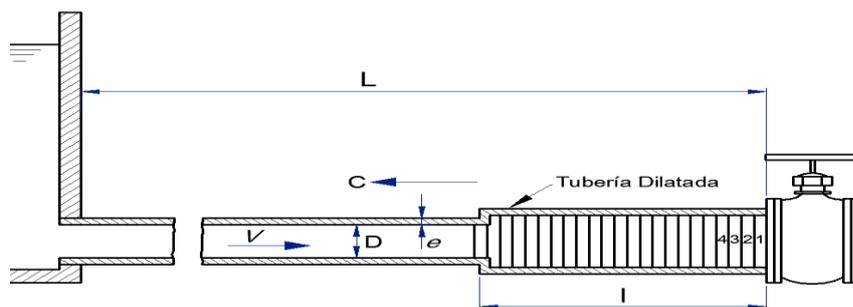


Figura 3. Onda de presión en el cierre instantáneo de una válvula: c es la velocidad de propagación de la onda y V la velocidad del fluido.

Fuente: Claudio Mataix, (1 986)

En la figura N° 3 se define un ducto (tubería) con longitud (L), espesor (e) y un diámetro interior (D) por la que fluye agua procedente de un contenedor y que en el extremo final acaba en un válvula. Si se cierra esta válvula rápidamente, provocará unas ondas de presión (sobrepresión) llamada golpe de ariete, este fenómeno se basa en los principios de conservación de la energía, ya que al detener el fluido repentinamente disminuye su velocidad y por ende la energía cinética, la misma que se transforma en trabajo de compresión del líquido, que dilata el ducto.

2.2.6.3. Explicación del fenómeno

Se sabe que es casi inusual obstruir un grifo bruscamente, pero es obligatorio realizar esa consideración para efectuar el estudio del fenómeno en casos reales.

Si cerramos instantáneamente (por completo) el grifo de la Figura N° 3, y dividimos imaginativamente todo el fluido que llena la tubería en pequeños discos, y los enumeramos de la siguiente manera 1, 2, 3 y 4, el primer disco quedará en reposo posteriormente los discos o rodajas 2, 3, 4, etc; necesitando un cierto tiempo. Es decir, al cerrar la válvula de tal manera se ha originado una onda de presión que se propaga a lo largo del ducto con velocidad C , la cual tiene dirección opuesta a la velocidad V del fluido: esta onda de presión como ya mencionamos se propaga a lo largo de la tubería hasta llegar al embalse de donde retorna hacia la válvula y de nuevo al embalse y repitiendo el ciclo hasta que la energía cinética desaparezca, originando así 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 $t_0 = \frac{L}{C}$

Si consideramos una serie de acontecimientos en la tubería se tiene lo siguiente:

1. No hay perturbación. Régimen permanente. El líquido en la tubería se desplaza con velocidad V del embalse a la válvula, ver figura N° 4

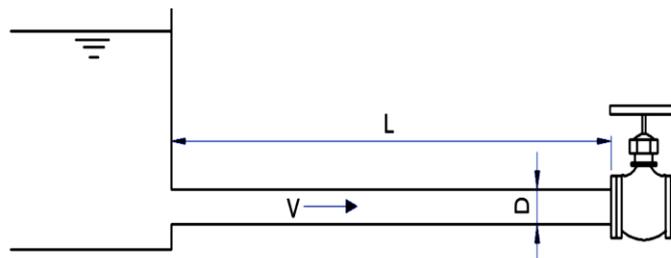


Figura 4. Tubería sin perturbaciones

Fuente: Claudio Mataix, (1 986)

2. Tiempo 0. La válvula se cierra instantáneamente. La velocidad del líquido se anula a partir de la válvula, ver figura N° 5

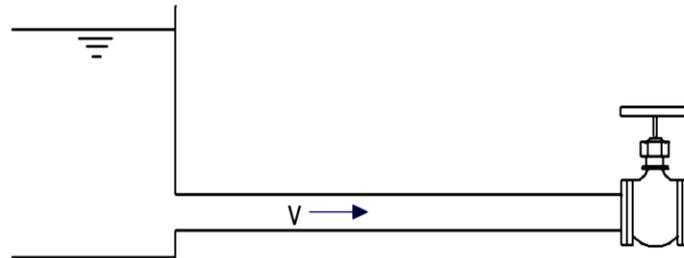


Figura 5. Cierre instantáneo de la válvula

Fuente: Claudio Mataix, (1 986)

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 , la tubería se dilata por la sobrepresión, ver figura N° 6

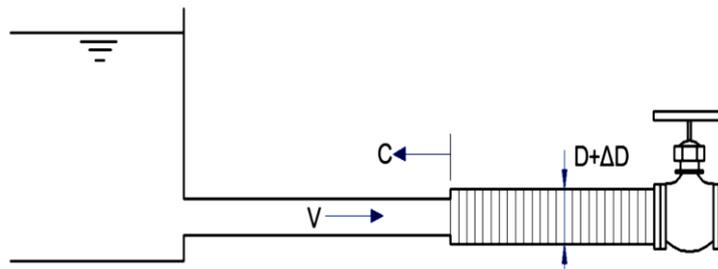


Figura 6. Propagación de la onda de presión.

Fuente: Claudio Mataix, (1 986)

4. Tempo $\frac{t_0}{2} = \frac{L}{C}$ toda la tubería esta dilatada, ver fig. N° 7.



Figura 7. Llegada de la Sobrepresión al Embalse.

Fuente: Claudio Mataix, (1 986)

5. Tiempo $\frac{3}{2}t_0 = \frac{3L}{2C}$ la parte 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 , figura N° 8.

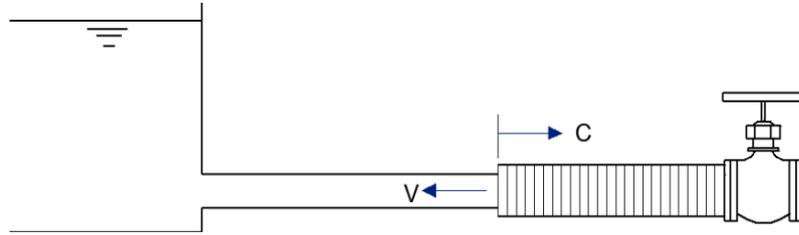


Figura 8. Tubería con la parte izquierda contraída.
Fuente: Claudio Mataix, (1 986)

6. Tiempo $2t_0 = \frac{2L}{C}$. 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 N° 9.

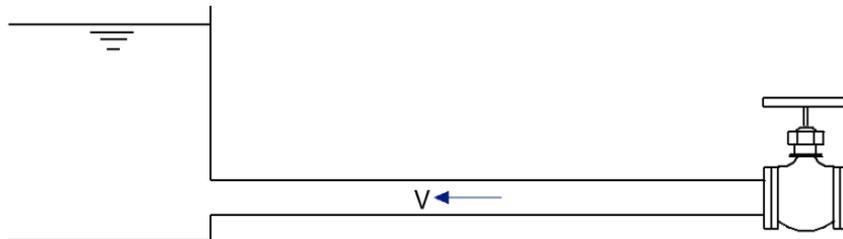


Figura 9. Diámetro tubería nominal.
Fuente: Claudio Mataix, (1 986)

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 N° 10.

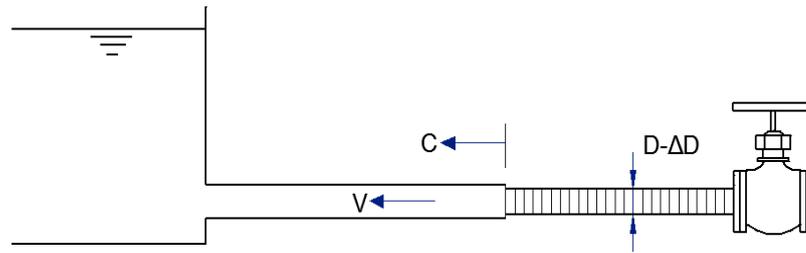


Figura 10. Depresión en la mitad de la tubería.

Fuente: Claudio Mataix, (1 986)

8. Tiempo $3t_0 = \frac{3L}{c}$. El agua inicia su movimiento desde el embalse a la válvula con velocidad V , dirigida hacia la derecha. La depresión está presente en toda la tubería, el diámetro de la tubería es inferior al normal, ver figura N° 11.



Figura 11. Depresión en toda la tubería

Fuente: Claudio Mataix, (1 986)

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, 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 N° 12.
10. Tiempo $4t_0 = \frac{4L}{c}$. El diámetro de la tubería vuelve a la normalidad, todo el fluido se encuentra en movimiento con velocidad V hacia la válvula, ver figura N° 13.

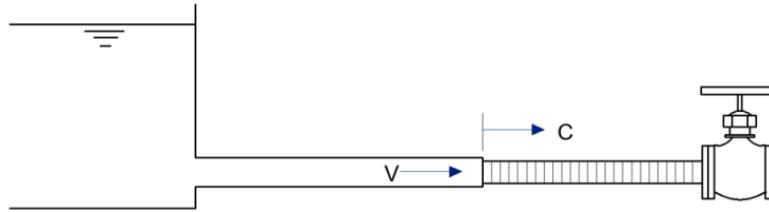


Figura 12. Tubería con la parte izquierda en movimiento.

Fuente: Claudio Mataix, (1 986)

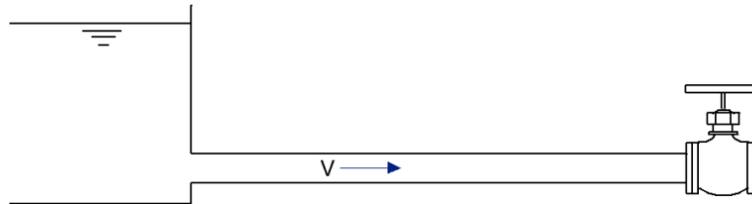


Figura 13. Diámetros de la tubería normal.

Fuente: Claudio Mataix, (1 986)

Prácticamente la deformación de la tubería y la viscosidad del líquido disipa energía y las oscilaciones se amortiguan. (Mataix, 1986, p. 315).

2.2.6.4. Celeridad o rapidez de propagación de onda

Al realizar el cierre instantáneo de una válvula se reduce la velocidad del fluido, produciendo ondas de presión que se propagan a lo largo del ducto con una velocidad altísima para tener una idea, la podemos comparar casi cercana a la velocidad del sonido, esta va disminuyendo debido a la elasticidad de la del ducto.

Si se desea determinar la velocidad de propagación C , conocida también con el nombre de celeridad de propagación de onda, podemos utilizar la fórmula del investigador Francés Allievi (1903), basada en la teoría elástica está explícita por las propiedades del fluido transportado, por la forma geométrica del ducto y de las propiedades elásticas de la ducto.

$$C = \sqrt{\frac{\frac{Ev}{\rho}}{1 + \left(\frac{Ev}{E}\right)\left(\frac{D}{e}\right)}} \quad \text{Ecuación (01)}$$

Donde:

$C = \text{Celeridad} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$

$E_v = \text{Módulo de elasticidad volumétrico del agua (MPa)}$

$\rho = \text{Densidad del fluido} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$

$E = \text{Módulo de elasticidad de Young de la tubería (GPa)}$

$D = \text{Diámetro interno del tubo (m)}$

$e = \text{Espesor de la pared del tubo (m)}$

2.2.6.5. Sobrepresión debido al cierre de una válvula

Por definición se sabe que la presión es la magnitud de la fuerza relacionada con la superficie actuante, esto quiere decir, que es equivalente a la fuerza que actúa sobre cada unidad de superficie.

En los ductos (tuberías), la presión o sobrepresión es originada por el fenómeno físico conocido como golpe de ariete hidráulico, una forma de explicar sencillamente este fenómeno a manera de ejemplo práctico es, cerrando bruscamente un grifo o una válvula instalada en un extremo de un ducto de una cierta longitud, como es de suponerse las primeras partículas del fluido quedan detenidas por efecto del cierre brusco, y son inmediatamente empujadas por que llegan detrás las cuales siguen en movimiento. Esta acción origina una sobrepresión que se desplaza a lo largo del ducto a una velocidad altísima llamada celeridad la cual supera la velocidad del sonido en el fluido. Este fenómeno (sobrepresión) produce dos efectos: el primero, comprime ligeramente el fluido, lo que significa que el volumen del fluido es reducido, y por ende el ducto es dilatado ligeramente (segundo efecto) aumentando su diámetro. Cuando todo el fluido se

detiene, la tubería en un instante queda ensanchada, e inmediatamente la tubería retorna a su dimensión original, esto quiere decir que la sobrepresión no superó los límites elásticos de la tubería.

Las ondas de presión pueden ser de dos tipos, positivas (sobrepresiones) o negativas (depresiones). Las sobrepresiones que se originan pueden elevar considerablemente la presión hasta llegar a superar la presión máxima admisible de la tubería, y como consecuencia ocasionar daños mecánicos irreparables en las tuberías y accesorios. Por otro lado las ondas negativas pueden disminuir la presión total hasta generar cavitación, separación de la columna de líquido o el colapso de la tubería por efecto de la presión externa.

Si se desea determinar la sobrepresión, se puede emplear la expresión matemática desarrollada por Joukowski.

$$p = \rho \times C \times V \quad \text{Ecuación } \dots \dots \dots \dots \dots \dots (02)$$

Dónde:

$p = \text{Sobrepresión máxima (MPa)}$

$C = \text{Celeridad de propagación de onda } \left(\frac{m}{s}\right)$

$V = \text{Velocidad del fluido } \left(\frac{m}{s}\right)$

$\rho = \text{Densidad del agua } \left(\frac{kg}{m^3}\right)$

2.2.7. Bomba de Ariete

En la siguiente sesión se describirá el principio de funcionamiento, un poco de la historia y evolución de la bomba de ariete hidráulica así como también describirá los elementos que componen el ariete hidráulico.

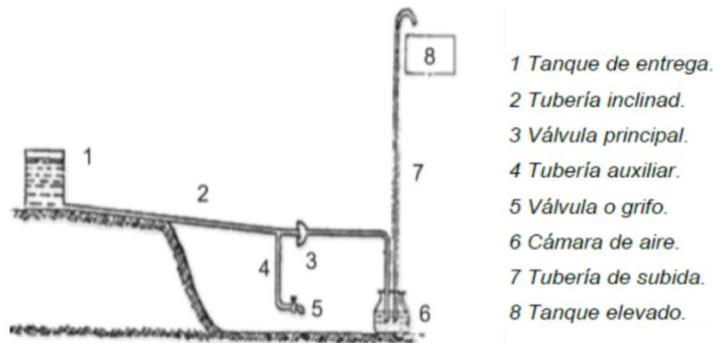


Figura 15. Esquema de funcionamiento del ariete ideado por John Whitehurst

Fuente: Jiménez, 2 011

Esta bomba era accionada manualmente por un niño encargado de operar el grifo o válvula conectada a la tubería, para provocar el famoso golpe de ariete, el cual permitía elevar una parte del caudal existente a un tanque elevado ubicado a una altura superior del tanque de abastecimiento, siendo esta la primera bomba de ariete con accionamiento manual que se mantuvo operativa desde 1772 hasta 1800.

Por otro lado Joseph Montgolfier junto a su hermano Étienne pensaron que esta encantadora energía de choque que se producía al cerrar repentinamente un grifo debería ser aprovechada por el hombre, la perspicacia y destreza de estas mentes brillantes de librar a los niños (y adultos) de la servidumbre como fuerza motriz de la máquina, hubo la necesidad de añadir elementos mecánicos al invento cervecero, seis años antes de que inventara el globo aerostático, y tras varios intentos fallidos.

En 1776 consiguió dar con las exigencias básicas para en diseño y la construcción de un ariete hidráulico automático, en principio similar a los contemporáneos, al cual lo denominó con el nombre de *belier hydraulique*, ver figura N° 16.

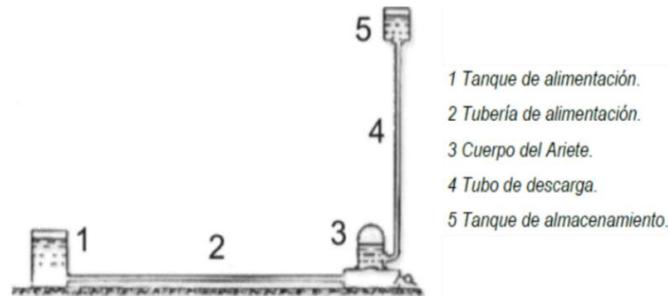


Figura 16. Esquema del ariete hidráulico ideado por Joseph Michael Montgolfier.

Fuente: Jiménez, 2 011

En el tiempo en que los combustibles fósiles como la gasolina, no era muy comercial y solo se podían obtener en pequeñas cantidades en las boticas de las ciudades, y todavía faltaba mucho tiempo para que aparecieran los generadores eléctricos y las centrales eléctricas eran un sueño, en esos tiempos la máquina de vapor acabara de andar, Joseph Montgolfier ofrecía una sencilla máquina que conseguía elevar agua a una altura mayor de la captada sin utilizar ninguna energía externa. Esto quería decir que los centros poblados, aldeas aisladas, caseríos, y pequeñas localidades que hasta en aquel tiempo tenían que proveerse el agua con cubetas o tanques cisterna, podrían proveerse de agua para su ganado y consumo humano (agua potable) con un pequeño esfuerzo.

Después del sensible fallecimiento célebre francés Montgolfier otros se avocaron a investigar los principios de funcionamiento y aportar más bondades al aparato que tuvo sus inicios en una cervecería.

Con el pasar del tiempo y los avances tecnológicos en el desarrollo de motores de combustión interna, motores eléctricos, este sistema entro en desuso debido a que no eran tan eficientes en comparación a estos.

2.2.8.1. El ariete eléctrico en Europa

En la búsqueda de mejorar el automatismo de la bomba, Pierce en 1816 añadió una válvula de aspiración de aire para la cámara. Este nuevo componente sería el encargado de introducir pequeñas burbujas de aire en cada golpeo del ariete hacia la cámara de aire. Con esta innovadora mejora se evita que el colchón de aire almacenado en la cámara de aire se pierda y evita que el ariete deje de funcionar.

Durante el siglo XIX, Eastons fue el productor más grande de bombas de ariete hidráulicos que resultaban de gran ayuda en los pósitos del abastecimiento de agua, Eastons instaló arietes en todos lugares desde reconocidas casas, hasta en pequeñas granjas y comunidades alejadas de la modernidad en donde el transporte del agua fuera de necesidad.

En el año de 1909 la firma fue cerrada eventualmente, solamente el negocio del ariete fue continuado por James R. Eastons.

En el año de 1910 se creó la sociedad Walton, en Burdeos, 57 años más tarde en 1967 se especializó en el sector de bombeo, siendo el único fabricante francés que fabrica el ariete hidráulico de Montgolfier.



Figura 17. Ariete hidráulico construido por Walton
Fuente: Mohammed, 2007

En 1951 Krol establece que es posible pronosticar el comportamiento de cualquier ariete hidráulico, para ello concluyó que habría de tener en cuenta las siguientes pérdidas:

- Pérdida de carga por la válvula de impulso.
- Coeficiente de resistencia de la válvula de impulso.
- Pérdida de carga en el tubo de alimentación.
- Pérdida de carga durante el periodo de retardación.

En 1957 Calver ajustó el funcionamiento del ariete hidráulico para ello tuvo la necesidad de considerar las variables independiente e instaló un prototipo donde hizo las evoluciones usando parámetros adimensionales como el número de Reynolds, número de Froude, número de mach, relación de altura y el coeficiente de fricción del fluido. Demostró que el número de Froude es el criterio que define la tolerabilidad del ariete, la descarga y la eficiencia dependiendo de la relación de alturas.

Las mentes maestras y la tentación por lo desconocido provocó que algunos formularan hipótesis sobre la aparente simplicidad de los procesos que ocurren al hacer elevar el agua a través de arietes: Eytelwin 1805, D' Aubuission 1840 y Morin 1863 aportaron deducciones prácticas que aún perduran en trabajos de ingeniería, aunque Walker Fyfe 1922, quien realizó muchas instalaciones en Inglaterra, declaró la inutilidad de sus fórmulas. Había que tomar en cuenta e incluir los siguientes parámetros:

- Comportamiento de las pérdidas de carga por fricción o turbulencia.
- Longitud de recorrido de la válvula de impulso.
- Peso que actúa sobre la válvula de impulso.

- Resistencia debida a la electricidad del agua.
- Material de la tubería de impulso.
- Duración del periodo durante el cual la válvula de impulso cierra.

2.2.8.2. El ariete hidráulico en Latinoamérica

Este sencillo artefacto aparentemente mágico permite prescindir de la energía, Por sus grandes ventajas y fácil construcción está siendo retomado en países como Chile, Cuba y Bolivia donde se han creado centrales de bombeo donde en base a bombas de ariete hidráulico que abastece de agua a pequeñas localidades. Incluso hay organizaciones y universidades que realizan mejoras a este sistema de bombeo.

El director de la empresa Desarrollo Agropecuario Bravo, Alejandro Álvarez de la Pesa, comenta que en México quedo en la historia este invento y a pesar de que en ese momento fue utilizado en el mundo entero dejo de utilizarse con la aparición de los motores de combustión interna. Sin embargo, en México en el valle de Bravo, se instaló una bomba de ariete hidráulico que logró transportar agua a una distancia de 350 m con una altura de 60 m.

Es necesario saber que en México existen parcelas demostrativas en la cual se cultivan hortalizas y el sistema de bombeo se hace con una bomba de ariete, estas parcelas son promocionadas por la organización denominada “la cañada” ubicada en Veracruz México.

Con la llegada del ferrocarril a Nicaragua inicios del XX, la bomba llego gracia a los extranjeros que buscaban establecerse y tener una comodidad de vida mejor. Por mucho tiempo no se pudo replicar estos diseños debido a que estaban hechos de hierro fundido. Con la caída del petróleo en los años ochenta esta técnica de transporte de fluido empezó nuevamente a ponerse de moda, de aquí a finales de

los años 90, se tuvo la errónea idea de la bomba de ariete hidráulico era una técnica de elevar fluido solo para pequeños caudales y es hasta que en el año 2 000 se instalan y prueban modelos para una escala mayor.

Gracias a su ingenio y grandes conocimientos en el tema el Ingeniero Juan Carlos Vega, logro desarrollar un modelo de bomba ariete hidráulico (figura 18), mucho más avanzado que los arietes mencionados anteriormente. Este nuevo diseño fue presentado en Venezuela con el nombre de ariete hidráulico “El Paují”.



Figura 18. Ariete hidráulico “El Paují”

Fuente: Industrias el paují, 2 010

Una manera de comprobar que las bombas de ariete hidráulico superan la prueba de tiempo es que en las zonas montañosas de la parte oriental de Cuba existen modelos instalados en el siglo XIX que a la fecha con un pequeño mantenimiento pueden reiniciar su asonante operación.

2.2.8.3. El ariete hidráulico Multipulsor

En el año de 1 990 llego a cuba el técnico belga Jan Haemhouts, quien gracias a su ingenio y destreza logro modificar el ariete. A Jan le movía una pasión desbordante de trasladar el agua a lugares donde la gravedad no nos lo permite, haciendo uso de alternativas prácticas.

Atreves de la historia y evolución sabemos que la bomba de ariete ha tenido varias modificaciones y cambios para lograr un rendimiento más óptimo, pero ninguno fue tan grandioso como el de Jan Haemhouts, debido a que el equipo podía ser más pequeño y por ende menos pesado lo que permitía ser trasladado hacia cualquier lugar que fuese necesario, además que la potencia de consumo es relativamente baja.

El progreso de la bomba de ariete diseñada por Jean se basa en el remplazo de la única válvula de impulso (diseño de Montgolfier), por un conjunto de válvulas de impulso correctamente calibradas para aprovechar mejor los caudales disponibles y así aumentar el rendimiento de la bomba. Además permite reducir las dimensiones de la tubería tanto su longitud como su diámetro, También aporta la gran ventaja de disminuir la necesidad de amortiguación en la magnitud de inyección de agua en la cámara de aire, por lo que el diseño de la cámara de aire puede disminuirse en comparación al diseño de montgolfier.

Este modelo de ariete hidráulico Multipulsor (figura N° 19) con una tubería de impulso de 6 in permite salvar desniveles de 5 m, distancias de más de 200 m y volúmenes de agua diarios de 173,00 l. Puede beneficiar a una comunidad entre cien y mil habitantes o utilizarse para el riego de pequeñas parcelas o para el abastecimiento de pequeñas granjas.



Figura 19. Ariete hidráulico Multipulsor “Jan Heamhouts”.

Fuente: montesinos, A. y gallardo l. (1991)

2.2.9. Bomba de ariete

2.2.9.1. Principio de funcionamiento

El sistema está basado en el fenómeno conocido en la ingeniería hidráulica como golpe de ariete, el cual se produce cuando se corta el paso del flujo de agua cerrando repentinamente una válvula. La energía cinética, que transporta el agua al desplazarse, al ser detenida bruscamente, origina un aumento de presión, (golpe de ariete).

Con el ariete hidráulico se producen perennemente estos golpes en un tubo que es alimentado con agua de un riachuelo, sequia, presa, o cualquier desnivel que permita aprovechar los aumentos de presión para elevar una parte del líquido que fluye por el tubo a un nivel superior del captado.

2.2.9.2. Componentes de la bomba

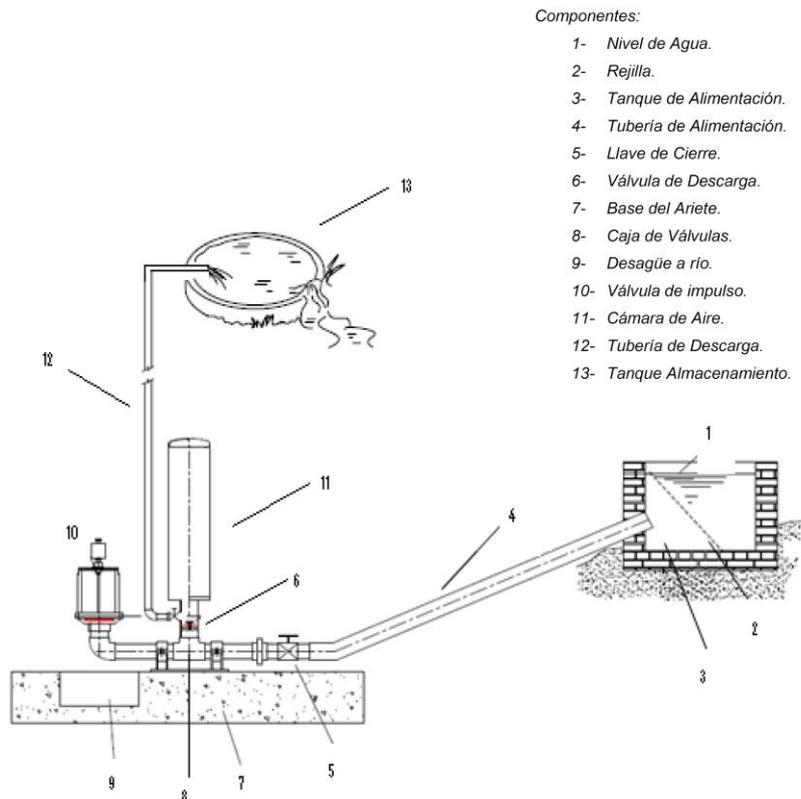


Figura 20. Elementos y componentes de la bomba de ariete.

Fuente: Jiménez, 2011.

La figura N° 20 ilustra los elementos y componentes del ariete hidráulico, los mismos que serán descritos a continuación:

- a) **Nivel de agua.**
- b) **Rejilla,** Es el mecanismo físico encargado de separar o retener las impurezas que proceden del acopio de agua y apoya a prevenir que estas ingresen al cuerpo de la bomba.
- c) **Tanque de alimentación o presa.** Es la construcción civil que es de necesidad para surtir de agua al ariete hidráulico. Su construcción varía dependiendo del lugar de captación, sí se capta agua de un torrente, un río, un embalse natural o cualquier otro medio que permite acceder a un desnivel en relación con la Bomba de Ariete. Su diseño también dependerá de la aplicación o utilidad que se le dará.
- d) **Tubería de alimentación o de impulso.** Es la encargada o medio de conexión entre el tanque de captación y el cuerpo del ariete además es uno de los componentes fijos más importante simultáneamente con la caja de válvulas.

Según las reglas convencionales debe tener un largo entre 100 y 500 veces el diámetro del tubo, y un mínimo de 2 y hasta 7 veces la altura de la presa, esto dependerá también del tipo de ariete hidráulico.

- e) **Llave de cierre.** Este es un componente opcional, de preferencia se instala una válvula del tipo compuerta la cual sirve para parar o poner en funcionamiento la bomba, su instalación dependerá del trabajo a realizar es decir si la bomba es de uso continuo sería inútil su instalación.

- f) **Válvula de retención o descarga**, este componente es el encargado de abrir paso para que el agua ingrese a la cámara de aire, e impide el retorno de la misma por efecto del aire comprimido dentro de la cámara. La válvula de descarga normalmente es una válvula anti retorno, pero debido a que estará sometida a grandes sobrepresiones se diseña con los siguientes elementos: una brida, plato de goma, platillo semiesférico y un tornillo de sujeción, la misma se encuentra en la base de la cámara de aire.
- g) **Base del ariete**. Es la plataforma donde estará fijada la bomba de ariete, esta dependerá del tamaño del cuerpo del ariete, normalmente es de concreto armado.
- h) **Caja de válvulas**. Esta es la parte donde se origina la alteración de las ondas de presión y donde están ubicadas las válvulas de impulso y de descarga, a su vez sirve de base y soporte de la bomba de ariete.
- i) **Desagüe a río**. Es la encargada de conducir el caudal desechado hacia el río o acequia.
- j) **Válvula de impulso**. Es la componente móvil más importante ya que de ella depende el funcionamiento del equipo. Es la encargada de originar 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 o frecuencia, por medio juegos de contra pesos diseñados y fabricados a tal efecto, los cuales se colocan en el vástago de la válvula. La válvula de impulso está compuesta por: Un vástago, una brida, un plato y tornillos con

tuercas de sujeción, aunque ay válvulas de impulso que en lugar de las pesas, se instala un muelle que cumple la misma función.

- k) **Cámara de aire.** Es el componente encargado de impulsar el agua a través de la tubería de descarga, además es el encargado de absorber las sobrepresiones actuando como un amortiguador para brindar un flujo casi continuo en la descarga, este dispositivo va fijado encima de la caja de válvulas, aunque en algunos casos se monta encima de la válvula de descarga sujeta mediante tornillos.

La cámara debe tener como mínimo de 10 veces el volumen del agua que entra por golpe.

- l) **Tubería de descarga.** Es el componente que conecta la cámara de aire con el tanque de almacenamiento. Este mecanismo puede ser simplemente una manguera de goma pero habrá que considerar la altura de bombeo para determinar la presión máxima ejercida por la columna de agua lo que significa que la manguera debe ser capaz de soportar estas presiones. Generalmente la tubería de descarga se considera como 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.

- m) **Tanque de almacenamiento.** Este es el último componente, su diseño depende del caudal suministrado por la bomba y la utilidad del agua, es decir si va a ser utilizada en el consumo humano el tamaño se diseñara para que sea llenado cuando no hay demanda, o sea durante la noche en un tiempo de doce horas, si va a ser utilizado en el riego o en la ganadería este se diseñara en dependencia

del consumo de agua del ganado o la periodicidad del riego. Este tanque deberá de contar con un sistema de rebose y de distribución.

Aunque otros autores mencionan solo cinco componentes esenciales en un sistema de bombeo por ariete hidráulico los mismos que se muestran en la Figura N° 21.

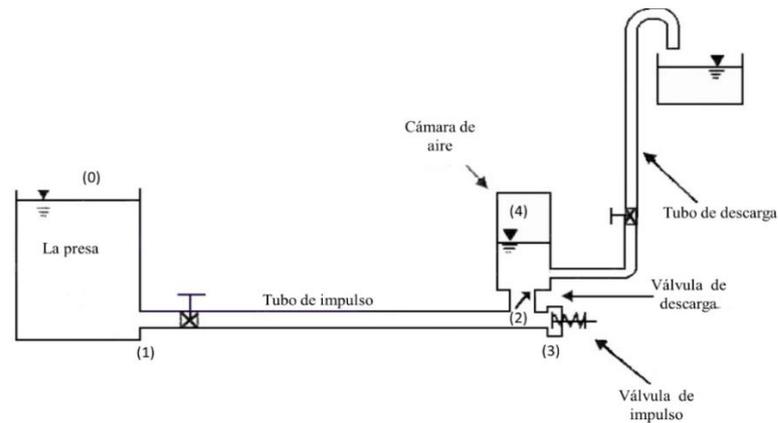


Figura 21. Componentes esenciales de la Bomba de Ariete.

Fuente: Sánchez y De Freytas, 2002.

2.2.10. Funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico

Antes de conocer el funcionamiento de bomba de ariete es necesario mencionar que la bomba está integrada por dos componentes móviles los mismos que operan automáticamente según la acción dinámica del fluido en cada ciclo de bombeo.

Ahora que se revelo esta información se entenderá de una manera más sencilla la acción de bombeo según el funcionamiento de estas válvulas, acciones que se describen a continuación:

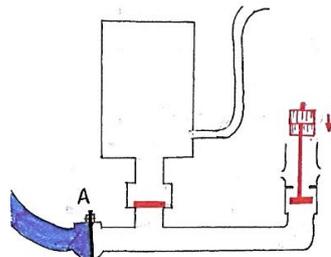


Figura 22. Funcionamiento del Ariete Hidráulico.

Fuente: Elaboración propia.

- a) Como se aprecia en la figura N° 22 la válvula de impulso se encuentra abierta mientras que la válvula de descarga está cerrada.
- b) El proceso de funcionamiento inicia con la apertura de la válvula de alimentación (A), el fluido empieza a circular por el interior del cuerpo del ariete (B), hasta llegar a la válvula de impulso (C) la misma que se sierra rápidamente debido a la energía cinética y potencial del agua, produciendo el popular golpe de ariete (ver fig. N° 23).

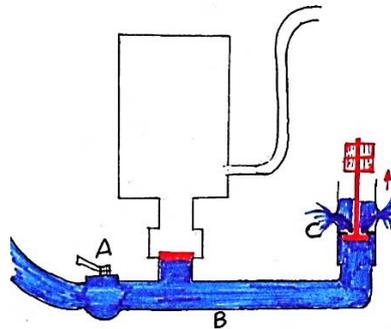


Figura 23. Funcionamiento del Ariete Hidráulico.

Fuente: Elaboración propia.

- c) Debido al cierre repentino de la válvula de impulso el agua retrocede hacia atrás mediante ondas conocida como ondas de presión las cuales chocan con las moléculas que vienen por la tubería de suministro creando una sobrepresión en el cuerpo del ariete, la misma que se traduce en una fuerza lo suficientemente fuerte para abrir la válvula de descarga (D), ver figura N° 24).

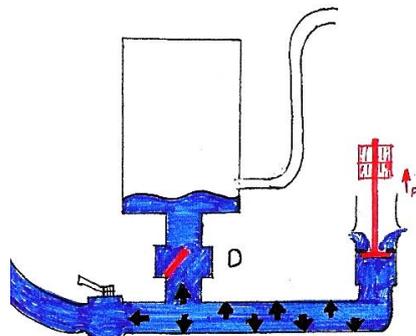


Figura 24. Funcionamiento del Ariete Hidráulico.

Fuente: Elaboración propia.

- d) Al abrirse la válvula anti retorno (D) ingresa una cierta cantidad de agua a la cámara de aire (E), comprimiendo el aire existente en su interior, (Ver fig. N° 25)

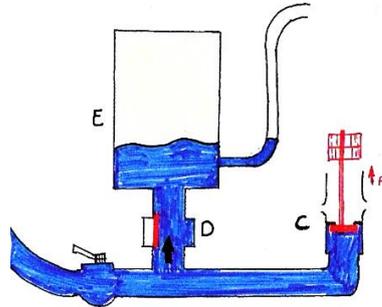


Figura 25. Funcionamiento del Ariete Hidráulico.

Fuente: Elaboración propia.

- e) Al cesar la sobrepresión en el cuerpo del ariete, la fuerza que abría la válvula D disminuye y la válvula de impulso C se abre, al mismo tiempo el aire comprimido en la cámara de aire se expande cerrando la válvula D. ver figura N° 26.

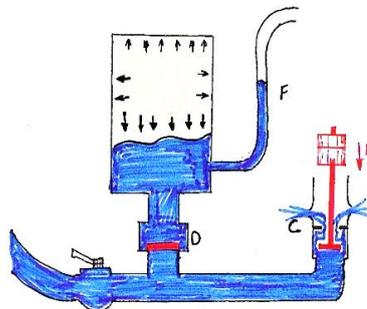


Figura 26. Funcionamiento del Ariete Hidráulico.

Fuente: Elaboración propia.

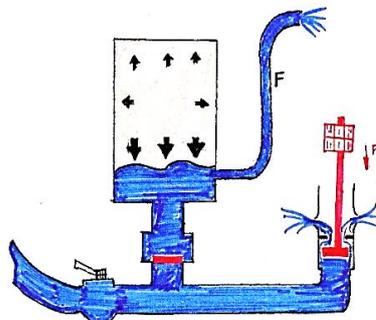


Figura 27. Funcionamiento del Ariete Hidráulico.

Fuente: Elaboración propia.

- f) Con la válvula C abierta y la válvula D cerrada el aire comprimido en la cámara de aire empuja el agua que ingresó en la cámara por la tubería de descarga F, ver figura N°27.
- g) El ciclo se repite una y otra vez cada vez comprimiendo más el aire en la cámara, el mismo que expulsa el agua a una altura mayor de la captada por medio de la tubería de descarga F, dando un flujo casi constante como muestra la figura N° 28.

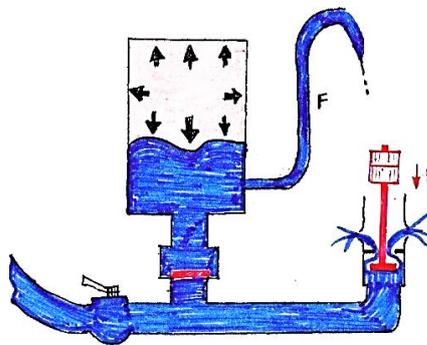


Figura 28. Funcionamiento del Ariete Hidráulico.

Fuente: Elaboración propia.

Como se ha visto, el funcionamiento de bombeo de la bomba de ariete hidráulico se basa en el aprovechamiento de dos energías: energía de velocidad y energía de presión, lo que significa que puede elevar líquido sin la necesidad de utilizar energía eléctrica o combustibles fósiles, a continuación se verá el comportamiento de las dos energías y la válvula de impulso.

Si se observa la figura N° 29, se verá tres diagramas A,B y C, para entender esta figura se tiene que observar los tres diagramas a la vez, en el instante 1, se observa como la energía de velocidad se incrementa rápidamente a comparación de la energía de presión, mientras que la válvula de impulso inicialmente está abierta y poco a poco se va cerrando, una vez cerrada totalmente se observa como

la energía de presión se incrementa de golpe (instante 2), mientras la válvula permanece cerrada la energía de velocidad disminuye rápidamente, la energía de presión en un pequeño tiempo se mantiene y luego cae gradualmente, cuando la energía de presión es negativa (depresión) la válvula de impulso se abre totalmente y la velocidad es negativa (instante tres). Restableciéndose un nuevo ciclo, se considera como normal un número de 40 a 50 ciclos por minuto, pero si se disminuye la carrera de la válvula de impulso se puede obtener 90 a 95 ciclos por minuto.

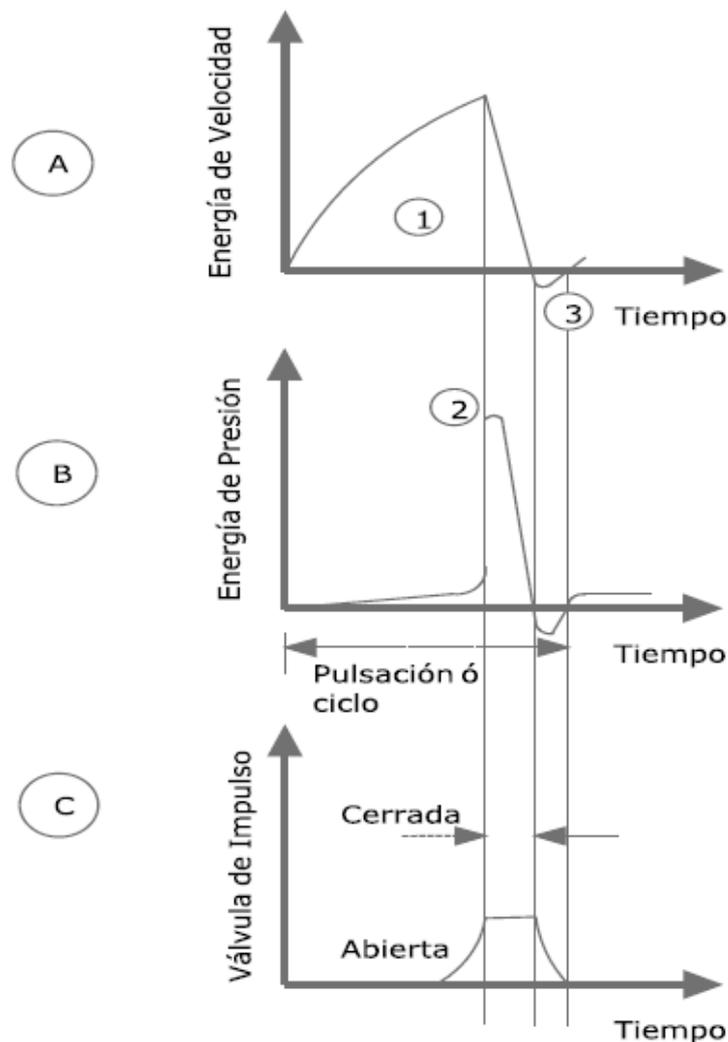


Figura 29. Gráficas de funcionamiento del Ariete Hidráulico.

Fuente: Martínez Saimos, F. et. al, 2003.

2.2.11. Análisis Teórico

Como ya se mencionó con anterioridad la tubería de suministro también es considerada como parte de la bomba de ariete debido a que su participación es muy importante para la acción de bombeo. Entonces la bomba comprende los elementos de (0) a (4) (ver fig. 21).

El líquido impulsor usa la altura H, de (0) a (3). En tal sentido que la energía mecánica o potencia usada para poner en marcha la bomba es:

$$P_t = Q_t \times \gamma \times H \quad \text{Ecuación (03)}$$

2.2.12. Cámara de aire o campana

Este componente va situado por encima de la caja de válvulas sujeta mediante tornillo para mayor estabilidad, cuenta con una salida por donde expulsará el fluido a través de la tubería de descarga hacia el tanque de almacenamiento, la función fundamental de la cámara de aire es absorber las sobrepresiones producidas, las que permiten regular el flujo de agua que sale por la tubería de descarga haciendo que sea un flujo casi continuo, además será un amortiguador de los golpes de ariete. El aire comprimido tendrá la función de expulsar al fluido a un nivel superior de la fuente de captación.

Debido a las condiciones de su funcionamiento, dentro de cámara de aire se producen dos presiones, la primera es una presión mínima, la cual se produce cuando la válvula de descarga se encuentra cerrada y el aire que se encuentra en el interior de cámara soporta la columna de agua que se encuentra contenida en la tubería de entrega, la segunda es una presión máxima, se produce en el instante en que la válvula de descarga se abre y el fluido ingresa a la cámara lo que ocasiona que el aire se comprima. Para efectos de cálculo puede ser usada la ley de Boyle que

menciona que el volumen de una masa fija de gas es inversamente proporcional a la presión que este ejerce. Siempre y cuando su temperatura se mantenga constante.

$$P_1 \times V_{1\text{aire}} = P_2 \times V_{2\text{aire}} \quad \text{Ecuación (04)}^1$$

Donde:

$P_1 =$ Presión mínima (Pa)

$V_{1\text{aire}} =$ Volumen inicial de aire en la cámara (m^3)

$P_2 =$ Presión máxima (Pa)

$V_{2\text{aire}} =$ Volumen dos de aire en la cámara (m^3)

2.2.13. Parámetros de diseño para bombas de ariete

2.2.13.1. Localización de la bomba

Para determinar el sitio en que se va a ubicar la bomba hay que considerar las condiciones geográficas del terreno que brindarán las características apropiadas para su correcta instalación además deberá contar con los espacios necesarios para su manipulación al momento del mantenimiento.

2.2.13.2. Altura de Entrega

Este parámetro viene dada por la necesidad de elevar el fluido a un nivel determinado, para darle un uso determinado ya sea para agricultura, ganadería, o consumo humano entre otros.

2.2.13.3. Altura de Suministro

Para determinar el salto apropiado para llegar al altura de descarga solicitado se hace uso de las expresiones matemáticas elaboradas por fabricantes y especialistas en el tema como S.B. Watt, quien en su libro titulado Un Manual sobre el Ariete

¹ Ley de Boyle

hidráulico Para el bombeo, formula que la altura de suministro se establece por medio de la siguiente relación, y recomienda rango de 1 y 12 m.

$$H_s = \frac{1}{3} H_d \quad \text{Ecuación (05)}^2$$

Donde:

$H_s = \text{Altura de suministro (m)}$

$H_d = \text{Altura de entrega (m)}$

2.2.13.4. Tubería de suministro

Este componente tiene dos objetivos fundamentales que son:

- Conducir el caudal necesario al cuerpo de la bomba desde el depósito de suministro aumentando la energía cinética.
- Resistir los efectos ondulatorios producidos por el golpe de ariete hidráulico.

Tanto la longitud como el diámetro de la tubería de suministro son de primordial importancia para el correcto funcionamiento de la bomba de ariete, como se mencionó anteriormente es la encargada de conducir el líquido desde la fuente de captación hacia el cuerpo del ariete y retiene las ondas de presión generadas por el golpe de ariete.

Es muy recomendable el uso de tuberías fierro galvanizado de muy buena calidad o tubería de aceros inoxidable, el uso de otros materiales como plástico o tuberías de PVC conllevaran a un continuo mantenimiento debido a las posibles fugas en la tubería producto de la sobrepresiones continuas provocadas por el golpe de ariete.

Según estudios realizados por especialistas y pruebas efectuadas indican que, tanto la longitud de la tubería como su diámetro son muy importantes, es por

² Hydraulic ram for Pumping Water S.B Watt

ello que se hizo estudios que llegaron a relaciones matemáticas desarrolladas expertamente que avalan el correcto trabajo del ariete. Habitualmente, la magnitud de la tubería debe ser en torno a tres y siete veces la altura de suministro. Según S.B Watt recomienda que la tubería de suministro idealmente, debe de tener una longitud de al menos 100 veces su diámetro. Para expresarlo en una relación matemática menciona que la bomba funcionará bien si la relación entre la longitud (L) y el diámetro interno (D) se encuentra dentro de los límites.

$$\frac{L}{D} = 150 \text{ a } 1\,000 \quad \text{Ecuación } \dots \dots \dots (06)^3$$

2.2.13.5. Tubería de descarga

El principal objetivo de la tubería de descarga es trasladar al líquido hasta el tanque de acumulación, el tamaño de este tubo depende de la capacidad del ariete, la tubería de descarga no debe de tener tramos de contra pendiente.

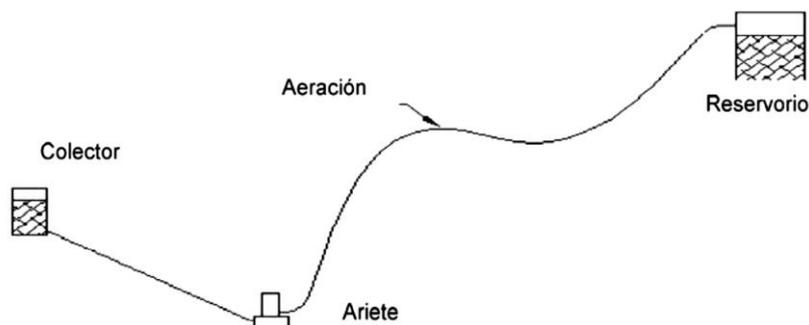


Figura 30. Ubicación del Sistema de Aeración

Fuente: Folleto Bomba de Ariete

En la figura número 30, se observar una instalación donde no se pudo evitar estas pendientes, en tal sentido se instaló vías de aeración en los puntos más altos, para retirar el aire que impide la circulación del agua.

Para la determinación del diámetro de la tubería de entrega los especialistas recomiendan tomar mitad del diámetro de la tubería de suministro.

³ Hydraulic ram for Pumping Water S.B Watt

2.2.13.6. Caudal de entrega

Se define caudal de entrega a la cantidad de fluido medido en unidad volumen por unidad de tiempo que la bomba de ariete entrega al ponerla en funcionamiento. Para efectos de cálculos se expresa mediante la siguiente expresión matemática.

$$\frac{q \times Hd}{Hs \times D^2 \times u_c} = \frac{\pi \times C_d}{10} \quad \text{Ecuación (07)}^4$$

De dónde el caudal de entrega queda:

$$q = \frac{Hs \times D^2 \times u_c \times \pi \times C_d}{10 \times Hd} \quad \text{Ecuación (08)}$$

Dónde:

$$q = \text{Caudal de entrega} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

Hs = Altura de suministro (m)

Hd = Altura de entrega (m)

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

u_c = Velocidad de Cierre de la válvula de impulso $\left(\frac{m}{s} \right)$

C_d = Coeficiente de descarga

2.2.13.7. Velocidad de cierre de la válvula de impulso

Para establecer la velocidad con la que la válvula de impulso se sierra (corta el paso del fluido) se utiliza la siguiente expresión matemática.

$$u_c = 0.135 \times C_{vi} \quad \text{Ecuación (09)}^5$$

⁴ Simplified Analysis and Design of The Hydraulic Ram Pump

⁵ Simplified Analysis and Design of The Hydraulic Ram Pump

Donde:

$u_c =$ Velocidad de cierre de la válvula de impulso $\left(\frac{m}{s}\right)$

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

2.2.13.8. Coeficiente de descarga

Este factor de descarga es un coeficiente adimensional que relaciona el caudal desplazado por la tubería, y la raíz del doble de la gravedad con el nivel del fluido en el embalse (Δh) multiplicado por su sección transversal.

$$Q_l = C_d(\sqrt{2 \times g \times \Delta h})A \quad \text{Ecuación (10)}^6$$

El coeficiente de descarga es igual a

$$C_d = \frac{Q_l}{(\sqrt{2 \times g \times \Delta h})A} \quad \text{Ecuación (11)}$$

Dónde:

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

$C_d =$ Coeficiente de descarga

$g =$ Gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

$\Delta h =$ Diferencia de altura (m)

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

2.2.13.9. Caudal libre

Como su nombre lo menciona, el caudal libre se denomina al flujo de agua que circula por la tubería de alimentación pasando por el cuerpo del ariete, la caja de válvulas para finalmente salir por la válvula de impulso sin ninguna interrupción,

⁶ www.valvias.com/coeficiente-de-descarga.php

es decir la válvula de impulso se considerara totalmente abierta permitiendo que el agua fluya a la atmosfera.

La ecuación General de la Energía es una expansión de la Ecuación de Bernoulli, que posibilita la resolución de problemas con adición o remoción de energía, o pérdidas de energía, las cuales aparecen a medida que un flujo fluye por una tubería debido a la fricción interna en el fluido, permite saber cuál será la velocidad del fluido en el interior del ducto.

A continuación se observa la ecuación de Darcy, ecuación de la energía.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{Ecuación (12)}^7$$

Dónde:

$P_1 =$ Presión en el punto uno (Pa)

$P_2 =$ Presión en el punto dos (Pa)

$\gamma =$ Peso específico del agua $\left(\frac{N}{m^3}\right)$

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

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

$V_1 =$ Velocidad en el punto uno $\left(\frac{m}{s}\right)$

$V_2 =$ Velocidad en el punto dos $\left(\frac{m}{s}\right)$

$g =$ Aceleración de la gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

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

$h_R =$ Energía retirada del fluido mediante un dispositivo mecánico (m)

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

⁷ ROBERT L MOOT. Mecánica de Fluidos Aplicada.

2.2.13.10. Pérdidas mayores

Las pérdidas mayores en ductos se denomina como la merma de presión que se origina en un fluido por efecto de la fricción de las moléculas del fluido entre si y contra las paredes del ducto que las transporta.

Para efectos de cálculo se hace uso de la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_l = f x \frac{L}{D} x \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{Ecuación (13)}^8$$

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 $\left(\frac{m}{s}\right)$

$f =$ Factor de fricción

2.2.13.11. Pérdidas menores

Las pérdidas menores también conocidas como pérdidas locales se producen debido a los cambios de dirección del fluido debido a los codos o válvulas entradas en la tubería uniones y todos los accesorios que pueda contener la tubería de suministro, la expresión matemática es la siguiente:

$$h_{Lm} = k \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{Ecuación (14)}^9$$

Dónde:

$h_{Lm} =$ Pérdida menor (m)

⁸ ROBERT L MOOT. Mecánica de Fluidos Aplicada.

⁹ ROBERT L MOOT. Mecánica de Fluidos Aplicada.

$k =$ Coeficiente de resistencia al flujo

$V_2 =$ Velocidad en el punto dos $\left(\frac{m}{s}\right)$

$g =$ Gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

2.2.13.12. Factor de Fricción

Para el cálculo de este parámetro adimensional se utilizará la ecuación que fue desarrollada por P. K. Swamee y A. K. Jain, la misma nos permitirá realizar el cálculo directo del factor en mención.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{D}{\varepsilon} \right)} + \frac{5,74}{N_{RE}^{0,9}} \right) \right]^2} \quad \text{Ecuación } \dots \dots \dots (15)^{10}$$

Dónde:

$f =$ Factor de fricción

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

$\varepsilon =$ Rugosidad (m)

$N_{RE} =$ Número de Reynolds

2.2.13.13. Número de Reynolds

Para calcular la pérdida de energía debido a la fricción en un sistema de fluido, es necesario caracterizar la naturaleza del flujo. Un flujo lento y uniforme se conoce como fluido laminar, mientras que un flujo rápido y caótico se conoce como flujo turbulento (Moot, 1996, p.223).

$N_{RE} < 2000$ Flujo Laminar.

$N_{RE} > 4000$ Flujo Turbulento.

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

¹⁰ ROBERT L MOOT. Mecánica de Fluidos Aplicada.

Si se desea conocer el tipo de flujo, se tendrá que determinar en primer lugar el Número de Reynolds mediante la siguiente expresión matemática:

$$N_{RE} = \frac{VxD}{\nu} \quad \text{Ecuación (16)}^{11}$$

Dónde:

$V = \text{Velocidad del flujo } \left(\frac{m}{s}\right)$

$D = \text{Diámetro interno de la tubería (m)}$

$\nu = \text{Viscosidad cinemática } \left(\frac{m^2}{s}\right)$

2.2.13.14. *Rugosidad Relativa.*

Este parámetro adimensional está determinado por la relación del diámetro del ducto y la rugosidad de la pared interna del ducto.

$$R_r = \frac{D}{\varepsilon} \quad \text{Ecuación (17)}^{12}$$

Dónde:

$R_r = \text{Rugosidad relativa}$

$D = \text{Diámetro interno de la tubería (m)}$

$\varepsilon = \text{Rugosidad (m)}$

2.2.13.15. *Caudal de suministro.*

Por teoría se sabe que en un sistema ideal siempre habrá una buena transferencia de flujo por lo tanto se tiene:

$$q \times Hd = Q \times Hs \quad \text{Ecuación (18)}^{13}$$

¹¹ https://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_de_Reynolds

¹² ROBERT L MOOTT. Mecánica de Fluidos Aplicada.

¹³ https://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_de_ariete

Dónde:

$$q = \text{Caudal de entrega} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$Hd = \text{Altura de descarga (m)}$$

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

$$Hs = \text{Altura de suministro(m)}$$

Desgraciadamente, esto no ocurre en un sistema real. En un sistema real ocurren diversas pérdidas producto de la fricción producida entre el líquido y los elementos instalados a lo largo de la tubería con la finalidad de facilitar el transporte del fluido.

También se sabe que la bomba de ariete hidráulico no utiliza toda el agua circulante por el conducto de suministro. Su rendimiento varía desde 20 hasta 90%.

$$\eta = \frac{q \times Hd}{Q \times Hs} \quad \text{Ecuación (19)}$$

$$Q = \frac{q \times Hd}{\eta \times Hs} \quad \text{Ecuación (20)}$$

Si se desea determinar el caudal de suministro, si el rendimiento es desconocido se puede utilizar la tabla N° 2 de variación del rendimiento energético que varía en función de del cociente Hd/Hs.

Tabla 2

Variación del rendimiento energético del ariete en función del cociente Hd/Hs.

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

Fuente: Guía Técnica para el Manejo y aprovechamiento de agua con fines agropecuarios. PASOLAC, 2 006

2.2.13.16. Caudal desechado

Se le denomina así a la cantidad de agua expulsada a la atmosfera en cada golpe de la válvula de impulso, ver figura N° 38.

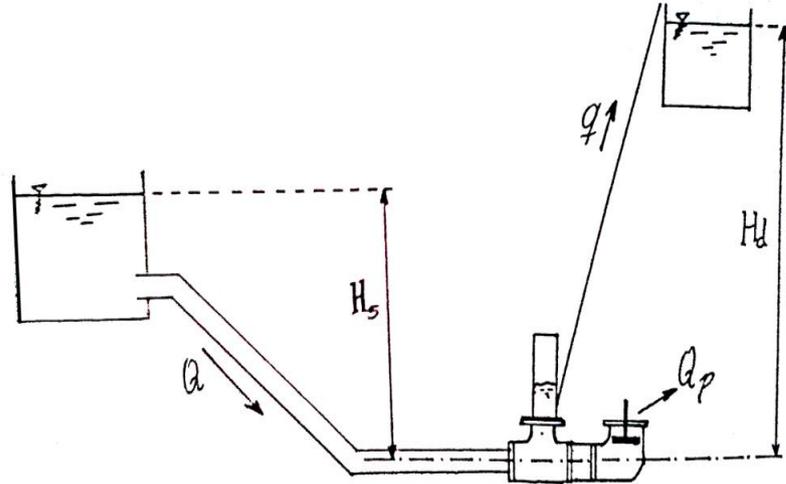


Figura 31. Distribución de caudales en el sistema.

Fuente: Elaboración propia

De la figura 31 se deduce lo siguiente:

$$Q = q + Q_p \quad \text{Ecuación (21)}$$

Dónde:

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

$$Q_p = \text{Caudal desechado} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$q = \text{Caudal de entrega} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

2.2.13.17. Rendimiento Volumétrico

Este parámetro adimensional viene dada por la relación existente entre la cantidad de fluido que entrega la bomba y la cantidad de fluido necesaria para que entre en funcionamiento, y se expresa en %.

$$n_v = \frac{q}{Q} \times 100 \quad \text{Ecuación (22)}$$

Dónde:

$n_v = \text{Rendimiento volumétrico (\%)}$

$q = \text{Caudal de entrega } \left(\frac{m^3}{s}\right)$

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

2.2.13.18. *Potencia de la bomba de ariete*

La potencia (P) de la bomba de ariete hidráulico es proporcional a la cantidad de fluido que entrega la misma (q), multiplicado por la altura de elevación (Hd) y el peso específico (γ) del fluido.

$$P = \gamma \times q \times Hd \quad \text{Ecuación } \dots \dots \dots (23)^{14}$$

Dónde:

$P = \text{Potencia (W)}$

$\gamma = \text{Peso específico del agua } \left(\frac{N}{m^3}\right)$

$q = \text{Caudal de entrega } \left(\frac{m^3}{s}\right)$

$Hd = \text{Altura de entrega (m)}$

2.2.13.19. *Diseño de la válvula de impulso*

Para el diseño de la válvula de impulso hay que manejar y considerar una serie de criterios, los mismos que serán mencionados a continuación.

- a) La válvula no debe presentar fugas una vez cerrada es decir el sello debe ser completamente hermético.
- b) El material usado debe ser resistente a la fatiga a la cual va a estar expuesta.

¹⁴T.D. Jeffry; Hydraulic Ram Pumps. A guide to ram pump water supply systems

- c) La válvula debe contar con la holgura necesaria para la apertura y cierre de la misma.

2.2.13.19.1. Diámetro del pie de la válvula de impulso

Para la determinación del diámetro de la válvula de impulso hay que considerar el espacio físico que se tiene, para contar con la comodidad necesaria para el desplazamiento longitudinal de la misma.

2.2.13.19.2. Cálculo del diámetro del orificio del asiento de la válvula

La dimensión del agujero del asiento de la válvula está determinada por la siguiente expresión matemática.

$$d_v = 1,15 \times d_0 \quad \text{Ecuación } \dots \dots \dots (24)^{15}$$

dónde:

$d_0 =$ Diámetro del orificio del asiento de la válvula(m)

$d_v =$ Diámetro del pie de la válvula(m)

2.2.13.19.3. Espesor del pie de la válvula

Según NEKRASOV, B. en su libro Hidráulica. Menciona que si se desea saber el espesor del pie de la válvula de asiento se hace uso de la siguiente formula.

$$e_{vi} = 0,14 \times d_0 \quad \text{Ecuación } \dots \dots \dots (25)^{16}$$

Dónde:

$e_{vi} =$ Espesor del pie de la válvula de impulso (m).

$d_0 =$ Diámetro del orificio de asiento (m).

¹⁵ NEKRASOV, B. Hidráulica.

¹⁶ NEKRASOV, B. Hidráulica.

2.2.13.19.4. Diámetro del vástago de la válvula de impulso

El diámetro del vástago se calculara según la ecuación de COLOMBO.

$$d_{vs} = 0,12 \times d_0 + 10 \quad \text{Ecuación (26)}^{17}$$

Dónde:

d_0 = Diámetro del orificio del asiento de la válvula (mm)

d_{vs} = Diámetro del vástago (mm)

2.2.13.19.5. Longitud del vástago

El vástago tendrá que ser de una longitud apropiada, lo suficiente para acoger las pesas, tuercas, contratueras y facilitar la variación de la carrera de la válvula de impulso.

2.2.13.19.6. Carrera de la válvula de impulso

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

$$C_{vi} = (25 - 33\%) \times d_v \quad \text{Ecuación (27)}$$

Dónde:

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

d_v = Diámetro del pie de la válvula (m)

2.2.13.20. Fuerza de arrastre para la válvula de impulso

Cuando el líquido es acelerado lo suficientemente para obstruir la válvula de impulso, se origina una fuerza de arrastre que genera el cierre de la misma,

¹⁷ COLOMBO. Hidraulica.

según Moott, la fuerza de arrastre se expresa de la siguiente manera:

$$F_a = C_a \times A_v \times \frac{\rho \times V^2}{2} \quad \text{Ecuación (28)}^{18}$$

Sabiendo que: $\rho = \frac{\gamma}{g}$; entonces la ecuación (28) quedaría:

$$F_a = C_a \times A_v \times \frac{\left(\frac{\gamma}{g}\right) \times V^2}{2}$$

$$F_a = C_a \times A_v \times \frac{\gamma \times V^2}{2g} \quad \text{Ecuación (29)}$$

Dónde:

Fa = Fuerza de arrastre sobre la válvula de impulso (kgf)

Ca = Coeficiente de arrastre

Av = Área de sección transversal de la válvula de impulso (m²)

ρ = Densidad del agua $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

γ = Peso específico del agua $\left(\frac{N}{m^3}\right)$

V = Velocidad del flujo en el cuerpo del ariete $\left(\frac{m}{s}\right)$

g = Gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

2.2.13.21. Fuerza aplicada al codo

Cuando las corrientes libres de fluido son obstruidas por objetos estacionarios, se deben ejercer fuerzas externas para mantener el objeto en equilibrio, (Robert Moott. Mecánica de fluidos Aplicada, pg. 451).

¹⁸ ROBERT L MOOTT. Mecánica de Fluidos Aplicada.

Este fenómeno sucede en el codo donde está ubicada la válvula de impulso (cheke), debido a que el líquido es forzado a cambiar de trayectoria.

$$F_c = \rho \times Q \times \Delta \vec{V} \quad \text{Ecuación} \dots \dots \dots (30)^{19}$$

$$F_{cx} = \rho \times Q \times \Delta \vec{V} = \rho \times Q \times (v_{2x} - v_{1x}) \quad \text{Ecuación} \dots \dots \dots (31)$$

$$F_{cy} = \rho \times Q \times \Delta \vec{V} = \rho \times Q \times (v_{2y} - v_{1y}) \quad \text{Ecuación} \dots \dots \dots (32)$$

Dónde:

F_c = Fuerza aplicada en el codo (N)

ρ = Densidad del fluido $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

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

$\Delta \vec{V}$ = Velocidad final menos inicial $\left(\frac{m}{s}\right)$

2.2.13.22. Fuerza boyante o fuerza flotante

Un cuerpo que se encuentra inmerso en un líquido, ya sea sumergido o flotando, es empujado hacia arriba por una fuerza igual al peso del fluido desplazado. La fuerza boyante (o flotante) actúa verticalmente hacia arriba a través del centroide del volumen desplazado y se puede definir de manera matemática mediante el principio de Arquímedes, (ROBERT L MOOTT. Mecánica de Fluidos Aplicada, Cuarta Edición, Pg. 115).

¹⁹ ROBERT L MOOTT. Mecánica de Fluidos Aplicada.

Fuerza boyante según el principio de Arquímedes.

$$F_b = \gamma_f + V_d \quad \text{Ecuación (33)}^{20}$$

Dónde:

$F_b = \text{Fuerza boyante (N)}$

$\gamma_f = \text{Peso específico del fluido } \left(\frac{N}{m^3}\right)$

$V_d = \text{Volumen desplazado del fluido (m}^3\text{)}$

2.2.13.23. *Peso máximo para la válvula de impulso*

Una manera práctica y sencilla de calcular el peso máximo para la válvula de impulso es utilizando la siguiente relación matemática:

$$0 < W_v < \frac{C_a \times A_v \times \rho \times H_s}{M} \quad \text{Ecuación (34)}^{21}$$

$$W_{max} = \frac{C_a \times A_v \times \rho \times H_s}{M} \quad \text{Ecuación (35)}$$

Por lógica se establece que si se comete el error de diseñar la válvula de impulso con el máximo peso, es muy probable que no se abra o cierre correctamente, en consecuencia el ariete no funcionará, para un diseño más opimo el peso para la válvula debe de estar dentro del siguiente intervalo.

$$0 < W_v < W_{max} \quad \text{Ecuación (36)}$$

Dónde:

$W_v = \text{Peso (Kg)}$

$C_a = \text{Coeficiente de arrastre para la válvula de impulso}$

$A_v = \text{Área de la sección transversal de la válvula (m}^2\text{)}$

²⁰ ROBERT L MOOTT. Mecánica de Fluidos Aplicada.

²¹ International Development Research Centre (IDRC).

$H_s = \text{Altura de suministro (m)}$

$M = \text{Sumatoria de pérdidas totales (m)}$

$\rho = \text{Densidad de agua a 20 Grados Celsius } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right)$

2.2.13.24. Diseño de la válvula de aire (Respiradero)

El diseño de la válvula de aire en realidad es muy sencillo, pero con una función de suma importancia en el funcionamiento del ariete. La misión respiradero es ingresar pequeñas burbujas de aire en cada ciclo del golpe para mantener aire en la cámara, ya que el aire acumulado en la cámara es expulsado lentamente junto con el agua bombeada.

El respiradero debe ser sigilosamente calibrado de tal manera que tenga la capacidad de descargar un pequeño hilo de agua en cada golpe de compresión, cabe mencionar que si el respiradero es exageradamente extenso, la cámara se llenara de aire lo cual no es correcto.

Como podemos observar en la figura N° 32 el respiradero meramente es un orificio que se lo realiza con una broca pequeña, este orificio es prácticamente taponado por un broche el cual es accionado debido a los cambios de presión formados por los golpeteos de la bomba. Este respiradero va ubicado en el cuerpo del ariete debajo de la válvula de descarga.

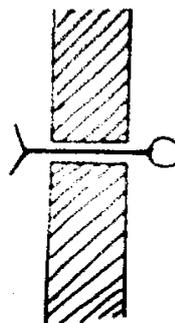


Figura 32. Válvula de aire simple con pasador.

Fuente: Elaboración propia.

Especialistas en tema recomiendan que el orificio debe tener entre uno a dos milímetros de diámetro.

2.2.13.25. Diseño de la cámara de aire

La cámara de aire está entre los componentes más importantes que forma la bomba de ariete, esta se encuentra ubicada por encima de la válvula de descarga, como función tiene amortiguar las ondas de presión, las mismas que comprimen el aire de su interior, permitiendo un chorro más constante en la salida de la tubería de descarga. Dentro de la cámara de aire se producen dos fases, la primera se conoce con el nombre de fase de sobrepresión y ocurre en el instante que se abre la válvula de descarga y la cámara de aire recibe una cantidad de agua, comprimiendo el aire en el interior, la segunda se la conoce como fase de depresión y esta ocurre una vez cese la onda de presión, es ahí cuando el aire inicialmente comprimido se expande cediendo cierta cantidad de agua que ingresó en la fase anterior, la misma que es expulsada de manera casi constante por la tubería de descarga.

2.2.13.26. Capacidad de la cámara de aire

Una manera sencilla de calcular o establecer las dimensiones de la cámara de aire es hacer uso de la siguiente premisa.

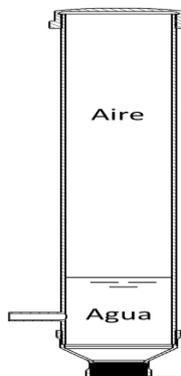


Figura 33. Cámara de Aire
Fuente: Elaboración propia

El volumen de agua contenida en la tubería de descarga debe ser igual al volumen de la cámara, (T.D. Jeffery; Hydraulic Ram Pumps. A guide to ram pump water supply systems. ITDG Publishing. London 1 992).

Para calcular el volumen del agua contenida en la tubería de descarga se hará uso de la siguiente ecuación.

$$V_{te} = \frac{\pi \times d^2}{4} \times H_d \quad \text{Ecuación } \dots \dots \dots (37)$$

Dónde:

V_{te} = Volumen de agua contenida en la tubería de descarga (m³)

d = Diámetro interno de la tubería de descarga (m)

H_d = Altura de descarga (m)

Como se mencionó anteriormente el volumen total de la cámara de aire debe ser igual al volumen de la tubería de descarga, entonces se tiene:

$$V_{te} = V_{ca} \quad \text{Ecuación } \dots \dots \dots (38)$$

Dónde:

V_{ca} = Volumen total de la cámara de aire (m³)

Si se desea saber la altura de la cámara de aire se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$V_{ca} = \frac{\pi \times (D_c)^2}{4} \times h_{ca}$$

$$h_{ca} = \frac{V_{ca} \times 4}{\pi \times (D_c)^2} \quad \text{Ecuación } \dots \dots \dots (39)$$

Dónde:

V_{ca} = Volumen total de la cámara de aire (m³)

D_c = Diámetro interno de la cámara de aire (m)

$hca = \text{Altura de la cámara de aire (m)}$

2.2.13.27. Presión mínima y máxima en la cámara de aire

La presión mínima en el interior de la cámara de aire se produce cuando la válvula de descarga se encuentra cerrada, por lo que el aire contenido en la cámara soporta solo la presión ejercida por el agua que se encuentra en la tubería de descarga ver figura N° 34.

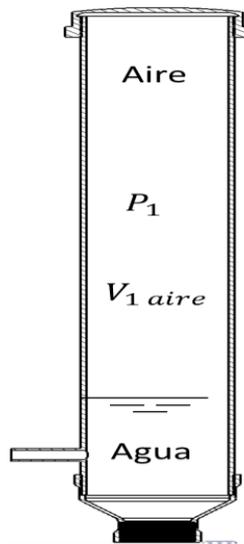


Figura 34. Presión mínima válvula de entrada serrada.

Fuente: Elaboración propia

Entonces para determinar la presión mínima en la cámara de aire bastaría saber la altura de la columna de agua (Hd) y multiplicarla por el peso específico de la misma, ver ecuación (40).

$$P_1 = Hd \times \gamma \quad \text{Ecuación (40)}$$

Dónde:

$P_1 = \text{Presión mínima (Pa)}$

$Hd = \text{Altura de descarga (m)}$

$\gamma = \text{Peso específico del agua } \left(\frac{N}{m^3} \right)$

Para calcular el volumen de agua que la bomba entrega por ciclo se hace uso de la siguiente expresión matemática.

$$V_{ciclo} = \frac{q}{f} \quad \text{Ecuación (41)}$$

Dónde:

V_{ciclo} = Volumen de agua que la bomba descarga por ciclo (m^3)

q = Caudal de descarga $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

f = Golpes por minuto del Ariete $\left(\frac{ciclo}{min}\right)$

2.2.13.28. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento

El dimensionamiento del tanque de almacenamiento es de vital importancia ya que es donde se almacenará el agua para irrigar las tierras eriazas.

Otro parámetro que no se debe dejar pasar por alto es el tiempo de funcionamiento del ariete, ya que de este depende el volumen (capacidad) de dicho tanque.

Aspectos constructivos.- Para su diseño y construcción del tanque de almacenamiento tenemos que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- a. Ubicación
- b. Forma
- c. Entrada de agua
- d. Tanque

2.3. Marco conceptual

- a) **Altura de Aspiración:** Se denomina altura de aspiración al trayecto vertical efectivo entre el nivel del agua tomada y el eje de la bomba.

- b) **Altura de Impulsión:** Se denomina altura de impulso al trayecto vertical entre el eje de la bomba y la superficie del agua el depósito de descarga.
- c) **Bomba:** Se le denomina bomba al sistema mecánico que impulsa el agua añadiendo energía cinética al fluido tomado desde una fuente, arroyo, río, etc. a través de un ducto hacia una altura superior del captado.
- d) **Aguas Superficiales:** Llevan la denominación de aguas superficiales toda el agua expuesta al medio ambiente como por ejemplo el agua de los ríos, lagos, depósitos, estanques, charcos, arroyos, represas, mares, estuarios, etc. y todos los manantiales, pozos u otros recolectores directamente influenciados por aguas naturales.
- e) **Campo de Riego:** Se consideran como campos de riego a las superficies terrestres que reciben más agua que la de la lluvia durante el tiempo de avenidas, mediante riegos artificiales como son los riegos tecnificados, o por riegos a gravedad que el ser humano realiza.
- f) **Caudal:** se denomina caudal a la cantidad (volumen) de fluido que pasa por un punto conducido por un ducto de una sección en un determinado tiempo. La unidad de medida es m^3/s .
- g) **Golpe de Ariete:** Es un fenómeno físico muy conocido en la hidráulica, se denomina golpe de ariete a las ondas presión oscilante que se producen cuando se cierra bruscamente una válvula de control. Bajo condiciones extremas, como efecto esta oscilación hace que los ductos vibren o producen ruidos retumbadores, y en casos extremos el colapso de los ductos.
- h) **Llave de Paso:** Dispositivo para regular el paso de un fluido, ya sea líquido o gaseoso, por un conducto.

- i) **Riego por gravedad:** Dotación o Aplicación de agua dejándola escurrir libremente en cabeza de terrenos de regadío ya sea por explanación o por surcos.
- j) **Potencia Hidráulica:** Es la fuerza que se traduce en la potencia que necesita la bomba para elevar fluido a una altura mayor.
- k) **Capacidad Hidráulica:** La capacidad hidráulica de una instalación concierne a la cantidad de fluido o caudal que ésta es capaz de entregar a con una determinada presión para una aplicación deseada. La misma que depende del tamaño del registrador, de la dimensión de tubería empleada y de la presión ejercida por la presa, bomba o cualquier fuente de captación de agua.
- l) **Presión:** Es la magnitud física proyectada en una fuerza en dirección perpendicular relacionada por unidad de área.
- m) **Tierras eriazas:** son las tierras que no se pueden aprovechar para la agricultura por falta de agua, a las que se aplica el principio general de que pertenecen al Estado.
- n) **Tubo de PVC:** Es el tipo de tubería comúnmente utilizado debido a que es más económico a comparación de un tubo de fierro galvanizado y más duro en comparación con el tubo de polietileno. Generalmente, es de color blanco o gris.
- o) **Tubo de Polietileno:** El polietileno es un tubo de color negro, una de sus características es que es flexible, es por ello que gana popularidad su uso en áreas susceptibles a congelamiento durante el invierno. Para su unión es necesario utilizar abrazaderas, aunque hoy en día se hace uso de la termo fusión y la electro fusión.

- p) **Válvula:** Dispositivo que abre o cierra el paso de un fluido por un conducto en una máquina, aparato u otro elemento. A pesar de que hay muchos tipos de válvulas en el agro se las clasifica en dos familias, las válvulas de cierre y las de riego.
- q) **Válvula Check:** es un tipo de válvula con un mecanismo que permite al fluido fluir en una dirección pero cierra automáticamente para no permitir el contraflujo (retorno del fluido).
- r) **Ciclos Agrícolas.** Un ciclo agrícola comienza con la siembra del producto y termina con la cosecha, estos ciclos muchas veces se traslapan es decir todavía no termina un ciclo para empezar otro, esto dependerá del producto y su periodo de vegetación que tenga.
- s) **Dosis de Riego:** Se denomina dosis de riego a la cantidad de agua necesaria que se aplica por unidad de superficie a una planta en cada ciclo de riego.
- t) **Riego por Aspersión:** se denomina así a la distribución de agua por sistemas a presión por medio de una serie de ramales de repartición por los cuales es aspergeada a la atmosfera a través de mecanismos diseñados para esta tarea.
- u) **Riego por Goteo:** Aplicación del agua en pequeñas cantidades a través de orificios o goteros, en que la velocidad de expulsión de agua es muy pequeña, este sistema reduce el gasto de agua, el caudal gastado es de aproximadamente 16 l, en cada hora.

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

En el presente trabajo de investigación se va a utilizar el tipo cuantitativa, debido a que se utilizara magnitudes numéricas que serán tratadas mediante herramientas del campo de la estadística, además los datos analizados siempre serán cuantificables para saber el resultado del problema planteado en relación a la hipótesis propuesta, al mismo tiempo está orientada a la necesidad y busca realizar procedimientos, acciones o artefactos y desarrollar conocimientos que pueden ser aplicables a solucionar problemas prácticos.

3.2. Diseño de investigación

Es una investigación de tipo descriptivo porque lo que se busca únicamente describir situaciones o acontecimientos a través de la investigación, en la cual se investigara y manipulara una o más variables, también permitirá controlar y medir cualquier cambio en otras variables.

3.3. Población y muestra

En este caso no se trabajara con población ni muestra, debido a la naturaleza de nuestra investigación que no se requiere de aplicar cuestionarios o recolectar información de una población determinada.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Cálculos de diseño.

4.1.1.1. Altura de entrega.

Para determinar este parámetro se tuvo la necesidad de llevar a campo un técnico especialista en topografía, para determinar con precisión la altura de descarga e identificar las coordenadas exactas en que estará ubicado el tanque de recepción.

(Ver Apéndice A).

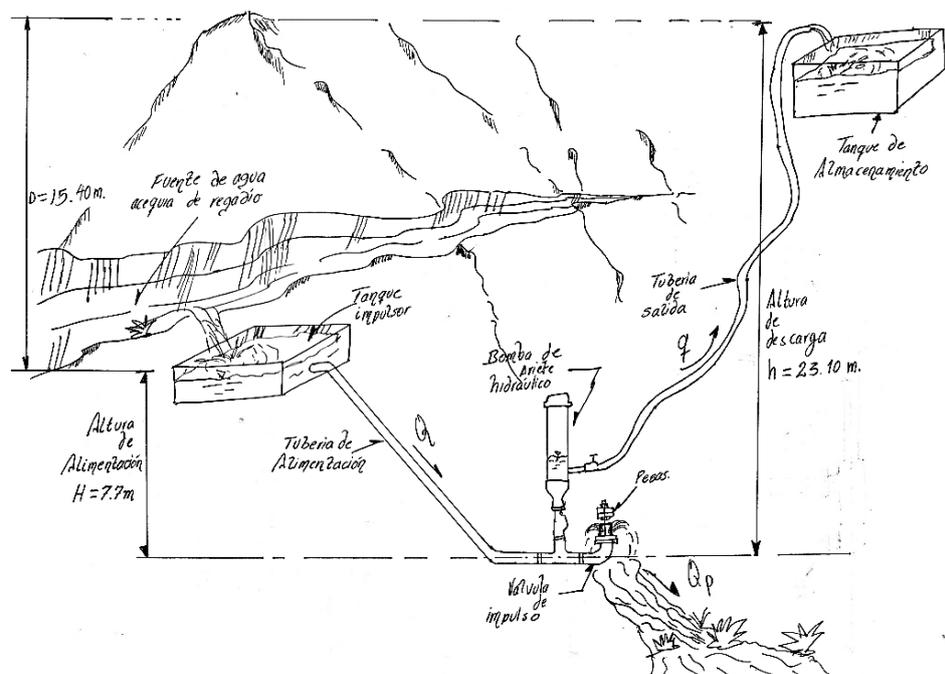


Figura 35. Instalación de los componentes de la bomba de ariete.
Fuente: Elaboración propia.

La altura indicada por el especialista desde la acequia de regadío hasta el pico más alto del cerro es de 15,39 m. \approx 15,40 m. Como la bomba estará ubicada 7,70 m debajo de la acequia la altura de descarga o entrega de la bomba será de 23,09 m. Estos datos también se ilustran en la figura N° 35.

$$H_d = 23.10 \text{ m}$$

4.1.1.2. Cálculo de la altura de suministro

Para el siguiente cálculo se hará uso de la ecuación (05)

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

Dónde:

$$H_d = 23,10 \text{ m}$$

Remplazando en ecuación (05) se tiene:

$$H_s = \frac{1}{3} \times 23,10 \text{ m}$$

$$H_s = 7,70 \text{ m}$$

4.1.1.3. Elección de la tubería de suministro

Para determinar el siguiente parámetro se hará uso de la ecuación (06)

$$\frac{L}{D} = 150 \text{ a } 1\ 000$$

Analizando la figura N° 36.

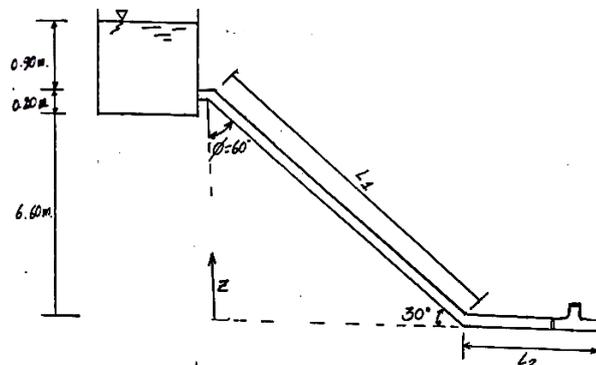


Figura 36. Medidas de instalación.
Fuente: Elaboración propia.

Al analizar la figura N° 36 se observa un triángulo rectángulo, por trigonometría se tiene:

$$\cos(60) = \frac{6,8}{L_1}$$

Despejando la variable L_1

$$L_1 = \frac{6,8}{\cos(60)}$$

$$L_1 = 13,60 \text{ m.}$$

Antes de Hacer uso de la ecuación (06), tomaré un valor dentro del parámetro en este caso será 300, por otro lado se asume una valor para $L_2 = 1,4 \text{ m}$ con estos valores determinados se procede a remplazar en dicha ecuación.

$$D = \frac{L_1 + L_2}{150 \text{ a } 1\ 000}$$

Dónde:

$$L_1 = 13,60 \text{ m}$$

$$L_2 = 1,4 \text{ m}$$

Remplazando valores se tiene:

$$D = \frac{13,6 + 1,4}{300}$$

$$D = \frac{15,00 \text{ m}}{300}$$

$$D = 0,05\text{m} \approx 2\text{in}$$

Como ya se mencionó en las bases teóricas la bomba de ariete trabaja complacidamente si la relación de longitud (L) de la tubería con su respectivo diámetro (D), está entre los limites $150 \leq L/D \leq 1\ 000$, fuera de este rango la operación del ariete puede verse afectado notoriamente.

Entonces se procede a dicha comparación.

$$150 \leq \frac{L}{D} \leq 1\ 000$$

$$150 \leq \frac{15,00}{0,05} \leq 1\ 000$$

$$150 \leq 300 \leq 1\ 000$$

Como se puede observar la relación $L/D = 300$ se encuentra dentro de los límites establecidos. Por lo tanto la tubería de suministro tendrá un diámetro de 2 in (Diámetro Nominal).

Del catálogo de Aceros Arequipa optare por una tubería de 2 in (pulgadas) de diámetro nominal, 60,3 mm de diámetro exterior, 3,2 mm de espesor y con un peso de 4,49 kg/m de la serie estándar clase S. (ver Apéndice B).

En la figura 37 se aprecia la sección transversal de la tubería.

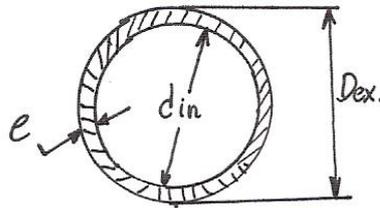


Figura 37. Sección transversal de la tubería.

Fuente: Elaboración propia.

Datos:

$$D_{ex} = 60,3\ mm$$

$$e = 3,2\ mm$$

Analizando la figura N° 37 se tiene:

$$D_{ex} = d_{in} + 2(e)$$

$$d_{in} = D_{ex} - 2(e)$$

$$d_{in} = 60,3 - 2(3,2)$$

$$d_{in} = 53,9\ mm$$

4.1.1.4. Elección de la tubería de entrega

Como ya se mencionó en el capítulo anterior el diámetro para la tubería de tubería de entrega normalmente se define como la mitad del diámetro de la tubería de suministro.

$$d = \frac{D}{2}$$

$$d = \frac{2,00 \text{ in}}{2}$$

$$d = 1,00 \text{ in}$$

Se tomará un diámetro menor debido a que al haber realizados los cálculos en primera instancia, la cámara de aire salía demasiado grande por este motivo se optó por seleccionar un diámetro menor.

Del catálogo JORVEX tuberías de HDPE optaré por una tubería del código TPA018 con un diámetro nominal de 3/4 in, 26,67 mm de diámetro exterior, y 2,97 mm de espesor. (Ver Apéndice C).

$$d = \frac{3}{4} \text{ in}$$

4.1.1.5. Selección y diseño de la bomba

4.1.1.5.1. Cuerpo del ariete

El cuerpo del ariete debe ser apto para resistir las sobrepresiones provocadas por el golpe de ariete, en este caso el cuerpo está compuesto por una Tee y un codo de 90° x 2,00 in, por tanto el diámetro en el interior del cuerpo del ariete es de 2,00 in lo que equivale a 50,8 mm.

$$d_{ca} = 50,8 \text{ mm}$$

4.1.1.6. Diseño de la válvula de impulso

4.1.1.6.1. Diámetro del pie de la válvula de impulso

Para determinar las dimensiones del pie de la válvula hay que considerar el espacio físico que se tiene en el cuerpo de la bomba, el mismo que tiene diámetro de 50,8 mm en base a ello el diámetro del pie de la válvula de impulso será 44 mm, para contar con el espacio necesario para el movimiento longitudinal de la misma.

$$d_v = 44 \text{ mm}$$

4.1.1.6.2. Cálculo del orificio del asiento de la válvula

Para el cálculo del diámetro del orificio de asiento de la válvula se usará la ecuación (24)

$$d_v = 1,15 \times d_0$$

si $d_v = 44 \text{ mm}$

$$d_0 = \frac{d_v}{1,15}$$

$$d_0 = \frac{(44 \times 10^{-3})m}{1,15}$$

$$d_0 = 0,038 \text{ m}$$

4.1.1.6.3. Cálculo del espesor del pie de la válvula

Para el cálculo de este parámetro se remplazara valores en la ecuación (25)

$$e_{vi} = 0,14 \times d_0$$

$$e_{vi} = 0,14 \times 0,038 \text{ m}$$

$$e_{vi} = 5,32 \times 10^{-3} \text{ m}$$

4.1.1.6.4. Determinación del Diámetro del vástago de la válvula de impulso

Para determinar el diámetro del vástago se hará uso de la ecuación (26)

$$d_{vs} = 0,12 \times d_0 + 10$$

$$d_{vs} = 0,12 \times 38 \text{ mm} + 10$$

$$d_{vs} = 14,56 \text{ mm}$$

El diámetro calculado es para efectos de diseño, para la selección del diámetro del vástago usaré diámetros comerciales.

Usando el catálogo de productos de POLIMETALES S.A.C. ACEROS INOXIDABLES, ESPECIALES Y OTROS ACEROS, optaré por una barra redonda de acero inoxidable de 15,0 mm de diámetro (Ver Apéndice D).

$$d_{vs} = 15 \text{ mm}$$

4.1.1.6.5. Longitud del vástago

La longitud del vástago será de 200 mm, con el fin de tener una geometría suficiente que permitirá albergar las pesas, tuercas, contratueras y facilitar la variación de la carrera.

$$l_{vs} = 200 \text{ mm}$$

4.1.1.7. Cálculo del caudal de entrega

Para calcular este parámetro se utilizara la ecuación (08)

$$q = \frac{Hs \times D^2 \times u_c \times \pi \times C_d}{10 \times Hd}$$

Para utilizar esta ecuación se tendrá que determinar la velocidad de cierre de la válvula de impulso (u_c), y el coeficiente de descarga (C_d).

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

Para el cálculo la velocidad con que se cierra la válvula de impulso se hará uso de la ecuación (09).

$$u_c = 0,135 \times C_{vi}$$

4.1.1.9. Cálculo de la carrera de la válvula de impulso

Según STRANEO-CONSORTI, para válvulas de asiento plano la carrera queda limitada al 25-33% del diámetro de la válvula, para ello se hará uso de la ecuación número (27).

$$C_{vi} = (25 - 33\%) \times d_v$$

Tomando un valor de 32% dentro del rango establecido se tiene:

$$\%_{media} = 32 \%$$

$$C_{vi} = 0,32 \times 44 \text{ mm}$$

$$C_{vi} = 14,08 \text{ mm}$$

En este caso es conveniente trabajar con valores enteros (carrera de 14 mm).

$$C_{vi} = 14 \text{ mm}$$

Remplazando C_{vi} en la ecuación (09) se tiene:

$$u_c = 0,135 \times C_{vi}$$

$$u_c = 0,135 \times 14 \text{ mm}$$

$$u_c = 1,89 \frac{m}{s}$$

4.1.1.10. Cálculo del coeficiente de descarga.

Para el cálculo del coeficiente de descarga se utilizara la ecuación (11); pero, antes de poder aplicarla se tiene que calcular el caudal libre que se desplaza desde el tanque de suministro hasta la salida del sistema por la válvula de impulso abierta.

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

4.1.1.11. Cálculo del caudal libre con la ecuación general de la energía

En la figura N° 38 se observa cómo el líquido fluye desde el tanque de suministro, pasa por el cuerpo del ariete y sale sin ninguna interrupción a la atmosfera por el punto dos.

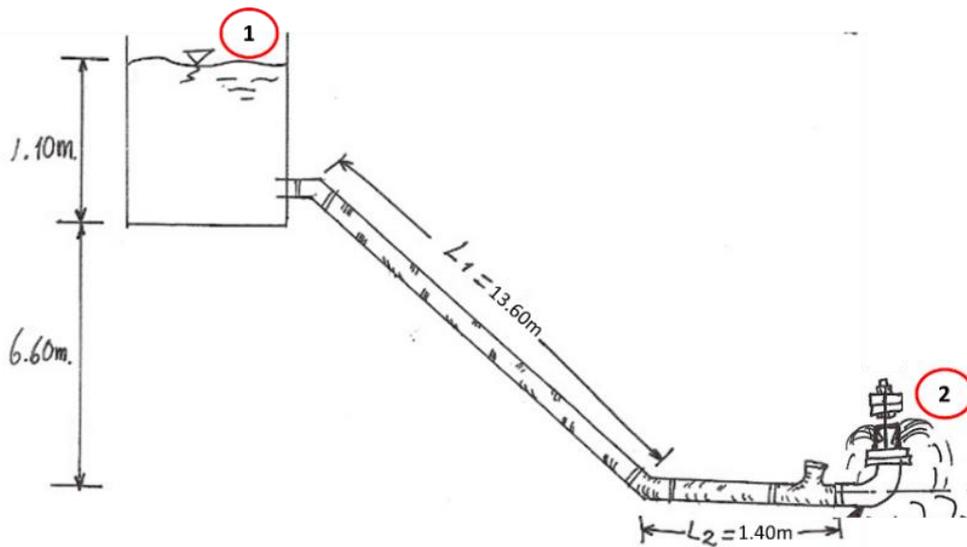


Figura 38. Válvula de impulso abierta.

Fuente: Elaboración propia

Ecuación de la energía (12)

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

Analizando la ecuación de la energía:

Los términos h_A y h_R son cero (0), debido a que en este sistema no se cuenta con dispositivos mecánicos, por tanto la ecuación general de la energía se reduce a:

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

La presión en los puntos uno (1) y dos (2) se anula ya que son iguales por estar expuestos a la atmósfera, la velocidad en el punto uno (1) es cero (0), debido a que el fluido está en reposo y por último Z_2 es cero (0) ya que está ubicado en el nivel de referencia.

$$\frac{0}{\gamma} + Z_1 + \frac{0^2}{2g} - h_L = \frac{0}{\gamma} + 0 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Entonces la ecuación de la energía se reduciría a:

$$Z_1 - h_L = \frac{V_2^2}{2g}$$

$$Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + h_L$$

Donde h_L es la sumatoria de las pérdidas mayores más las pérdidas menores.

$$Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + h_l + h_{Lm} \quad \text{Ecuación } \dots \dots \dots (\omega)$$

4.1.1.12. Cálculo de las pérdidas mayores

Para calcular las pérdidas mayores se hará uso de la ecuación (13)

$$h_l = f x \frac{L}{D} x \frac{V_2^2}{2g}$$

Para ello se cuenta con los siguientes valores calculados anteriormente.

$$L = 15,00 \text{ m}$$

$$D = 53,9 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Asumiendo un factor de fricción $f = 0,023$ se tiene:

$$h_L = 0,023 \times \left(\frac{15,00 \text{ m}}{53,90 \times 10^{-3} \text{ m}} \right) \times \frac{V_2^2}{2g}$$

$$h_L = 6,401 \times \left(\frac{V_2^2}{2g} \right)$$

4.1.1.13. Cálculo de pérdidas menores

Para determinar las pérdidas menores se hará uso de la ecuación (14)

$$h_{Lm} = \sum K \times \frac{V_2^2}{2g}$$

Donde **K** representa los coeficientes de resistencia de los accesorios instalados a lo largo de la tubería de suministro. Los mismos que se muestran en la figura N° 39.

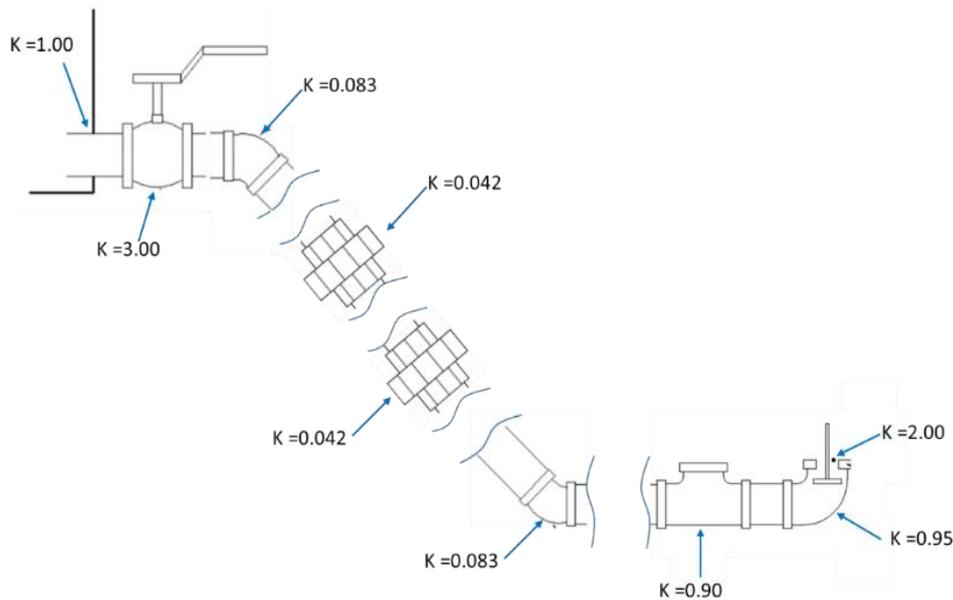


Figura 39. Coeficientes K para los distintos accesorios.

Fuente: Elaboración propia

Como no se encontró en tablas el valor de K para codos de 30° se hará uso de la extrapolación para obtener este valor.

Tabla 3

Coefficientes de fricción en codos.

VALORES DE "K" EN CODOS	
90°	0,95
45°	0,3
30°	K

Fuente: elaboración propia

Extrapolando se tiene:

$$\frac{k - 0,3}{30 - 45} = \frac{0,3 - 0,95}{45 - 90}$$

$$K = \left(\frac{0,3 - 0,95}{45 - 90} \right) \times (30 - 45) + 0,3$$

$$K = 0,083$$

Como se puede observar en la figura N° 39 en este sistema de suministro se cuenta con 6 accesorios y por ende seis coeficientes de resistencia, en el Apéndice E se puede observar los coeficientes de pérdidas para los distintos tipos de accesorios

$$\sum K = K_{Entrada} + K_{Válvula} + 2 \times K_{Codo\ 30^\circ} + 2 \times K_{Union} + K_{Tee} + K_{Codo\ 90^\circ} + K_{Cheke}$$

$$\sum K = 1,00 + 3,00 + 2(0,083) + 2(0,042) + 0,90 + 0,95 + 2,00$$

$$\sum K_{Menores} = 8,10$$

Remplazando en la ecuación (14), se tiene:

$$h_{Lm} = 8,10 \times \frac{V_2^2}{2g}$$

Este dato obtenido, se remplaza en la ecuación de la conservación de la energía $[\omega]$, y así podemos encontrar la velocidad en el punto dos.

$$Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + h_l + h_{tm}$$

$$Z_1 = 1 \times \frac{V_2^2}{2g} + 5,57 \times \frac{V_2^2}{2g} + 8,10 \times \frac{V_2^2}{2g}$$

$$Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} (1 + 6,401 + 8,10)$$

$$Z_1 = 15,501 \frac{V_2^2}{2g}$$

Sabiendo que: $Z_1 = H_s = 7,7 \text{ m}$ entonces se tiene:

$$V_2^2 = \frac{Z_1 \times 2g}{15,501}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{Z_1 \times 2g}{15,501}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{7,7 \times 2 \times 9,81}{15,501}}$$

$$V_2 = 3,122 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4.1.1.14. Cálculo del caudal libre

Por formula general se sabe que el caudal es velocidad por área.

$$Q_l = V_2 \times A_2$$

Dónde:

$$Q_l = \text{Caudal libre} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

$$V_2 = \text{Velocidad en el punto dos} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

$$A_2 = \text{Área en el punto dos} (\text{m}^2)$$

Para determinar el área dos, se tiene que hacer simplemente una diferencia entre el área del asiento de la válvula y el área del vástago de la válvula como indica la siguiente expresión matemática.

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

Dónde:

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

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

Cálculo de área de asiento de la válvula (A_{av})

$$A_{av} = \frac{\pi \times d_0^2}{4}$$

Sabiendo que $d_0 = 38 \text{ mm}$

$$A_{av} = \frac{\pi \times 0,038^2}{4}$$

$$A_{av} = 1,13 \times 10^{-3} \text{ (m}^2\text{)}$$

Cálculo del área del vástago de la válvula (A_{vi})

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

Sabiendo que el diámetro del vástago $d_{vi} = 15 \text{ mm}$, entonces se tiene:

$$A_{vi} = \frac{\pi \times (0,015)^2}{4}$$

$$A_{vi} = 1,77 \times 10^{-4} \text{ (m}^2\text{)}$$

Con estos valores calculados se puede determinar el A_2 .

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

$$A_2 = (1,134 \times 10^{-3}) - (1,767 \times 10^{-4})$$

$$A_2 = 9,573 \times 10^{-4} \text{ (m}^2\text{)}$$

Entonces el caudal libre es igual a:

$$Q_l = V_2 \times A_2$$

$$Q_l = 3,122 \frac{m}{s} \times (9,573 \times 10^{-4}) \text{ m}^2$$

$$Q_l = 2,989 \times 10^{-3} \left(\frac{m^3}{s} \right) \quad \text{ó} \quad 179,34 \left(\frac{l}{min} \right)$$

Cálculo del área de la tubería de suministro

$$A_t = \frac{\pi \times d_{in}^2}{4}$$

Sabiendo que $d_{in} = 53,9 \text{ mm}$ se tiene:

$$A_t = \frac{\pi \times (53,9 \times 10^{-3} \text{ m})^2}{4}$$

$$A_t = 2,282 \times 10^{-3} (\text{m}^2)$$

Con estos valores calculados se procede a determinar la velocidad con que fluye el líquido en la tubería de suministro.

$$V_t = \frac{Q_l}{A_t}$$

$$V_t = \frac{2,989 \times 10^{-3} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)}{2,282 \times 10^{-3} (\text{m}^2)}$$

$$V_t = 1,31 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cálculo de la velocidad del agua que circula por el interior del cuerpo del ariete, sabiendo que el diámetro interno es de 50,8 mm.

$$V_c = \frac{Q_l}{A_c} \quad \text{Ecuación} (\tau)$$

$V_c = \text{Velocidad del fluido en el cuerpo del ariete} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$

$A_c = \text{Área del cuerpo del ariete} (\text{m}^2)$

$$A_c = \frac{\pi \times (0,0508)^2}{4}$$

$$A_c = 2,027 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Reemplazando en ecuación $[\tau]$ se tiene:

$$V_c = \frac{2,989 \times 10^{-3}}{2,027 \times 10^{-3}}$$

$$V_c = 1,476 \frac{m}{s}$$

Para verificar si la suposición efectuada de un factor de fricción: $f=0.023$ se calculará mediante la ecuación (15); pero antes se debe calcular el número de Reynolds y la rugosidad relativa por medio de las ecuaciones (16) y (17) respectivamente.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{D}{\varepsilon} \right)} + \frac{5,74}{N_{RE}^{0,9}} \right) \right]^2}$$

4.1.1.15. Cálculo del número de Reynolds

Para el cálculo de este parámetro se hace uso de la ecuación N° (16)

$$N_{RE} = \frac{V \times D}{\nu}$$

La velocidad de flujo se considerará la velocidad en la tubería de admisión o suministro ($V_t = 1,31 \frac{m}{s}$) de la misma manera el diámetro ($D = 53,9 \text{ mm}$) y la viscosidad cinemática, esta última se obtiene del anexo F. ($\nu = 1,011 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$).

$$N_{RE} = \frac{V_t \times D}{\nu}$$

$$N_{RE} = \frac{1,31 \left(\frac{m}{s} \right) \times 0,0539(m)}{1,011 \times 10^{-6} \left(\frac{m^2}{s} \right)}$$

$$N_{RE} = 69\,840,752$$

$$N_{RE} = 7 \times 10^4$$

Este valor adimensional se compara con los siguientes parámetros;

$$N_{RE} < 2\ 000 \text{ Flujo Laminar}$$

$$N_{RE} > 4\ 000 \text{ Flujo Turbulento}$$

$$2\ 000 < N_{RE} < 4\ 000 \text{ Flujo Impredesible}$$

Como es mayor a 4 000 se considera flujo turbulento.

4.1.1.16. Cálculo de la rugosidad relativa

Para el cálculo de la rugosidad relativa se usará la ecuación (17).

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

El valor de épsilon rugosidad del material de la tubería ($\varepsilon = 1,5 \times 10^{-4} \text{ m}$) fue obtenido del Apéndice G.

$$R_r = \frac{0,0539}{1,50 \times 10^{-4}}$$

$$R_r = 359,333$$

4.1.1.17. Cálculo del factor de fricción

Remplazando valores en la ecuación (15)

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{D}{\varepsilon} \right)} + \frac{5,74}{N_{RE}^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{0,0539}{1,50 \times 10^{-4}} \right)} + \frac{5,74}{(7 \times 10^4)^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,027$$

Haciendo uso del diagrama de Moody se tiene un factor de fricción de 0,027, este se puede apreciar en el Apéndice H.

El factor asumido en primera instancia fue 0,023, el factor calculado es 0,027, como se observa la diferencia es mínima por lo tanto la consideración es aceptable.

4.1.1.18. Cálculo del coeficiente de descarga

Para determinar este parámetro usaré la ecuación (11)

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

Dónde:

$C_d =$ Coeficiente de descarga

$$Q_l = \text{Caudal libre} = 3,07 \times 10^{-3} \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

$$g = \text{Gravedad} = 9,81 \left(\frac{m}{s^2}\right)$$

$$\Delta h = \text{Diferencia de altura} = 7,7(m)$$

$$A_2 = \text{Área a la salida del fluido} = 9,57 \times 10^{-4} (m^2)$$

$$C_d = \frac{Q_l}{(\sqrt{2 \times g \times \Delta h})A_2}$$

$$C_d = \frac{3,07 \times 10^{-3}}{(\sqrt{2 \times 9,81 \times 7,7}) \times (9,57 \times 10^{-4})}$$

$$C_d = 0,254$$

Con este valor (C_d) y la velocidad de cierre de la válvula de impulso, se reemplaza en la ecuación (08); para encontrar el caudal que la bomba entrega.

$$q = \frac{H_s \times D^2 \times u_c \times \pi \times C_d}{10 \times H_d}$$

Para ello se cuenta con los siguientes valores calculados anteriormente.

$$H_s = \text{Altura de suministro} = 7,7 \text{ (m)}$$

$$D = \text{Diámetro de la tubería de suministro} = 0,0539 \text{ (m)}$$

$$u_c = \text{Velocidad de cierre de la válvula de impulso} = 1,89 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$$

$$C_d = \text{Coeficiente de descarga} = 0,254$$

$$H_d = \text{Altura de descarga} = 23,10 \text{ (m)}$$

Remplazando valores en la ecuación (08):

$$q = \frac{7,7 \text{ m} \times (0,0539 \text{ m})^2 \times 1,89 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \pi \times 0,254}{10 \times 23,10 \text{ m}}$$

$$q = 1,461 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \text{ó} \quad 8,766 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

4.1.1.19. Cálculo del caudal de suministro

Para el cálculo del caudal de suministro, se utilizara la ecuación (18), pero como ya se mencionó en el capítulo anterior no es un sistema ideal y por ende existen pérdidas, su rendimiento varia de 20 a 90% aproximadamente.

Para el rendimiento se hará uso de la tabla N° 2 y se calcula mediante la ecuación (20).

$$Q = \frac{q \times H_d}{\eta \times H_s}$$

$$Q = \frac{\left(1,5 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) \times 23,10 \text{ m}}{0,81 \times 7,7 \text{ m}}$$

$$Q = 5,411 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \text{ó} \quad 32,467 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

4.1.1.20. Cálculo del caudal desechado

El cálculo del caudal desechado se lo obtiene usando la ecuación (21)

$$Q = q + Q_p$$

De dónde:

$$Q_p = Q - q$$

$$Q_p = (5,411 \times 10^{-4}) \left(\frac{m^3}{s} \right) - (1,461 \times 10^{-4}) \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$Q_p = 3,95 \times 10^{-4} \left(\frac{m^3}{s} \right) \quad \text{ó} \quad 23,700 \left(\frac{l}{min} \right)$$

4.1.1.21. Cálculo de la potencia de la bomba

Para la determinación de la potencia de la bomba de ariete hidráulico se calcula haciendo uso de la ecuación (23).

$$P = \gamma \times q \times H_d$$

Para ello se tiene:

$$\gamma = \text{Peso específico del fluido} = 9\,810 \left(\frac{N}{m^3} \right)$$

$$q = \text{Caudal que la bomba entrega} = 1,461 \times 10^{-4} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$H_d = \text{Altura de descarga} = 23,10 \text{ (m)}$$

Remplazando valores en ecuación (23) se tiene:

$$P = 9\,810 \frac{N}{m^3} \times (1,461 \times 10^{-4}) \frac{m^3}{s} \times 23,10 \text{ m}$$

$$P = 33,11 \text{ W}$$

4.1.1.22. Cálculo del rendimiento volumétrico

Para la obtención de rendimiento volumétrico se hará uso de la ecuación (22).

$$n_v = \frac{q}{Q} \times 100$$

Sabiendo que:

$$q = \text{Caudal libre} = 8,776 \frac{l}{\text{min}}$$

$$Q = \text{Caudal de suministro} = 32,467 \frac{l}{\text{min}}$$

Reemplazando valores en la ecuación (22) tenemos:

$$n_v = \frac{8,776 \frac{l}{\text{min}}}{32,467 \frac{l}{\text{min}}} \times 100$$

$$n_v = 27,00 \%$$

4.1.1.23. Cálculo de fenómenos físicos involucrados en la bomba de ariete

4.1.1.23.1. Cálculo de la celeridad

La celeridad o también llamada velocidad de propagación de la onda se calcula haciendo uso de la ecuación (01).

$$C = \sqrt{\frac{\frac{Ev}{\rho}}{1 + \left(\frac{Ev}{E}\right)\left(\frac{D}{e}\right)}}$$

Dónde:

$$C = \text{Celeridad} \left(\frac{m}{s}\right)$$

Ev = Módulo de elasticidad volumétrico del agua (MPa)

$$\rho = \text{Densidad del fluido} \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

E = Módulo de elasticidad de Young de la tubería (GPa)

D = Diámetro interno del tubo (m)

e = Espesor de la pared del tubo (m)

Del Apéndice I tenemos:

$$E_v = 2\,197,44 \text{ MPa}$$

$$E = 206,00 \text{ GPa}$$

$$\rho = 998,58 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Remplazando valores en la (01) se tiene:

$$C = \sqrt{\frac{\frac{2\,197,44 \text{ MPa}}{998,58 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}{1 + \left(\frac{2\,197,44 \text{ MPa}}{206,00 \text{ GPa}}\right) \left(\frac{0,0539 \text{ m}}{0,0032 \text{ m}}\right)}}$$
$$C = 1\,365,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4.1.1.23.2. Cálculo de la sobrepresión existente dentro del ariete

Para el cálculo de la sobrepresión que se origina dentro del cuerpo de la bomba de ariete se determina haciendo uso de la ecuación (02).

$$p = \rho \times C \times Vc$$

Dónde:

p = Sobrepresión máxima (MPa)

C = Celeridad de propagación de onda = $1\,365,800 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$

Vc = Velocidad del fluido en cuerpo del ariete = $1,476 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$

ρ = Densidad del agua = $998,58 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$

Remplazando valores en (02) se tiene:

$$p = 998,58 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1\,365,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 1,476 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$p = 2\,013\,058,192 \frac{\text{kg} \times \text{m}}{\text{m}^2 \times \text{s}^2}$$

$$p = 2,013 \text{ MPa} \quad \text{o}' \quad 291,961 \text{ PSI}$$

Esta es la sobre presión que ejercerá el fluido en la tubería, si se la compara con la tabla del Apéndice J, se observa que el acero galvanizado tiene una presión de servicio de 290 a 585 PSI. Lo que quiere decir que este material si resistirá esta sobre presión.

4.1.1.24. Cálculo de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo del ariete

4.1.1.24.1. Fuerza localizada en el codo del ariete hidráulico

Para calcular las fuerzas aplicadas al codo del ariete hidráulico se hará uso de las ecuaciones N° (31 y 32).

$$F_{cX} = \rho \times Q \times \Delta \vec{V} = \rho \times Q \times (v_{2x} - v_{1x})$$

$$F_{cY} = \rho \times Q \times \Delta \vec{V} = \rho \times Q \times (v_{2y} - v_{1y})$$

Dónde:

F_c = Fuerza aplicada en el codo (N)

ρ = Densidad del fluido $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

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

$\Delta \vec{V}$ = Velocidad final menos inicial $\left(\frac{m}{s}\right)$

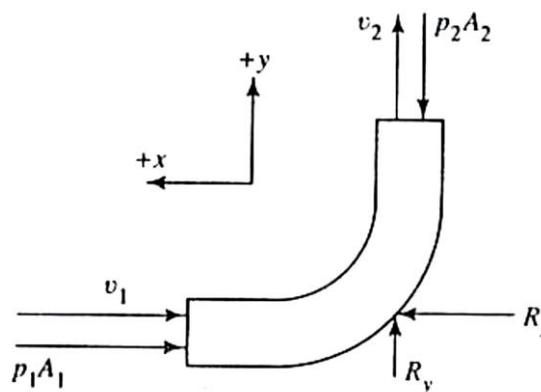


Figura 40. Diagrama de fuerzas del fluido en el codo

Fuente: Robert Moott mecánica de fluidos aplicada, (1 996)

Fuerza en el eje x usando ecuación (31).

$$F_{cx} = \rho \times Q \times \Delta \vec{V} = \rho \times Q \times (v_{2x} - v_{1x})$$

Sabiendo que:

$$v_{2x} = 0$$

$$v_{1x} = -v_1 = -V_c = 1,476 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$\rho = 998,29 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$Q_l = 2,989 \times 10^{-3} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

Remplazando en (31) se tiene:

$$F_{cx} = \rho \times Q_l \times (0 - (-V_c))$$

$$F_{cx} = \rho \times Q_l \times V_c$$

$$F_{cx} = 998,29 \frac{kg}{m^3} \times 2,989 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s} \times 1,476 \frac{m}{s}$$

$$F_{cx} = 4,404 N$$

Fuerza en el eje “y” usando ecuación (32).

$$F_{cy} = \rho \times Q \times \Delta \vec{V} = \rho \times Q \times (v_{2y} - v_{1y})$$

Sabiendo que:

$$v_{2y} = +v_2 = 3,122 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$v_{1y} = 0$$

$$\rho = 998,29 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$Q_l = 2,989 \times 10^{-3} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

Remplazando valores en (32):

$$F_c x = \rho \times Q_l \times (V_2 - 0)$$

$$F_c y = 998,29 \frac{Kg}{m^3} \times (2,989 \times 10^{-3}) \frac{m^3}{s} \times 3,122 \frac{m}{s}$$

$$F_c y = 9.316 N$$

4.1.1.24.2. Cálculo de la fuerza de arrastre para la válvula de impulso.

Para el cálculo de la fuerza de arrastre que eleva a la válvula de impulso, se aplica la ecuación (29).

$$F_a = C_a \times A_v \times \gamma \times \frac{V_c^2}{2g}$$

dónde:

F_a = Fuerza de arrastre sobre la válvula de impulso (N)

C_a = Coeficiente de arrastre

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

γ = Peso específico del agua ($\frac{N}{m^3}$)

V_c = Velocidad del flujo en el cuerpo del ariete ($\frac{m}{s}$)

g = Gravedad ($\frac{m}{s^2}$)

Coeficiente de arrastre

Para la obtención de este coeficiente aré uso del Apéndice K. de donde se tiene:

Coeficiente de arrastre $C_a = 1,17$

Cálculo de A_v .

$$A_v = \frac{\pi \times d_{vi}^2}{4}$$

$$A_v = \frac{\pi \times 0,044^2}{4}$$

$$A_v = 1,521 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Sabiendo que:

$$C_a = \text{Coeficiente de arrastre} = 1,17$$

$$A_v = \text{Área de la válvula de impulso} = 1,521 \times 10^{-3} \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\gamma = \text{Peso específico del agua} = 9\,810 \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^3}\right)$$

$$V_c = \text{Velocidad del flujo en el cuerpo del ariete} = 1,476 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$$

$$g = \text{Gravedad} = 9,81 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

Remplazando en la ecuación (29) se tiene:

$$F_a = 1,17 \times (1,521 \times 10^{-3} \text{ m}^2) \times 9\,810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \times \frac{\left(1,476 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$F_a = 1,938 \text{ N}$$

$$F_a = 0,198 \text{ kgf}$$

4.1.1.24.3. Cálculo de la fuerza boyante o flotante

Para el cálculo de la fuerza flotante se hará uso de la ecuación (33).

$$F_b = \gamma_f \times V_d$$

a) *Cálculo del volumen desplazado por el fluido (Vd)*

Para la determinación de volumen desplazado, se tiene que identificar los volúmenes (cuerpos) sumergidos en agua ubicados en la válvula de impulso. La figura 41 muestra los cuerpos sumergidos en agua.

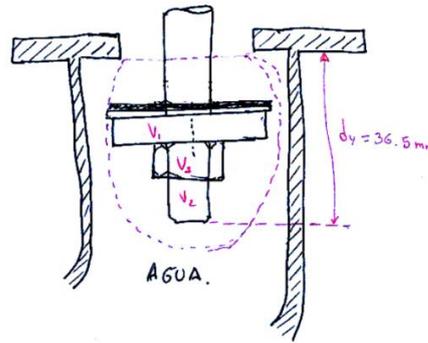


Figura 41. Volumen desplazado por el agua.

Fuente: Elaboración propia.

$$V_d = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_d = (6\,969,27 + 6\,450,08 + 3\,314,35) \text{ mm}^3$$

$$V_d = 16\,733,7 \text{ mm}^3$$

Remplazando valores en la ecuación (33) se tiene:

$$F_b = 9\,810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \times 1,673 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$F_b = 0,164 \text{ N}$$

$$F_b = 16,718 \text{ g}$$

En la figura N° 42 se muestra las fuerzas aplicadas en la válvula de impulso.

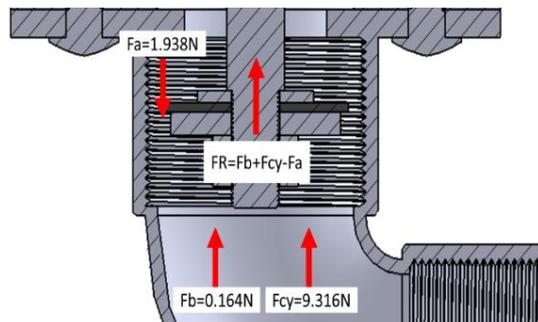


Figura 42. Fuerzas aplicadas en la válvula de impulso.

Fuente: Elaboración propia

De la figura N° 42 se tiene:

$$F_R = F_b + F_{cy} - F_a$$

$$F_R = 0,164 N + 9,316 N - 1,938 N$$

$$F_R = 7,542 N$$

$$F_R = 0,769 Kgf$$

Esta es la fuerza con la que el agua golpea a la válvula de impulso.

4.1.1.25. Cálculo del peso máximo para la válvula de impulso

Para el cálculo del peso para la válvula de impulso se usará la ecuación (36).

$$W_{max} = \frac{Ca \times Av \times \rho \times Hs}{M}$$

Sabiendo que:

$$Ca = \text{Coeficiente de arrastre} = 1,17$$

$$Av = \text{Área de la sección transversal de la válvula} = 0,00152(m^2)$$

$$Hs = \text{Altura de suministro} = 7,7 (m)$$

$$M = \text{Sumatoria de pérdidas totales} = 14,501$$

$$\rho = \text{Densidad de agua @ } 20^\circ = 998,29 \left(\frac{Kg}{m^3}\right)$$

Entonces el peso máximo para la válvula de impulso será:

$$W_{max} = \frac{1,17 \times 0,00152 m^2 \times 998,29 \frac{Kg}{m^3} \times 7,7 m}{14,501}$$

$$W_{max} = 0,943 kg$$

Este es el máximo peso para la válvula, lo que quiere decir que si se diseña con su máximo peso es probable que la válvula no cierre, por lo tanto para que el ariete funcione correctamente, el peso de la válvula debe de estar por debajo del

máximo peso calculado y dentro del siguiente intervalo.

$$0 < W_v < W_{max}$$

4.1.1.26. Cálculo del peso para la válvula de impulso

Para la construcción de las pesas para la válvula de impulso se maneja la norma técnica ASTM A-240.

Del catálogo de productos que ofrece la empresa POLIMETALES S.A.C. Aceros Inoxidables, especiales y otros aceros, se empleará una plancha de 5,0 x 1 219,0 x 2 438,0 mm, (ver Apéndice L).

- **Peso del pie de la válvula W_{pv} ,**

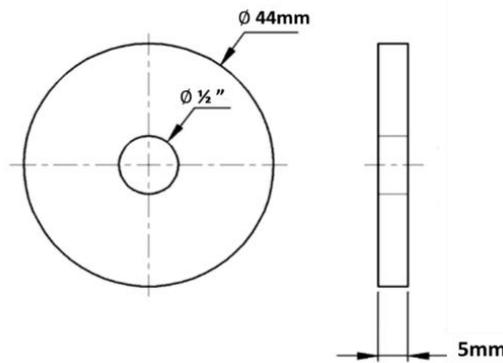


Figura 43. Especificaciones del pie de la válvula de impulso.

Fuente: Elaboración propia

Por física se sabe que el peso de un cuerpo se puede determinar conociendo su volumen y su densidad, la expresión matemática es:

$$W_{pv} = V_{pieza} \times \rho_{A-240} \quad \text{Ecuación } \dots \dots \dots (\sigma)$$

Como la pieza es circular con agujero centrado, el volumen se calcula mediante la expresión matemática siguiente:

$$V_{pieza} = \pi \times (R^2 - r^2) \times e$$

Remplazando en (σ) se tiene:

$$W_{pv} = \pi \times (R^2 - r^2) \times e \times \rho_{A-240} \quad \text{Ecuación } \dots \dots \dots (\tau)$$

De la figura 43 se tiene:

$$R = 0,022 \text{ m}$$

$$r = \frac{\left(\frac{1}{2} \text{ in}\right)}{2} = 0,00635 \text{ m}$$

$$e = 0,005 \text{ m}$$

$$\text{De tablas } \rho = 8\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Remplazando valores en (τ) se tiene:

$$W_{pv} = \pi[(0,022 \text{ m})^2 - (0,00635 \text{ m})^2] \times 0,005 \text{ m} \times 8\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$W_{pv} = 0,056 \text{ kg}$$

$$W_{pv} = 56 \text{ g}$$

- **Peso del vástago W_v .**

Como ya se mencionó anteriormente en la página N° 75 se seleccionó un vástago de 15,0 mm de diámetro Ver Apéndice D.

$$D = \text{diámetro del vástago} = 0,015 \text{ m}$$

$$L_v = \text{longitud del vástago} = 0,20 \text{ m}$$

$$\rho = \text{densidad del acero} = 8\,000 \text{ Kg/m}^3$$

Norma técnica ASTM A276

$$W_v = V_{\text{vástago}} \times \rho_{A-276}$$

$$W_v = \left(\frac{\pi \times D^2}{4}\right) \times l_v \times \rho_{A-276}$$

$$W_v = \left(\frac{\pi \times 0,015^2}{4}\right) \text{ m}^2 \times 0,20 \text{ m} \times 8\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$W_v = 0,283 \text{ kg}$$

$$W_v = 283 \text{ g}$$

- **Peso de las pesas W_p ,**

Del catálogo de productos que ofrece Aceros Arequipa se utilizará una plancha de 16,0 x 1 200 x 2 400 mm, (ver Apéndice M).

- **Pesa de 16mm de espesor.**

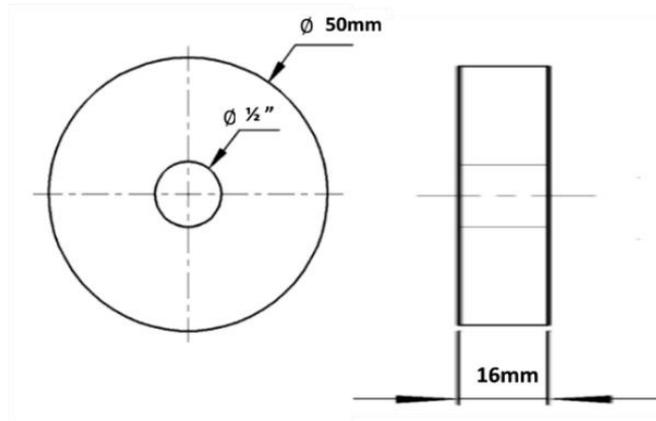


Figura 44. Especificaciones de la pesas de 16mm de espesor.

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en el caso anterior la ecuación es:

$$W_p = \pi(R^2 - r^2) \times e \times \rho_{A-36}$$

De la figura 44 se tiene:

$$R = 0,025m$$

$$r = \frac{\left(\frac{1}{2} in\right)}{2} = 0,00635 m$$

$$e = 0,016 m$$

$$De\ tablas\ \rho = 7\ 860 \frac{Kg}{m^3}$$

Remplazando valore se tiene:

$$W_p = \pi[(0,025 m)^2 - (0,00635 m)^2] \times 0,016 m \times 7\ 860 \frac{kg}{m^3}$$

$$W_p = 0,231 kg$$

$$W_p = 231 g$$

➤ **Pesa de 6mm de espesor.**

Del catálogo de productos que ofrece Aceros Arequipa se utilizará una plancha de 6,0 x 1 200 x 2 400 mm, (ver Apéndice M).

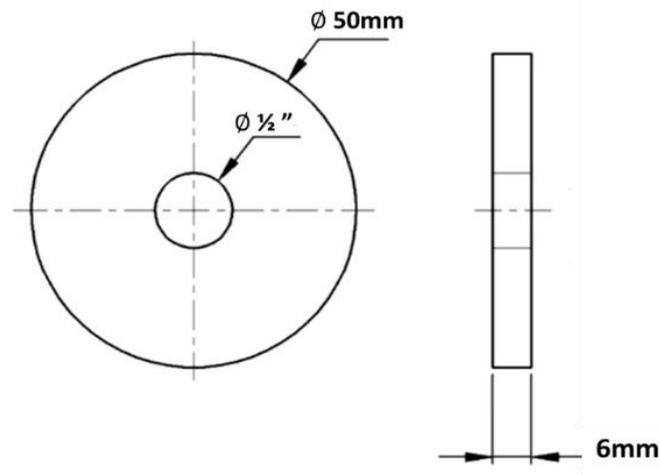


Figura 45. Especificaciones de la pesas de 6mm de espesor.

Fuente: Elaboración propia

La ecuacion para determinar el peso es:

$$W_p = \pi(R^2 - r^2) \times e \times \rho_{A-36}$$

De la figura 45 se tiene:

$$R = 0,025 \text{ m}$$

$$r = \frac{\left(\frac{1}{2} \text{ in}\right)}{2} = 0,00635 \text{ m}$$

$$e = 0,006 \text{ m}$$

$$\text{De tablas } \rho = 7\,860 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Remplazando valores se tiene:

$$W_p = \pi[(0,025 \text{ m})^2 - (0,00635 \text{ m})^2] \times 0,006 \text{ m} \times 7\,860 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$W_p = 0,087 \text{ kg}$$

$$W_p = 87 \text{ g}$$

Peso total WT_v . *Con 01 pesas de 16 milímetros y 04 pesas de 6 mm.* se tiene:

$$WT_{v\acute{a}lvula} = W_{pv} + W_v + W_p$$

$$WT_{v\acute{a}lvula} = 0,056 \text{ kg} + 0,283 \text{ kg} + (1 \times 0,231 \text{ kg} + 4 \times 0,087 \text{ kg})$$

$$WT_{v\acute{a}lvula} = 0,918 \text{ kg}$$

Aplicando el parámetro se tiene:

$$0 < W_v < W_{max}$$

$$0 < 0,918 \text{ kg} < 0,943 \text{ kg}$$

Como se observa el peso total de la válvula está dentro del rango de diseño.

4.1.1.27. Diseño de la válvula de aire (respiradero)

Como se mencionó en el capítulo anterior el respiradero es simplemente un agujero que se puede realizar con un taladro. Expertos en el tema recomiendan que la válvula de aire (respiradero) debe de tener un diámetro entre 1 y 2 milímetros. Para nuestra bomba se usara un diámetro de 2 mm.

$$D_{Respiradero} = 2,00 \text{ mm}$$

4.1.1.28. Diseño de la cámara de aire

Para el diseño de la cámara de aire se usara una tubería de fierro Galvanizado F°G° de 4 in de diámetro según la norma técnica ISO 65. (Ver Apéndice N).

4.1.1.29. Capacidad de la cámara de aire

Como se mencionó en el capítulo anterior para determinar la capacidad o dimensiones de la cámara de aire utilizará la ecuación (37).

Cabe resaltar que si se calcula el volumen de agua contenida en la tubería de entrega, se tendrá el volumen total de la cámara de aire.

- **Cálculo del volumen de agua contenida en la tubería de entrega.**

$$V_{te} = \frac{\pi \times d^2}{4} \times Hd$$

Dónde:

V_{te} = Volumen de agua contenida en la tubería de entrega (m^2)

d = Diámetro interno de la tubería de entrega (m)

Hd = Altura de entrega = 23,10 (m)

Del Apéndice C se tiene:

$d_{ext} = 26,67 \text{ mm}$

$e = 2,97 \text{ mm}$

Entonces:

$$d_{int} = 26,67 \text{ mm} - 2 \times 2,97 \text{ mm}$$

$$d_{int} = 20,73 \text{ mm} = 0,02073 \text{ m}$$

Remplazando valores en ecuación (37) se tiene:

$$V_{te} = \frac{\pi \times (0,02073 \text{ m})^2}{4} \times 23,10 \text{ m}$$

$$V_{te} = 7,8 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

- **Cálculo del volumen total de la cámara de aire (V_{ca}).**

Para ello se utilizará la expresión matemática (38).

$$V_{te} = V_{ca}$$

$$V_{ca} = 7,8 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

- **Cálculo de las dimensiones para la cámara.**

Como se considerará para la cámara de aire una tubería circular de 4in de

diámetro, corresponde la expresión matemática siguiente:

$$V_{ca} = \frac{\pi \times (D_c)^2}{4} \times h_{ca}$$

Dónde:

$$V_{ca} = \text{Volumen total de la cámara de aire} = 7,8 \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{)}$$

$$D_c = \text{Diámetro interno de la cámara de aire (m)}$$

$$h_{ca} = \text{Altura de la cámara de aire} = ? \text{ (m)}$$

Del Apéndice N se tiene:

$$D_{ext} = 114,3 \text{ mm}$$

$$e = 4,5 \text{ mm}$$

Entonces:

$$D_{int} = 114,3 \text{ mm} - 2 \times 4,5 \text{ mm}$$

$$d_{int} = 105,3 \text{ mm} = 0,1053 \text{ m}$$

Remplazando valores en ecuación (39)

$$h_{ca} = \frac{V_{ca} \times 4}{\pi \times (D_c)^2}$$

$$h_{ca} = \frac{7,8 \times 10^{-3} \times 4}{\pi \times (0,1053)^2}$$

$$h_{ca} = 0,9 \text{ m}$$

4.1.1.30. Cálculo de la presión mínima y máxima en la de aire

Como se mencionó la Presión mínima (P1) se obtiene en el instante que la válvula de descarga está cerrada, y se calcula con la ecuación (40).

$$P1 = H_d \times \gamma$$

Por física se sabe que:

$$\gamma = \rho \times g$$

Si la densidad (ρ) de agua @ 20° es =998,58 $\frac{Kg}{m^3}$ entonces:

$$\gamma = 998,58 \left(\frac{Kg}{m^3} \right) \times 9,81 \left(\frac{m}{s^2} \right)$$

$$\gamma = 9\,796,07 \frac{N}{m^3}$$

Remplazando en ecuación (40) se tiene:

$$P1 = 23,10 \, m \times 9\,796,07 \frac{N}{m^3}$$

$$P1 = 226,29 \, KPa \quad \acute{o} \quad 32,82 \, PSI$$

Para el cálculo del volumen inicial se considerará que la cámara de aire se encuentra en un 30% con líquido y el 70% de aire.

Como el volumen total del tanque es: $V_{ca} = 7,8 \times 10^{-3} \, m^3$

$$V_{agua} = 30\% \times V_{ca}$$

$$V_{agua} = 0,3 \times 7,8 \times 10^{-3} \, m^3$$

$$V_{agua} = 2,34 \times 10^{-3} \, m^3$$

por lo tanto el volumen de aire es :

$$V1_{aire} = V_{ca} - V_{agua}$$

Dónde:

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

V_{ca} = Volumen total de la cámara de aire (m^3)

V_{agua} = Volumen inicial de agua (m^3)

$$V1_{aire} = 7,8 \times 10^{-3} \, m^3 - 2,34 \times 10^{-3} \, m^3$$

$$V1_{aire} = 5,46 \times 10^{-3} \, m^3$$

Para determinar el V_2 , se tendrá que calcular la cantidad de agua que ingresa en cada golpeo del ariete a la cámara de aire.

Para ello se tiene la siguiente premisa:

“El golpe de Ariete funciona entre 60 y 90 golpes por minuto y cuanto más lento sea el funcionamiento, más agua utiliza y bombea”²²

Tomaré un promedio (f).

$$f = \frac{60 + 90}{2} \left(\frac{\text{ciclo}}{\text{min}} \right).$$

$$f = 75 \frac{\text{ciclos}}{\text{min}}$$

Con este valor se procede a utilizar la ecuación (41) para obtener el volumen de agua que la bomba entrega por ciclo:

$$V_{\text{ciclo}} = \frac{q}{f}$$

Dónde:

V_{ciclo} = Volumen de agua que la bomba entrega por ciclo (m^3)

q = Caudal de entrega $\left(\frac{m^3}{s} \right)$

f = Golpes por minuto del ariete $\left(\frac{\text{ciclo}}{\text{min}} \right)$

$$V_{\text{ciclo}} = \frac{1,5 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{75 \frac{\text{ciclos}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{min}}{60s}}$$

$$V_{\text{ciclo}} = 0,00012 \frac{m^3}{\text{ciclo}}$$

²² https://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_de_ariete

Como se observa el volumen de agua entregado por ciclo es $1.2 \times 10^{-4} \frac{m^3}{ciclo}$

Sabiendo que en cada golpe el volumen se comprime en la cámara entonces podemos decir que:

$$V_{2\text{aire}} = V_{1\text{aire}} - V_{\text{ciclo}}$$

Dónde:

$V_{2\text{aire}}$ = Volumen dos de aire en la cámara (m^3)

$V_{1\text{aire}}$ = Volumen inicial de aire el la cámara (m^3)

V_{ciclo} = Volumen de agua que la bomba entrega por ciclo (m^3)

$$V_{2\text{aire}} = 5,46 \times 10^{-3} m^3 - 1,2 \times 10^{-4} m^3$$

$$V_{2\text{aire}} = 5,34 \times 10^{-3} m^3$$

Ahora si podemos calcular la presión máxima con la ecuación (04)

$$P_1 \times V_{1\text{aire}} = P_2 \times V_{2\text{aire}}$$

Despejando P_2 tenemos:

$$P_2 = \frac{P_1 \times V_{1\text{aire}}}{V_{2\text{aire}}}$$

Remplazando valores:

$$P_2 = \frac{226,29 \text{ KPa} \times 5,46 \times 10^{-3} m^3}{5,34 \times 10^{-3} m^3}$$

$$P_2 = 231,38 \text{ KPa} \quad \text{ó} \quad 33,56 \text{ PSI}$$

4.1.1.31. Dimensionamiento del tanque de almacenamiento

En el presente diseño se consideraran los siguientes aspectos:

- Ubicación
- Forma
- Entrada de agua
- Tanque

- a) **Ubicación.-** El tanque de almacenamiento estará ubicado en la parte más alta del terreno, a 23.10 metros de altura desde la bomba de ariete, o 15.40 metros desde la red principal de regadío (acequia).
- b) **Forma.-** La forma del tanque de almacenamiento que diseñaré será de forma rectangular debido a las características del terreno y las propiedades físicas y mecánicas del tipo de suelo, las cuales nos permitirá una mayor resistencia.
- c) **Entrada de agua.-** El agua ingresará a nuestro tanque de almacenamiento por medio de una tubería HDP de 3/4 in de diámetro, con un caudal de 8,766 l/min
- d) **Tanque.-** Para garantizar una mayor durabilidad del tanque de almacenamiento y el mantenimiento sea más fácil sea hará de concreto armado.

4.1.1.31.1. Tamaño y capacidad

Para determinar el tamaño y la capacidad del tanque se tiene que partir de del caudal disponible (caudal suministrado por la bomba), y la cantidad de agua que necesita el cultivo (periodo de riego).

Para calcular la capacidad del tanque se tiene que tomar en cuenta los siguientes factores de los cuales dependerá el volumen total del reservorio.

- El ariete trabaja las 24 horas del día.
- El caudal suministrado es 8,766 l/min
- El tiempo de almacenamiento es 4 días

La ecuación a utilizar es:

$$V_t = q_s \times t \quad \text{Ecuación (\delta)}$$

Dónde:

$V_t = \text{Volumen del tanque (l x día)}$

$q_s = \text{Caudal suministrado por la bomba } \left(\frac{m^3}{\text{día}}\right)$

$t = \text{Tiempo de almacenamiento (día)}$

4.1.1.31.2. Cálculo del volumen del tanque.

si:

$$q = 8,766 \frac{l}{\text{min}}$$

$$t = 4 \text{ días}$$

El caudal en un día será:

$$q = 8,766 \frac{l}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \times \frac{24 \text{ hr}}{1 \text{ día}}$$

$$q_s = 12\,623,04 \frac{l}{\text{día}}$$

Remplazando en la ecuación [δ] se tiene:

$$V_t = q \times t$$

$$V_t = 12\,623,04 \frac{l}{\text{Día}} \times 4 \text{ día}$$

$$V_t = 50\,492,16 \text{ l}$$

Por tanto el volumen total del reservorio a diseñar será superior a:

$$V_t = 50\,492,16 \text{ l} \frac{0,001 m^3}{1 \text{ l}}$$

$$V_t = 50,492 \text{ m}^3$$

4.1.1.31.3. Cálculo de las dimensiones del tanque de almacenamiento

Como el reservorio será rectangular se tiene:

$$V_R = A_r \times L_r \times H_r \quad \text{Ecuación } \dots \dots \dots (\tau)$$

Dónde:

$V_R = \text{Volumen del reservorio (m}^3\text{)}$

$A_r = \text{Ancho del reservorio (m)}$

$L_r = \text{Largo del reservorio (m)}$

$H_r = \text{Altura del reservorio (m)}$

Tomando $A_r = 4,00 \text{ m}$, $L_r = 6,00 \text{ m}$ y $H_r = 1,80 \text{ m}$ y reemplazando en la ecuación $[\tau]$

se tiene:

$$V_R = 5 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 1,8 \text{ m}$$

$$V_R = 54,00 \text{ m}^3$$

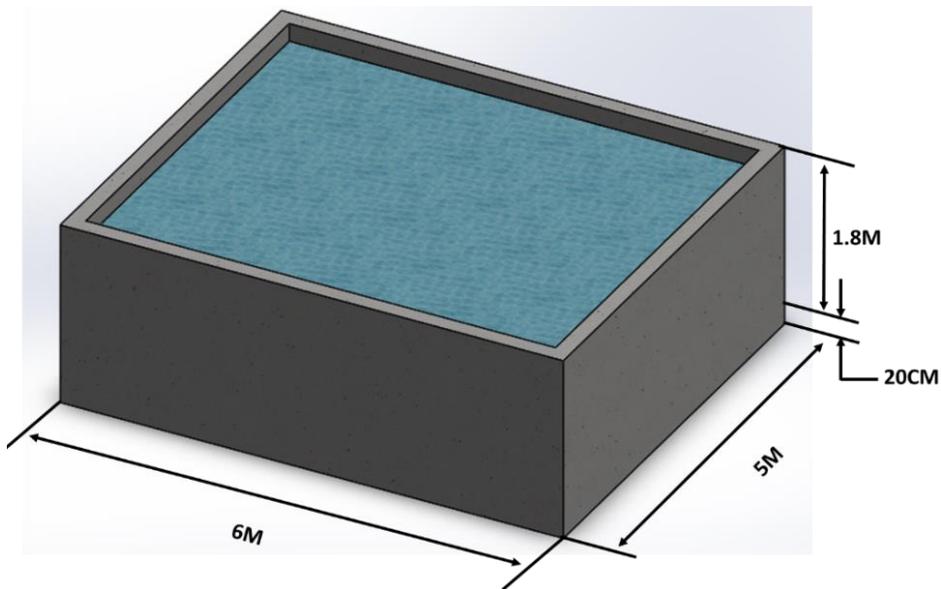


Figura 46. Dimensiones del tanque de almacenamiento.

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.32. Utilización del agua almacenada.

Para darle un aprovechamiento a las tierras eriazas las cuales constan de un área de $6\,159,9461 \text{ m}^2$. Se pretende irrigar con el sistema de riego tecnificado (sistema de

riego por goteo), ya este sistema permite optimizar el consumo y desperdicio del líquido elemento. Para ellos Se hizo una breve encuesta a los integrantes de la asociación de los posibles árboles frutales que se podría cultivar, las propuestas fueron:

- Damasco
- Durazno
- Uva

Se propuso estos tres frutos debidos a que la población (integrantes de la asociación) es muy pequeña (11 socios) además de que estos árboles tienen una mayor producción en el sector, los resultados se muestran en la tabla N° 4.

Tabla 4

Resultados de la encuesta a los pobladores.

ÁRBOL FRUTAL	PERSONAS
Damasco	3
Durazno	7
Vid	1
Total	11

Fuente: elaboración propia

Como se observa en el cuadro anterior los socios optaron por el cultivo de durazno, Con el tipo de cultivo definido solo queda investigar la cantidad de agua que necesita el plantón de durazno, el periodo de riego, entre otros parámetros que nos serán de necesidad.

Tomando como referencia trabajo de investigación realizado por el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria INIA (manual del durazno la planta y la cosecha).

Recomienda lo siguiente:

- El riego por goteo no recarga el suelo. Por lo tanto es importante comenzar la temporada de riego sin dejar que el suelo se seque.
- Por la misma causa que lo anterior, el reinicio del riego con posterioridad a una lluvia importante no debería dilatarse más de dos a cinco días, dependiendo de la magnitud de la lluvia, del tipo de suelo y la demanda atmosférica.
- Para cubrir la demanda total de agua en el 50 % de los años se precisan aproximadamente 680 mm, es decir $6800 \text{ m}^3/\text{ha}$
- El consumo máximo de un duraznero adulto es alrededor de 6 mm/día, por lo que regando 20 hr por día y con una eficiencia de riego del 80 % implica un caudal de 3750 l/hr por cada hectárea de cultivo. El diseño de los equipos de riego deberá hacerse en base a este caudal.

Como se observa en el último punto el caudal necesario es:

$$Q_n = 3\,750,00 \frac{l}{\text{hr} \times \text{ha}}$$

4.1.1.33. Verificación de la capacidad del tanque de almacenamiento

Una manera de verificar si la capacidad de nuestro tanque de almacenamiento cumple con las características necesarias para poder surtir de agua requerida por los plantones de durazno, es comparando el volumen necesario con el volumen almacenado en el tanque de almacenamiento.

$$V_t \geq V_n \quad (\emptyset)$$

Dónde:

$V_t = \text{Volumen almacenado en el tanque}$

$V_n = \text{Volumen necesario}$

Para ello se tiene los siguientes datos:

- **Área de regadío**

Del apéndice M, plano P-3 se tiene:

$$A_r = 6\,159,946\ m^2$$

- **Caudal necesario.**

$$Q_n = 3\,750,00 \frac{l}{hr \times ha}$$

Este dato es por cada hectárea de terreno en nuestro caso el área de regadío es 0,615995 ha. Por tanto:

$$Q_n = 3\,750,00 \left(\frac{l}{hr \times ha} \right) \times 0,615995 (ha)$$

$$Q_n = 2\,309,981 \left(\frac{l}{hr} \right)$$

- **Volumen de agua almacenada en un los cuatro días.**

$$V_t = 50\,492,16\ l$$

Cálculo del volumen necesario en 01 día.

$$V_n = 2\,309,981 \left(\frac{l}{hr} \right) \times 20 \left(\frac{hr}{1\ dia} \right)$$

$$V_n = 46\,199,625\ l$$

Remplazando valores en la ecuación (\emptyset) se tiene:

$$V_t \geq V_n \quad (\emptyset)$$

$$50\,492,16\ l \geq 46\,199,625\ l$$

Como se observa en la expresión anterior el volumen total almacenado por día es mayor al volumen necesario por día. Por tanto cumple con lo establecido. Lo

quiere decir que el tanque diseñado sí cumple con las características físicas necesarias para surtir de agua para la plantación de durazneros.

4.2. Contrastación de Hipótesis

4.2.1. Contrastación de la hipótesis general

Como hipótesis general se tiene: “el diseño propuesto de la bomba de ariete logrará cumplir con los requisitos de caudal y altura necesaria para surtir de agua para irrigar las tierras eriazas en la asociación San Miguel, 2016.” Como se demostró en el punto 4.1 del presente capítulo (cálculos de diseño), con una altura determinada se logra elevar al punto más alto del terreno, el caudal necesario para surtir de agua e irrigar toda el área disponible.

4.2.2. Contrastación de las hipótesis específicas

En la presente tesis se cuenta con dos hipótesis específicas.

- a) La primera trata de determinar si el caudal proporcionado por la bomba de ariete diseñada tendrá un valor superior a 2 l/s al culminar los cálculos de diseño y después de varias iteraciones de diseño me di cuenta que la bomba de ariete hidráulica no llega a este caudal (2 l/s), ya que no es muy eficiente, debido a que el caudal perdido (Q_p) es considerablemente alto.
- b) La segunda hipótesis trata de Investigar si la altura que proporcionará el diseño propuesto alcanzará un valor superior a 50 m. después de las investigaciones realizadas la bomba de ariete si logra elevar a más altura arriba de los 100 m de altura. Pero en nuestro caso la altura de elevación se determinó en el punto 4.1 del presente capítulo, el cual es 23,10 m.

4.3. Discusión de Resultados.

Los resultados obtenidos en el diseño son de acuerdo a la geografía del terreno, el diseño se realizó lo más óptimo de acuerdo a las características del lugar, el cual se puede observar en la tabla N° 5

Tabla 5

Resultados de los distintos cálculos de diseño.

DESCRIPCION	NOMEN GLATURA	CALCULO 1	CALCULO 2	CALCULO 3	CALCULO 4	CALCULO 5	U.M.
ALTURA DE ENTREGA	Hd	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	m
ALTURA DE SUMINISTRO	hs	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	m
LONGITUD DE LA TUBERIA	L	24	15	15	15	15	m
DIAMETRO DE LA TBRIA DE SUMINISTRO	D	2	1.5	3.0	2.0	2.0	in
DIAMETRO DEl ORIFICIO DEL ASIENTO DE LA VÁLVULA	d0	0.038	0.038	0.038	0.038	0.038	m
ESPESOR DEL PIE DE LA VÁLVULA	evi	0.0054	0.0054	0.0054	0.0053	0.0054	m
DIÁMETRO DEL VÁSTAGO DE LA VALVULA DE IMPULSO	dvs	14.591	14.591	14.591	14.560	14.591	mm
LONGITUD DEL VÁSTAGO	Lvs	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	mm
CARRERA DE LA VALVULA DE IMPULSO	Cvi	14.000	13.000	14.000	14.000	11.000	mm
VELOCIDAD DE CIERRE	Uc	1.890	1.755	1.890	1.890	1.485	m/s.
VELOCIDAD EN EL PUNTO 2	V2	2.792	2.962	3.367	3.122	3.122	m/s.
AREA DEL ASIENTO DE LA VALVULA	Aav	0.001134	0.001134	0.001134	0.001134	0.001134	m2
AREA DEL VÁSTAGO DE LA VALVULA	Avi	0.000177	0.000177	0.000177	0.000177	0.000177	m2
AREA EN EL PUNTO 2	A2	0.000957	0.000957	0.000957	0.000957	0.000957	m2
CAUDAL LIBRE	Ql	160.385	170.159	193.439	179.226	179.335	Lit/min.
VELOCIDAD DEL FLUIDO EN EL INTERIOR DE LA TBRIA DE SUMNSTR	Vt	1.172	1.999	0.615	1.309	1.310	m/s.
VELOCIDAD DEL FLUIDO EN EL INTERIOR DEL CUERPO DEL ARIETE	Vc	1.319	1.399	1.591	1.474	1.475	m/s.
NUMERO DE REYNOLDS	Nre	61906.00	83295.70	49258.27	69171.67	69220.29	-
FACTOR DE FRICCION	f	0.0231	0.0230	0.0229	0.0227	0.0227	-
COEFICIENTE DE DESARGA	Cd	0.227	0.241	0.274	0.254	0.254	-
CAUDAL DE ENTREGA	q	7.837	4.800	21.716	8.763	6.885	Lit/min.
CAUDAL DE SUMINISTRO	Q	29.111	17.778	80.431	32.456	25.500	Lit/min.
CAUDAL DESECHADO	Qp	21.274	12.978	58.715	23.693	18.615	Lit/min.
POTENCIA DE LA BOMBA	P	29.599	18.129	82.020	33.097	26.004	Watt\$
RENDIMIENTO VOLUMETRICO	nv	26.921	27.000	27.000	27.000	27.000	%
PESO MAXIMO PARA LA VALVULA DE IMPULSO	Wmax	0.706	0.794	1.027	0.882	0.882	Kgr.

Fuente: elaboración propia.

Como se muestra en la tabla N° 5, el cálculo se inició con una tubería de 24 m de longitud y 2,00 in de diámetro nominal, con una carrera para la válvula de impulso igual a 14,00 mm, con estos valores la bomba diseñada entrega un caudal de 7,837 l/min, el caudal necesario para que la bomba entre en funcionamiento es de 29,111 l/min, con un caudal perdido de 21,274 l/min, lo que da un rendimiento de 26,9 %, y una potencia de 29,6 Watts. El segundo cálculo se diseñó con una tubería de 15 m de longitud y 1 ½ in de diámetro, con una carrera para la válvula de 13 mm, en este diseño la bomba proporciona un caudal de 4,800 l/min, consume un caudal de 17,778 l/min, desperdicia un caudal de 12,978 l/min, con una potencia de

18,13Watts y un rendimiento volumétrico de 27%. Si se lo compara con el primer diseño el caudal que entrega la bomba es $\frac{3}{5}$ del caudal que entrega el primer diseño por tanto nos convendría el primero. El tercer cálculo realizado se hizo con una longitud igual a la anterior (15 m) pero con un diámetro de 3 in, y con una carrera para la válvula de impulso de 14 mm, este diseño proporciona un caudal de 21,716 l/min, el caudal necesario para que la bomba funcione es de 80,431 l/min, lo que indica que el caudal perdido es 58,715 l/min, con un rendimiento volumétrico de 27% y una potencia de 82,0 Watts. Si se lo compa con el primer diseño el caudal proporcionado por la bomba es superior pero el caudal perdido es más del doble del primero y el caudal necesario para el funcionamiento es de poco menos del triple por tanto queda descartado. Para el cuarto diseño se utilizó una tubería de 15,00 m de longitud con 2,00 in de diámetro nominal, una carrera para la válvula de impulso igual a 14,00 mm de longitud, con estos valores la bomba diseñada entrega un caudal de 8,763 l/min, el caudal necesario para que la bomba entre en funcionamiento es de 32,456 l/min, lo que quiere decir que el caudal desechado es de 23,693 l/min, lo que nos da un rendimiento volumétrico de 27,00% con una potencia de 33,097 Watts. Al compararlo con el primer diseño el caudal proporcionado por la bomba y el caudal de suministro es: $\frac{11}{9}$ y es $\frac{13}{4}$ respectivamente, más que el primer diseño por tanto queda descartado el primer diseño. En el quinto diseño (cálculo N°5), se empleó la misma tubería (L=15 m y Dn=2 in) pero se varió la carrera para la válvula de impulso, con estos valores la bomba proporciona un caudal de 6,885 l/min, necesita un caudal igual a 25,5 l/min, desperdiciando un caudal de 18,615 l/min, trabajando con un rendimiento volumétrico de 27% y una potencia de 26,0 Watts. Al compararlo con el cuarto

diseño se observa que el caudal brindado por el quinto diseño es menor, entonces queda descartado. Todos estos cálculos se aprecian con mayor detalle en la tabla N° 5, el diseño más óptimo y desarrollado detalle a detalle con todos los componentes se aprecia en el punto 4.1 del presente capítulo, y se complementa con los planos adjuntos. En el Apéndice M.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Primera. En este trabajo de investigación se diseñó una bomba de fácil construcción debido a que los materiales para su construcción se encuentran con facilidad en cualquier ferretería, además de ser una bomba ecológica (no consume ningún tipo de combustible ni energía eléctrica) evita la contaminación, para la mayoría de las personas dedicadas al diseño y transporte de fluidos, el golpe de ariete hidráulico es conocido como un fenómeno perjudicial, pero en esta tesis se aprovecha el perjuicio que provoca este fenómeno, utilizando varios accesorios y válvulas calibradas, la bomba diseñada consume un caudal de 32,467 l/min, aprovechando un salto de 7,7 m, logrando elevar un caudal de 8,766 l/min a una altura de 23,10 m, con una carrera para la válvula de impulso de 14 mm con 75 golpes/minuto. Con un rendimiento volumétrico de 27,00 %.

Segunda. A pesar de no tener un caudal de bombeo superior los 2 l/s (primer objetivo específico), y tener una eficiencia baja, el ariete hidráulico puede funcionar continuamente y satisfacer la demanda de agua que se requiere en el punto de consumo, al día la bomba proporciona un caudal de 12 623,04 l/día, lo que quiere decir que en cuatro días bombeará 50 492,16 l, por lo que el tanque de almacenamiento tendrá una capacidad mayor, el tanque de almacenamiento tiene la capacidad de almacenar 54 000,00 l.

Tercera. La bomba de ariete diseñada no logra elevar un valor superior a 50 m (segundo objetivo específico), sin embargo eleva 23,10 m siendo esta la parte más elevada del terreno, altura necesaria para surtir de agua para la irrigación de las tierras eriazas en la Asociación San Miguel, logrando de esta manera cumplir con el objetivo general.

5.2. Recomendaciones

Primera. Para lograr cumplir con el objetivo general de la tesis y optimizar el agua e irrigar las $6\,159,9461\text{ m}^2$ de terreno es recomendable utilizar riego tecnificado de preferencia a goteo debido a que este sistema permite optimizar al máximo las pérdidas por evo transpiración y evaporación o debido al viento en el caso de aspersión.

Segunda. Para lograr una altura de elevación superior a los 50 m de altura es necesario utilizar una bomba ariete hidráulico Multipulsor, la cual consta de tres válvulas de impulso que le dan una mayor fuerza de impulso a la bomba, esta bomba se aprecia en la figura 19 del segundo capítulo.

Tercera. La recomendación más importante, al poner en marcha la bomba de ariete desperdicia una cantidad de caudal en cada ciclo de impulso, el cual debe ser aprovechado en cultivos situados a un nivel inferior al de bombeo o puede ser empleado para la instalación de una bomba en serie, con la finalidad de aprovechar el caudal desechado por la primera.

Cuarta. Se debe diseñar una base para la bomba de tal manera que sirva para la sujeción de la misma ya que el golpeteo que se produce es fuerte, lo cual producirá que la bomba se deslice, o las vibraciones provoquen que vástago de la válvula se atasque, provocando una parada del equipo, así mismo debe recolectar el caudal desechado para posteriormente ser canalizado y reutilizarlo, este diseño se lo aprecia con mayor detalle en el apéndice M.

Quinta. Al momento de diseñar la válvula de impulso se debe considerar y garantizar que el desplazamiento longitudinal del vástago debe de estar libre de atascamientos y que sea lo suficientemente resistente para alojar las pesas que permitirán la calibración de la bomba.

Sexta. Se recomienda además de la válvula de aire (respiradero), se debe incorporar pelotas de tenis en la cámara, para mantener el colchón de aire, que funciona como impulsor del caudal suministrado por la bomba.

Séptima. Los materiales para su construcción deben ser de acero galvanizado o en acero inoxidable que comparados con el PVC son más resistente a los sobrepresiones que estará sometido, también para el acabado final de la bomba se debe recubrir con pintura anticorrosiva o electroestática con el fin de evitar la corrosión y así prolongar su vida útil de la misma.

Octava. El diseño del tanque de suministro debe contar con un desarenado previo al ingreso, así mismo el tanque debe contar con un sumidero para su mantenimiento y al ingreso de la tubería de suministro se debe colocar un filtro el cual evite el ingreso de impurezas al cuerpo del ariete, impurezas que pueden tapan la válvula de aire (respiradero). Para mayor detalle ver los planos adjuntos en el apéndice M.

Novena. Es necesario para el mantenimiento de la bomba colocar tres válvulas adicionales ubicadas de la siguiente manera:

- a) La primera una válvula de paso en la entrada del cuerpo del ariete, la que permitirá cortar el fluido para el mantenimiento respectivo.
- b) La segunda válvula de paso en la salida de la cámara de aire al inicio del ducto de descarga, que nos permitirá retirar la bomba o realizar labores de

mantenimiento sin que se desperdicie el volumen de agua que se encuentra en la tubería de descarga.

- c) Y la tercera una válvula anti retorno (Cheke) seguida de la segunda válvula la cual tendrá la misma función de la anterior pero esta entrara en funcionamiento automáticamente si la bomba deja de funcionar.

Décima. El dimensionamiento del tanque de recepción debe ser de mayor capacidad que el volumen bombeado, para así poder almacenar más agua de ser necesario, además deberá contar con un cerco perimétrico para evitar que algún animal caiga dentro del contenedor, también convendría contar con un techo que proporcione sombra y disminuya las pérdidas por evaporación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Tesis:

Acitores, F. (2012). *Estudio Teórico y Experimental de la Bomba de Ariete (Tesis de fin de carrera)*. Universidad Carlos III, Madrid. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/30046069.pdf>

Auccacusi, D. (2014). *Análisis técnico y económico para la selección del equipo óptimo de bombeo en Muskarumi - Pucyura - Cusco usando fuentes renovables de energía (Tesis de grado para la obtención de título de ingeniero mecánico)*. Pontifica Universidad Católica del Perú, Lima-Perú. Recuperado de *Recuperado de* <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789>

Campaña, C. y Guamán, D. (2011). *Diseño y construcción de una Bomba de Ariete Hidráulico (Tesis de grado para la obtención de título de ingeniero mecánico)*. Escuela Politécnica Nacional, Quito. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4020/1/CD-3778.pdf>

Galarza, R. (2013). *Estudio de factores hidráulicos en una bomba de ariete y su efecto sobre la eficiencia (Tesis de grado para la obtención de ingeniero mecánico)*. Universidad técnica de Ambato. Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3714/1/Tesis%20I.%20M.%20157%20%20Galarza%20Chacón%20Raúl%20Fernando.pdf>

Gomes, P. (2012). *Diseño paramétrico de una bomba de ariete hidráulico (Tesis para obtener maestría en Tecnología de cómputo)*. Instituto politécnico

nacional. México. Recuperado de <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/16134/1/Diseño%20Parametrico%20de%20una%20Bomba%20de%20Ariete%20Hidraulico.pdf>

Jiménez R. (2011). *Cálculo, Diseño y Construcción de un Prototipo de Ariete Hidráulico (Tesis de grado para obtener título de ingeniero mecánico electricista)*. Universidad Veracruzana. Veracruz-México, recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/16308540.pdf>

Paredes, M. y Tuquinga R. (2012). *Diseño e instalación de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en la comunidad de Airón Cebadas (Tesis de grado para la obtención de título de ingeniera mecánica)*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba- Ecuador. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2403/1/15T00519.pdf>

Rivadeneira, S. y Silva L. (2013). *Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico con el desarrollo de un software para su dimensionamiento (Tesis de grado para la obtención de título de ingeniero mecánico)*. Universidad Politécnica Salesiana. Quito. Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5989/1/UPS-KT00770.pdf>

Sánchez, S. y De Freitas R. (2002). *Diseño y Construcción de un Sistema de Suministro de Agua para una Comunidad Agrícola (Tesis de grado para la obtención de título de ingeniero mecánico)*. U.C.V. Caracas. Recuperado de

[http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/135/1/Tesis% 20Sistema% 20de% 20Bombeo% 202002.pdf](http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/135/1/Tesis%20Sistema%20de%20Bombeo%202002.pdf)

Sierra, C. y Biancha, G. (2012). *Análisis del ariete hidráulico para diferentes configuraciones (Tesis de grado para obtener título de ingeniero mecánico)*. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. Recuperado de <http://studylib.es/doc/6665891/an%C3%A1lisis-del-ariete>

Libro con autor:

Mataix C. (1986). *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. Segunda Edición*. México: Alfaomega.

Moot. R. (1996). *Mecánica de Fluidos Aplicada. Cuarta Edición*. México: Pearson Educación.

Versión electrónica de libro impreso:

Colombo, G. (S.F.). *Manual de ingeniero*. Recuperado de <https://www.iberlibro.com/servlet/BookDetailsPL?bi=19827180083&searchurl=tn%3Dmanual%2Bdel%2Bingeniero%26sortby%3D17%26an%3Dcolombo%2Bg>

Nekrasov B. (1968). *Hidráulica*. Recuperado de <http://ebiblioteca.org/?/ver/68622>

Soria J. (2014). *INIA manual del durazno la planta y la cosecha*. Recuperado de <Http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3415/1/bd-108-108-2014.pdf>

S.B. Watt. (1975). *A manual on the Hydraulic Ram for Pumping Water.*

Recuperado de [http://www.watersanitationhygiene.org/References/EH_KEY_REFERENCES/WATER/Water%20Pumping/Ram%20Pumps/Hydraulic%20Ram%20Pump%20Manual%20\(ITDG\).pdf](http://www.watersanitationhygiene.org/References/EH_KEY_REFERENCES/WATER/Water%20Pumping/Ram%20Pumps/Hydraulic%20Ram%20Pump%20Manual%20(ITDG).pdf)

T.D. Jeffry. (1992). *Hydraulic Ram Pumps. A guide to ram pump water supply*

systems. Recuperado de <https://www.amazon.com/Hydraulic-Ram-Pumps-Supply-Systems/dp/1853391727>

Young B W. (1996). *Simplified analysis and design of the hydraulic ram pump.*

Recuperado de http://www.ijmerr.com/v2n4/ijmerr_v2n4_20.pdf

Páginas web:

Espliego, G. (2006). Frecuencia de riego. Recuperado de

<http://archivo.infojardin.com/tema/riego-por-goteo-dosis-y-tiempo-de-riego.1322/>

Guia, A. (2012). *Guia agropecuaria.* Recuperado de https://www.jica.go.jp/nicaragua/espanol/office/others/c8h0vm000001q4bcatt/32_realizados_01.pdf

Jiménez, J. (2003). *El ariete hidráulico.* Recuperado de

https://www.terra.org/data/ariete_super.pdf

Montesinos, A. y Gallardo L. (1991). *Los secretos del ariete hidráulico.*

Recuperado de <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia25/HTML/articulo05.htm>

Smart, S. (2014). *Los sistemas de riego por goteo*. Recuperado de <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/drip-irrigation>

Valvias, V. (2011). *Valvias*. Recuperado de <http://www.valvias.com/coeficiente-de-descarga.php>

Wales, J. y Sanguer, L. (1968). *Wikipedia*. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_de_ariete