

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	B
	Dependencia	Aprobado		Pág.
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADÉMICO		1(151)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Georgia Paulina Garzón Castilla – Jesús Miguel Martínez Vides		
FACULTAD	Ingenierías		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Civil		
DIRECTOR	Dibrey Paola Quintero Criado		
TÍTULO DE LA TESIS	Análisis técnico para definir el proceso de diseño y construcción de una bomba de ariete		
TITULO EN INGLES	Technical analysis to define the design and construction process of a water hammer pump		
RESUMEN (70 palabras)			
<p>El golpe de ariete es un fenómeno generado por la variación de presión que ocurre dentro de una tubería violentamente cuando se cierra una llave. Cuando ocurre la oscilación de presión el líquido recorre la línea a una velocidad determinada conociéndose esto como propagación de la onda. El golpe de ariete es el cambio de presión en las tuberías, producto del brusco incremento o reducción de la velocidad del líquido.</p>			
RESUMEN EN INGLES			
<p>Water hammer is a phenomenon generated by the pressure variation that occurs violently inside a pipe when a tap is closed. When the pressure oscillation occurs, the liquid travels along the line at a certain speed, this being known as wave propagation. The water hammer is the change in pressure in the pipes, product of the sudden increase or decrease in the speed of the liquid.</p>			
PALABRAS CLAVES	Golpe, Ariete, Hidráulico, Caudal, Agua, Impacto, Ambiente, Campesinos, Gravedad, Bomba		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Blow, Ram, Hydraulic, Flow, Water, Impact, Environmental, Farmers, Gravity, Bomb		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 151	PLANOS: 1	ILUSTRACIONES: 58	CD-ROM: 0



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
 Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88
 atencionalciudadano@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

Análisis técnico para definir el proceso de diseño y construcción de una bomba de ariete.

Autores

Georgia Paulina Garzón Castilla

Jesús Miguel Martínez Vides

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería civil

Ing. Dibrey Paola Quintero Criado

09 de marzo del 2022

Nota

El Comité Curricular del Plan de Estudios de Ingeniería Civil, según consta en el Acta No. 0028 de fecha 18 de agosto de 2021, acordó asignar como jurados de la presente monografía a los docentes **AGUSTIN ARMANDO MACGREGOR TORRADO Y MARIA ANGELICA ALVAREZ BAYONA**

Tabla de contenido

Capítulo 1. Marco teórico.....	15
1.1. Antecedentes.....	15
1.1.1. Desarrollo del Argumento.....	17
1.2. Reseña histórica de la bomba de ariete.....	20
1.3. Golpe de ariete.....	23
1.4. Principio de funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico.	26
1.5. Ciclo hidráulico del ariete.....	32
1.5.1. Periodo 1. Aceleración (Ta).	33
1.5.2. Periodo 2. Entrega y/o bombeo (Td).....	33
1.5.3. Periodo 3. Retroceso (Tr).	34
1.6. Principales componentes en su instalación.....	37
1.6.1. Válvula de pie.....	37
1.6.2. Reservorio o tanque de almacenamiento.....	37
1.6.3. Tubería de alimentación.	37
1.6.4. Válvula de cierre.	37
1.6.5. Caja de válvulas.	38
1.6.6. Válvula de servicio.....	38
1.6.7. Válvula de choche o impulso.	38
1.6.8. Cámara de aire.....	38

1.6.9. Válvula de aire.	39
1.6.10. Tubería de descarga.....	39
1.7. Definición de un fluido.....	40
1.8. Propiedades de los fluidos.	40
1.8.1. Densidad.....	40
1.8.2. Volumen específico.....	40
1.8.3. Peso específico.	41
1.8.4. Viscosidad.	42
1.8.5. Viscosidad dinámica o absoluta.	42
1.8.6. Viscosidad cinemática.....	43
1.8.7. Tension superficial.	43
1.8.8. Capilaridad.	44
1.9. Propiedades del agua	45
1.10. Flujo.....	45
1.11. Tipos de flujos.	45
1.11.1. Flujo en transición.....	45
1.11.2. Flujo laminar.	46
1.11.3. Flujo turbulento.....	46
1.12. Número de Reynolds.	46
1.13. Definición de caudal.....	48

1.14.	Rugosidad relativa.	49
1.15.	Factor de fricción.....	49
1.16.	Pérdidas mayores o de fricción.....	52
1.17.	Pérdidas menores o locales.....	53
1.18.	Ecuación para el cálculo del caudal de suministro.	55
1.19.	Aplicación de la ecuación de Bernoulli.	57
1.20.	Velocidad en la salida de las válvulas.	58
1.21.	Pérdidas de presión total.....	59
1.22.	Altura desarrollada por el ariete.	60
1.23.	Calculo del golpe de ariete.	61
1.23.1.	Celeridad.	61
1.23.2.	Tiempo de cierre de la válvula.	62
1.23.3.	Cierre rápido.....	64
1.23.4.	Cierre lento.....	66
1.23.5.	Fuerza de arrastre sobre la válvula de impulso.	68
1.23.6.	Perdidas hidráulicas en la válvula de impulso.	70
1.23.7.	Presión Dinámica.	70
1.23.8.	Peso máximo para la válvula de impulso.	71
1.23.9.	Presión máxima y mínima de la instalación.	71
1.23.10.	Condiciones de resistencia al cortante de la válvula de impulso.	72

1.23.11. Potencia útil del ariete	74
1.23.12. Potencia recibida.	75
1.23.13. Eficiencia.....	75
1.23.14. Rendimiento volumétrico.	76
1.23.15. Energía cinética.	76
1.23.16. Rendimiento energético.....	77
Capítulo 2. Manual bomba de ariete.....	78
2.1. Condiciones del terreno para la bomba.	79
2.1.1. Escogencia del sitio adecuado.....	79
2.1.2. Manera de medir la cantidad de agua o caudal disponible de la fuente.	80
2.1.3. Medida de pequeños flujos.....	80
2.1.4. Medida de Caudales de gran flujo.....	82
2.2. Descripción de las partes que integran el ariete y su funcionamiento.	83
2.2.1. Cuerpo de la bomba:	83
2.2.2. Válvula de impulsión:	83
2.2.3. Frange de limpieza.	84
2.2.4. Válvula de entrega.....	84
2.2.5. Cámara de aire (Campana).....	84
2.3. Operación del ariete.....	85
2.3.1. Calibración de la bomba.....	85

2.3.2.	Funcionamiento de la bomba.	87
2.3.3.	Eficiencia del ariete.	90
2.3.4.	Operación para reducir caudal del ariete.	90
2.3.5.	Recomendaciones.	90
2.3.6.	Problemas y soluciones durante el funcionamiento de la bomba de ariete.	91
1.4.	Mantenimiento de la bomba.	94
1.4.1.	Labores de mantenimiento.	94
Capítulo 3. Construcción prototipo bomba de ariete.		95
3.1	Descripción de la zona.	95
3.2	Límites del municipio:	96
3.2.1	Límites Departamentales.	96
3.2.2	Límites Municipales.	96
3.3	Clima.	96
3.4	Relieve.	97
3.5	Hidrografía.	98
3.6	Localización exacta para la puesta en marcha de la bomba de ariete.	99
3.7	Materiales para la construcción de la bomba de ariete.	102
3.8	Analís de costos.	104
3.9	Construcción prototipo bomba de ariete.	107
3.10	Instalación y puesta en marcha de la bomba de ariete.	113

3.11	Planos.....	117
Capítulo 4. Análisis de eficiencia y eficacia del prototipo construido.		118
4.1	Calculos teóricos.....	118
4.2	Consideraciones Preliminares.....	118
4.2.1	Altura de entrega o de descarga.	118
4.2.2	Altura de suministro.	118
4.2.3	Longitud de tubería de suministro.....	118
4.2.4	Longitud de tubería de descarga.....	119
4.2.5	Diámetro de tubería de suministro.	119
4.2.6	Diámetro de la tubería de descarga.	119
4.3	Determinación del tipo de régimen.	120
4.5	Cálculo de la rugosidad relativa.	120
3.16	Cálculo del factor de fricción.	121
4.6	Cálculo de perdidas por fricción.....	121
4.7	Cálculo del caudal de suministro.....	122
4.8	Elección de los coeficientes de perdidas locales.	122
4.9	Cálculo de la velocidad en la válvula de impulso.	122
4.10	Cálculo de la presión dinámica.....	123
4.11	Cálculo de la energía cinética.....	123
4.12	Cálculo de perdidas en la tubería de descarga.	123

4.13	Cálculo de la altura de desarrollo del ariete.	124
4.14	Cálculo de fenómenos físicos involucrados en la bomba de ariete.	124
4.14.1	Cálculo de la celeridad.	124
4.14.2	Cálculo del tiempo de cierre de la válvula.	125
4.14.3	Cálculo de la sobrepresión existente dentro de la bomba de ariete.	127
4.14.4	Calculo de la potencia útil del ariete.	129
4.14.5	Calculo de la potencia recibida.	130
4.14.6	Cálculo de la eficiencia.	130
4.14.7	Cálculo del rendimiento volumétrico.	130
4.15	Resultados reales.	131
4.15.1	Curvas para el análisis del prototipo construido.	131
4.15.2	Análisis del caudal de descarga en función de la altura de descarga.	132
4.15.3	Análisis del caudal desechado en función de la altura de descarga.	133
4.15.4	Análisis del rendimiento volumétrico en función de la altura de descarga.	135
4.15.5	Análisis de la eficiencia en función de la altura de descarga.	136
	Conclusiones.	139
	Recomendaciones.	142
	Referencias.	144
	Apéndices.	148

Lista de figuras

Figura 1. Esquema de funcionamiento del ariete ideado por John Whitehurst.	21
Figura 2. Esquema del ariete hidráulico ideado por Joseph Michael Montgolfier.	22
Figura 3. Diagrama de la bomba de ariete mejorada Joseph Montgolfier 1796.	23
Figura 4. Onda de presión formada por el cierre repentino de una válvula.	25
Figura 5. Fases del golpe de ariete.	26
Figura 6. El agua sale por la válvula de choque.	27
Figura 7. Válvula de choque cerrada debido a la fuerza de arrastre del agua.	28
Figura 8. Producción del golpe de ariete.	29
Figura 9. Apertura de válvula check, paso de agua hacia la cámara de aire.	30
Figura 10. Cierre de válvula check, se libera agua por la tubería de elevación.	31
Figura 11. Apertura de la válvula de choque y reinicio de proceso.	32
Figura 12. Periodo de aceleración, grafica velocidad vs tiempo.	33
Figura 13. Periodo de bombeo. Grafica de velocidad vs tiempo.	34
Figura 14. Periodo de retroceso. Grafica de velocidad vs tiempo.	35
Figura 15. Representación gráfica de los periodos. Grafica velocidad vs tiempo.	36
Figura 16. Esquema de componentes en la instalación de una bomba de ariete.	39
Figura 17. Tipos de flujos.	46
Figura 18. Diagrama de Moody.	48
Figura 19. Ubicación del tramo 1-2.	58
Figura 20. Variación teórica de la presión en la válvula, sin considerar pérdidas de fricción.	63
Figura 21. Variación real de la presión en la válvula, considerando pérdidas de fricción.	64
Figura 22. Diagrama de sobrepresiones en un cierre rápido de una válvula.	66

Figura 23. Diagrama de sobrepresiones en un cierre lento de una válvula.....	68
Figura 24. Presiones máximas y mínimas de instalación.	72
Figura 25. Medida de caudales pequeños.	81
Figura 26. Esquema para el aforo de caudales inferiores 1.	82
Figura 27. Esquema para el aforo de caudales inferiores 2.	83
Figura 28. Operación del ariete.....	87
Figura 29. Presión al final de la tubería de suministro junto al cuerpo de la bomba	88
Figura 30. Velocidad del agua en la tubería de impulsión.....	89
Figura 31. Posición de la válvula de impulso	89
Figura 32. Descripción de la zona.....	95
Figura 33. Localización exacta 1.	99
Figura 34. Localización exacta 2.	100
Figura 35. Localización exacta 3	101
Figura 36. Localización exacta 4.	101
Figura 37. Paso 1.....	107
Figura 38. Paso 2.....	107
Figura 39. Paso 3.....	108
Figura 40. Paso 4.....	108
Figura 41. Paso 5.....	108
Figura 42. Paso 6.....	109
Figura 43. Paso 7.....	109
Figura 44. Paso 8.....	110
Figura 45. Paso 9.....	110

Figura 46. Paso 10.....	111
Figura 47. Paso 11.....	112
Figura 48. Paso 12.....	112
Figura 49. Extensión de la manguera de alimentación.	113
Figura 50. Instalación de la bomba.	114
Figura 51. Instalación de la manguera de descarga.	114
Figura 52. Calibración de la bomba.....	115
Figura 53. Medición de caudales.	116
Figura 54. Plano del prototipo construido.....	117
Figura 55. Caudal de descarga vs Altura de descarga.	133
Figura 56. Caudal de desecho vs Altura de descarga.....	134
Figura 57. Rendimiento volumétrico vs altura de descarga.....	136
Figura 58. Efectividad vs Altura de descarga.	137

Lista de tablas

Tabla 1. Propiedades físicas del agua.	45
Tabla 2. Coeficientes de rugosidad absoluta “ ϵ ” para tuberías comerciales.	51
Tabla 3. Coeficientes de resistencia locales según P. G. Kiseliiov.	54
Tabla 4. Coeficientes de pérdidas para válvulas abiertas, codos y «tes».	55
Tabla 5.	77
Tabla 6. Materiales utilizados en la construcción de la bomba.	103
Tabla 7. Análisis de costos del prototipo de bomba de ariete.	105
Tabla 8. Pulsaciones por segundo.	125
Tabla 9. Valores teóricos vs valores reales.	131
Tabla 10. Caudal de descarga vs altura de descarga.	132
Tabla 11. Caudal desechado vs altura de descarga.	134
Tabla 12. Rendimiento volumétrico vs altura de descarga.	135
Tabla 13. Eficiencia vs altura de descarga.	137

Lista de apéndices

Apendice A. Cotizaciones de materiales para la construcción del prototipo.....	149
Apendice B. Factura de compra de materiales para la construcción del prototipo.....	150

Capítulo 1. Marco teórico.

1.1. Antecedentes.

El agua es un recurso de primera necesidad, esencial para el desarrollo de la vida y las actividades humanas, sin el agua la vida no sería posible y sería complejo realizar cualquier tipo de actividad *sin* que esta no esté presente.

El no contar con una fuente de agua y con un sistema de saneamiento apto promueve la degradación de la calidad de vida de las personas que no cuenten con el recurso generando consecuencias directas como el aumento de numerosas enfermedades por la falta de agua e incluso la muerte. (Acitores Martinez, 2012)

Debido a la situación actual del planeta en cuanto a contaminación la cual genera problemática en todo sentido es necesario ir implementando y promoviendo el uso de sistemas naturales que no traigan consigo agentes patógenos o algún tipo de contaminantes que aumenten la situación crítica del planeta interviniendo todos los procesos desde captación, transporte y suministro del líquido vital.

El agua puede ser transportada por diversos medios desde una fuente hasta un punto requerido ya sea por presión o gracias a motobombas.

Un sistema de bombeo es un mecanismo para extraer y elevar agua de un punto bajo a uno elevado, agua superficial, subterránea o de depósitos a sistemas de entrega.

Un mal diseño, operación o inadecuado mantenimiento de un sistema de bombeo genera daños significativos e incluso la pérdida total del abastecimiento de agua. (Romero & Gutiérrez, 2014)

Existen formas naturales de transportar el agua las cuales son amigables con el medio ambiente y que se deben promover gracias a todos los beneficios que estas generan beneficios como ahorro sustancial en la economía y fácil manejo; entre estos están la bomba de ariete el cual es un artefacto sencillo que utiliza la energía hidráulica potencial gravitatoria del fluido para la elevación de la misma a una altura superior sin la necesidad de disponer de electricidad o combustible. (Gomez & Triana, 2015)

El sistema de la válvula de ariete hidráulico funciona las veinticuatro horas del día siempre y cuando la fuente produzca agua permanentemente.

En esta investigación se realizará un estudio técnico y experimental del Ariete hidráulico como mecanismo para el transporte de agua en diversas zonas donde pueda ser implementada para beneficio de la comunidad.

Colombia es un país donde el 22.9% de sus habitantes viven en zonas rurales siendo esto un poco más de 11 millones de personas las cuales viven en la ruralidad del país, dichas zonas por lo general viven en malas condiciones debido a los escasos recursos con los que cuentan y a que son muy pocos los apoyos que reciben por parte del estado. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2018)

El sector rural en Colombia se ha caracterizado por ser un sector desamparado que posee problemáticas en todos sus sistemas, recolección de basura, escases de alimentos, ausencia de educación entre otros.

A la fecha aún existen familias que no cuentan con acceso de agua potable en Colombia siendo esto una realidad que se debe afrontar según el ministerio de vivienda, puesto que la cobertura no es total aun existiendo tanto desarrollo tecnológico a nivel mundial.

El 13.6% de la población actual según el último censo realizado no cuenta con un sistema de acueducto que permita transportar agua circulando constantemente desde un lugar en el que está accesible en la naturaleza hasta un punto de consumo distante, generalmente una ciudad o poblado, razones como estas siguen marcando a Colombia como un país subdesarrollado puesto que a pesar de estar en pleno siglo XXI en el auge tecnológico aun existan zonas donde el sistema de acueducto no es una realidad. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2018)

Por lo general las zonas rurales no cuentan con un sistema de acueducto digno que les suministre el recurso hídrico y en peores condiciones no cuentan con uno siendo este uno de los principales problemas que han presentado por años, los habitantes del sector rural se ingenian la manera de abastecerse de agua para realizar sus actividades diarias implementado sistemas rústicos o en el peor de los casos caminando largas distancias hasta las fuentes.

Debido a ello, a la escases de recursos en el sector, el utilizar bombas eléctricas o a base de combustibles para dotarse se agua no es una opción rentable debido a los pagos que tendrían que realizar en un sector donde la carencia predomina.

Por estas razones promover la bomba de ariete en el sector rural para el suministro de agua puede ser una opción optima que remediaría dicho problema puesto que este mecanismo puede llegar a ser eficiente y de larga duración si se maneja de forma correcta y generaría además un ahorro de recursos de manera significativa.

1.1.1. Desarrollo del Argumento.

El golpe de ariete es un fenómeno que sucede cuando se cierra una válvula o llave generando una variación de presión dentro de una tubería de forma brusca. Mientras ocurre la

fluctuación de la presión el agua circula por la manguera a una velocidad específica definiendo esto como propagación de la onda.

El agua como elemento en movimiento genera una energía al igual que todos los cuerpos, cuando este circula por un medio y es detenida genera un incremento repentino lo cual genera deformación en las paredes de la tubería, toda esta situación es indeseable y es por ello que se trata de evitar e instalar dispositivos para mantener seguridad. (Lizana, 2018)

Zhukovski definió, en 1889, el golpe de ariete como el cambio de presión en los conductos del líquido vital, generada por el incremento o reducción repentina de la velocidad del agua. (Romero & Gutiérrez, 2014)

Las principales consecuencias del choque hidráulico son: aumento de presiones, presiones negativas, ruptura de la columna de agua llegando inclusive a valores de cavitación, riesgo sanitario debido a la intromisión de contaminantes como consecuencia de las presiones negativas, derivado a lo anterior rotura de la tubería o fatiga de la misma a lo largo del tiempo, debido a todos estos alcances los sistemas de acueductos o suministros de agua evitan dichas sobrepresiones y consiguen el golpe de ariete en sus procesos para no generar daños que causen deficiencias en el sistema. (Ingeniería de Fluidos, 2016)

Existen mecanismos que si aprovechan el golpe de ariete para su funcionamiento y se basan en la sobrepresión generada por el sistema para la conducción del agua lo cual significa un método apropiado para la solución de problemas en lugares donde el recurso hídrico no es suministrado con un sistema de acueducto si no que las personas implementando sistemas rústicos o directamente de forma manual se abastecen tomando agua de la fuente hídrica atravesando largas distancias y exponiéndose a grandes peligros.

Se apunta a una fuente superficial debido a que esta debe estar estrictamente a un nivel superior al de la bomba para que la caída del fluido genere la energía suficiente e impulse cierta cantidad del mismo hasta un lugar de almacenamiento, es por ello que se descarta una fuente profunda puesto que esta va a depender de cierta profundidad para extraer el bulbo de agua siendo esto contrario al mecanismo que utiliza la bomba de ariete para su funcionamiento.

El caudal suministrado por la bomba de ariete es una solución que se puede tener para abastecer una determinada cantidad de agua conocida gracias al cálculo de su eficiencia. La bomba de ariete depende directamente del recurso hídrico que fluye por la fuente, siempre debe haber agua para que la bomba funcione de lo contrario no habría líquido para transportar y sería esto una delimitación en el sistema.

La bomba de ariete es un claro ejemplo de aprovechamiento del golpe de ariete donde el agua es captada de una fuente hídrica y descendida por gravedad a través de una tubería de alimentación gracias a una diferencia de nivel en relación con el ariete hidráulico.

El agua baja hasta la bomba con suficiente velocidad para que la presión dinámica cierre una válvula de impulso; el cierre repentino de dicha válvula genera lo que se conoce como golpe de ariete, este proporciona un aumento de presión sobre la manguera de captación ocasionando que se abra una válvula check la cual permite el paso del flujo hacia la parte interna de una cámara neumática que se ubica en la parte interna de la bomba. El líquido vital en curso genera la compresión del aire dentro de la cámara neumática y gran parte de esta sube por la manguera de suministro hasta llegar a un acopio de descarga. (Romero & Gutiérrez, 2014)

La bomba de ariete es un conjunto de elementos que forman un sistema creado por el Frances Joseph Michel Montgolfier en 1796. Este sistema es una manera fácil y rápida de

transportar agua sin necesidad de electricidad siendo competente, sencillo de instalar y amigable con el medio ambiente; Lo que se desea con este mecanismo es implementarlo en las zonas donde el transporte de agua es un problema teniendo en cuenta que este es un recurso de primera necesidad para la supervivencia de cualquier ser vivo. Esta bomba hidráulica tiene un mecanismo por ciclos aprovechando la energía potencial del agua en la captación y transformándola en energía cinética en la bomba la cual con un sistema pendular de ariete bombea agua desde la fuente y la impulsa a una cota superior aprovechando su caída. (Serna, 2020)

Cabe mencionar que solo una parte del agua captada es bombeada y el resto se devuelve a la fuente o al suelo siendo esto muy significativo para el medio ambiente puesto que no hay ningún tipo de desperdicio y el agua se devuelve al natural como fue captada.

Gracias a la bomba de ariete se pueden elevar fluidos sin ningún otro tipo de energías más que la natural suministrada por el agua siendo esto de gran provecho para lugares donde no es posible el acceso de electricidad o a algún tipo de motor.

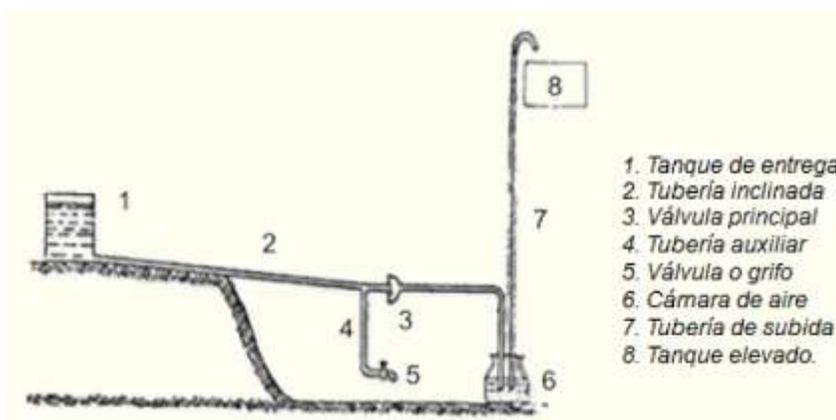
El agua transportada por este sistema puede ser utilizada para múltiples usos desde consumo para humanos y animales hasta para el riego de cultivos todo dependiendo únicamente de las condiciones del agua captada.

1.2. Reseña histórica de la bomba de ariete.

La bomba de ariete surge en la época de la invención de grandes artefactos y brillo con gran intensidad simultáneamente a las máquinas de vapor y el motor de combustión interna. John Whitehorse, dueño de una cervecería, fabrico un dispositivo para su negocio cuyo funcionamiento era novedoso, este consistía en manipular un grifo de una línea conectada a un tanque de abastecimiento, ubicado en una parte alta, lo que generaba el fenómeno conocido

como golpe de ariete; Esta situación permitió impulsar los líquidos hacia un tanque de almacenamiento ubicado en un punto mayor (figura 1) obteniendo de esta manera la primera bomba de ariete probada de forma manual en el año 1772 hasta 1800. (Alayza, 2015)

Figura 1. Esquema de funcionamiento del ariete ideado por John Whitehurst.

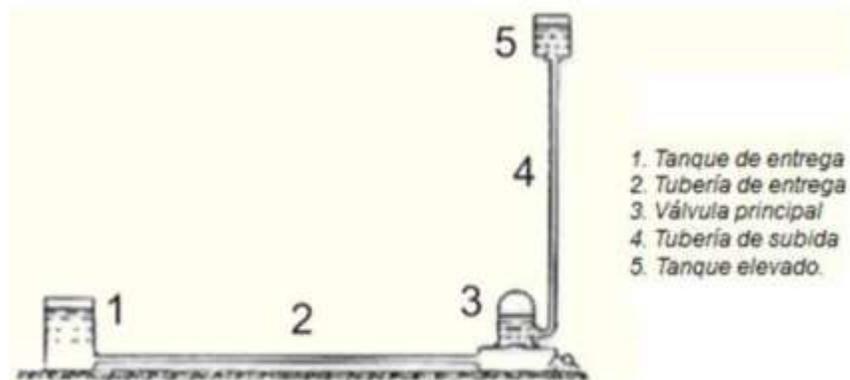


Fuente. Montecinos & Gallardo, 2018

Mentes brillantes modificaron el dispositivo cervecero de acuerdo a su conveniencia y años más tarde Joseph Montgolfier construyó la primera bomba de ariete automática, inicialmente parecido a los contemporáneos, al cual denominó *belier hydraulique* (figura 2) (Alayza, 2015), lo novedoso de esta mejora reside en que ya no se implementaba la fuerza externa para abrir la válvula de impulso, sino que el agua con su propia fuerza se encargaba de realizar esa tarea.

Joseph Montgolfier perfeccionó el equipo mejorando su rendimiento y eficiencia y finalmente lo patentó en el año 1796. Luego de la muerte del prestigioso inglés el popular invento cayó en manos de investigadores los cuales modificaron e incorporaron piezas nuevas al dispositivo para descubrir el enigma de su encanto.

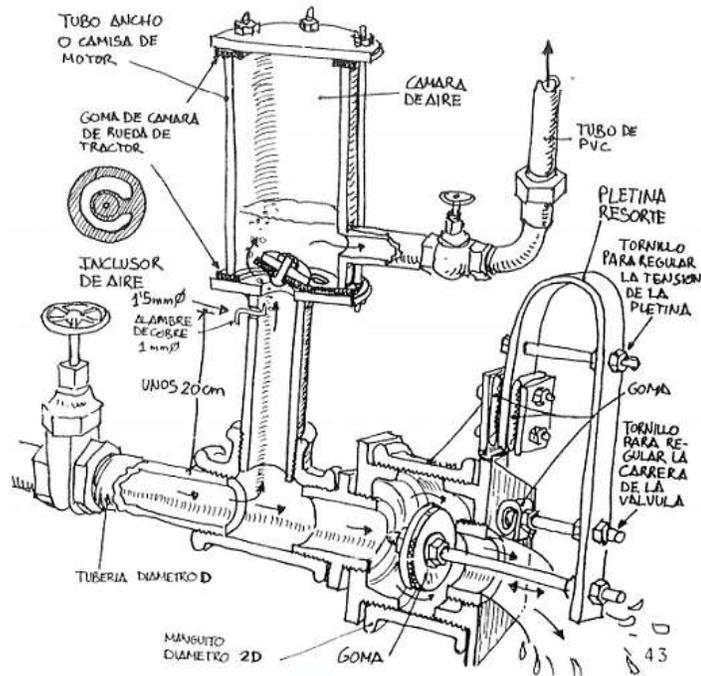
Figura 2. Esquema del ariete hidráulico ideado por Joseph Michael Montgolfier.



Fuente. (Montecinos & Gallardo, 2018)

A partir de ese momento la bomba de ariete ha tenido una excelente expansión por todo el mundo siendo utilizado en múltiples obras, como las reconocidas fuentes del Taj Mahal en la India o el Ameer de Afganistán, en Francia. El auge de la bomba de ariete decayó en los años 50 y 60 debido al impacto petrolero, posteriormente su uso disminuyó debido a la invención de la bomba centrífuga. (Figura 3) (Rengifo & Gallego, 2016).

Figura 3. Diagrama de la bomba de ariete mejorada Joseph Montgolfier 1796.



Fuente. (Rengifo & Gallego, 2016)

1.3. Golpe de ariete,

Se puede decir que este fenómeno no es perjudicial en toda su forma sino que puede ser utilizado aprovechando sus principios, por ejemplo, en el caso del ariete hidráulico, se implementa el golpe de ariete como principio básico para el funcionamiento de la bomba, creando una sobrepresión que luego va a ser aprovechada para impulsar el fluido a un punto más alto.

Es por ello que es importante que para el diseño de la bomba de ariete la válvula de impulso se cierre de la forma más rápida posible para crear una mayor sobrepresión.

El golpe de ariete es un fenómeno generado por la variación de presión que ocurre dentro de una tubería de forma violenta cuando se cierra una llave. En el momento en que ocurre la

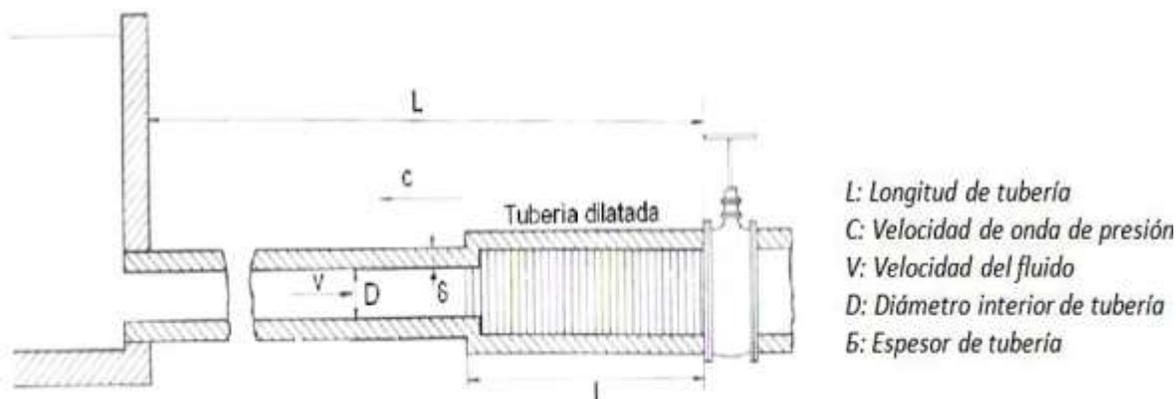
oscilación de presión el líquido recorre la línea a una velocidad determinada conociéndose esto como propagación de la onda. (Lizana, 2018)

El agua al igual que todos los cuerpos en movimiento genera una energía, cuando este elemento está transitando y es detenida repentinamente causa un aumento brusco o golpe de presión provocando deformidades en las paredes de la tubería, todo este proceso es perjudicial y se trata de evitar incorporando dispositivos para mantener seguridad. (Lizana, 2018)

El golpe de ariete en el año 1889 fue definido según Zhukovski como el cambio de presión en las tuberías, producto del brusco incremento o reducción de la velocidad del líquido. (Romero & Gutiérrez, 2014)

Dentro de las consecuencias del choque hidráulico están: incremento de presiones, presiones negativas, distanciamiento de la columna de agua generando inclusive a valores de cavitación, riesgo sanitario vinculado a la intrusión de contaminantes como consecuencia de las presiones negativas, derivado a lo anterior rotura de la tubería o fatiga de la misma a lo largo del tiempo, debido a esto los sistemas de acueducto o sistemas de suministro previenen las sobrepresiones y consiguen el golpe de ariete en sus procesamientos para no provocar altercados en el sistema. (Ingeniería de Fluidos, 2016)

Figura 4. Onda de presión formada por el cierre repentino de una válvula.

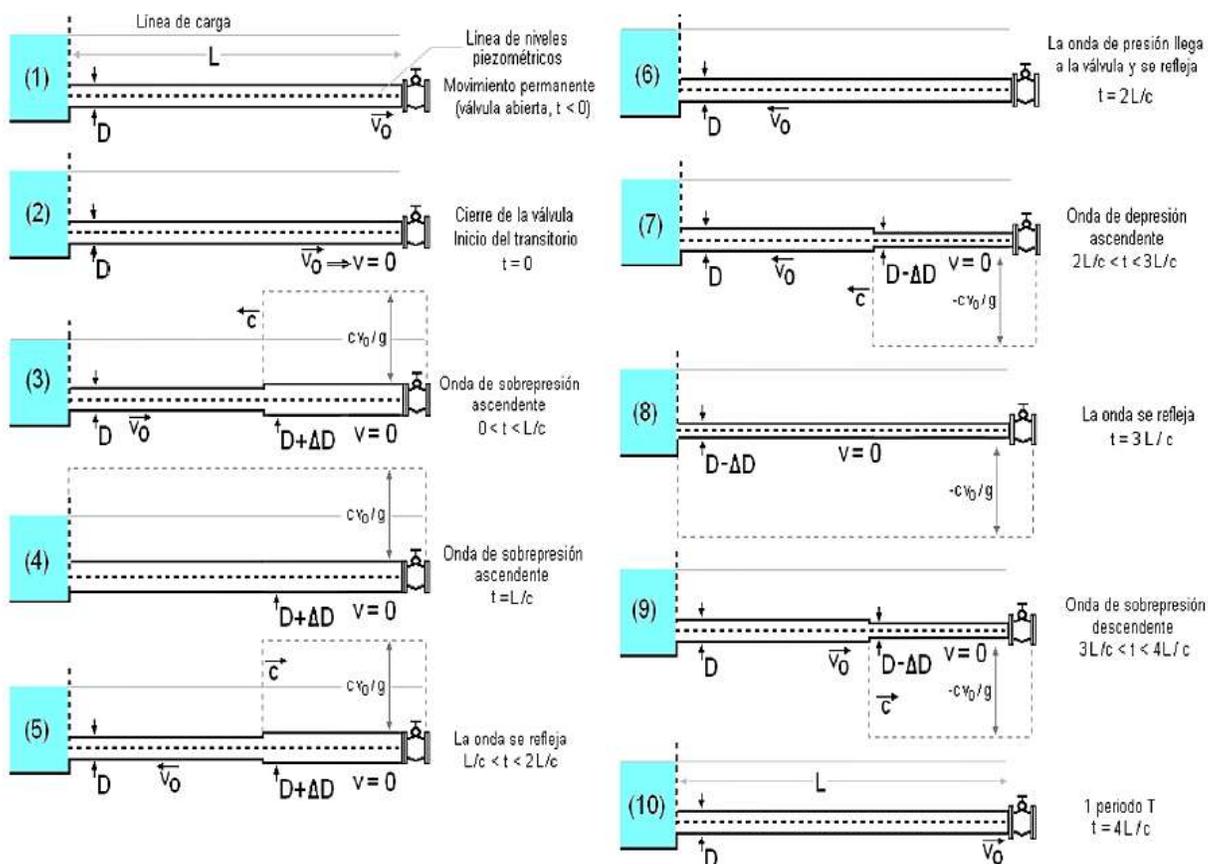


Fuente. (Cantabria, 2021).

El golpe de ariete se desarrolla en varias fases, ver figura 5 y son detalladas a continuación: (1) El agua de la manguera viaja a una velocidad “V”, no existe perturbación alguna y el diámetro de la manguera no presenta ninguna alteración. (2) Al cerrar la válvula en el tiempo 0, la velocidad del fluido antes de la válvula se vuelve 0. (3) Debido al cierre repentino de la válvula se genera una onda de sobrepresión ascendente con una velocidad “c”, la mitad de la tubería se dilata. (4) El bucle de presión llega al embalse en un tiempo $t=L/c$. Toda la tubería se dilata. (5) La sobrepresión del conducto hace que el fluido contenido retorne al embalse. La tubería vuelve a su sección nominal desde el tanque a la válvula. (Alayza, 2015)

(6) La onda llega a la válvula en un tiempo $t=2L/c$. El agua sigue saliendo de la tubería. (7) Se produce una depresión en la tubería por lo que esta se contrae. El agua sigue saliendo de la tubería. (8) Toda la tubería entra en depresión en un tiempo $t=3L/c$. (9) Entra agua a la tubería y esta va retornando a sección nominal. (10) Se produce un periodo en el tiempo $t=4L/c$. La alteración de la red y la viscosidad del fluido disipan la energía y las oscilaciones se van amortiguando. (Alayza, 2015)

Figura 5. Fases del golpe de ariete.

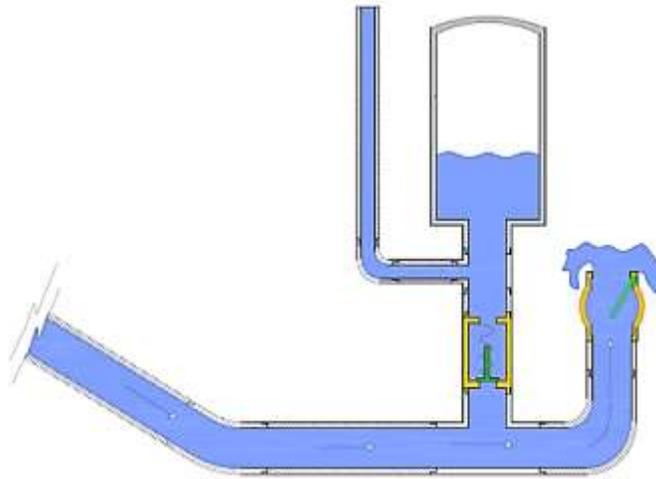


Fuente. (Cantabria, 2021).

1.4. Principio de funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico.

Para entender la puesta en marcha del ariete hidráulico hay que conocer el proceso que se lleva a cabo constantemente de forma ininterrumpida: Primero, cuando se tiene la válvula de choque abierta, comienza a descender el líquido desde el reservorio por la tubería de alimentación, concluyendo en la caja de válvulas y sale por la válvula de choque. (Alayza, 2015)

Figura 6. *El agua sale por la válvula de choque.*

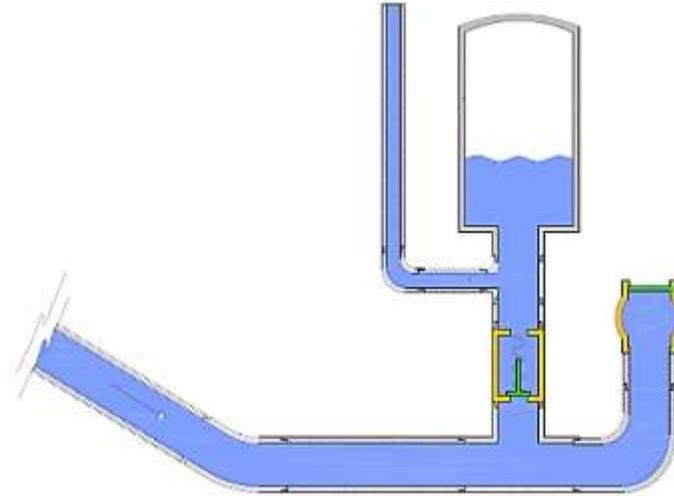


Fuente. (Acitores Martinez, 2012)

En el transcurso que el agua acelera, se aumenta la fuerza de arrastre que ésta ejerce sobre la compuerta de la válvula de choque, hasta que es suficiente para cerrarla de golpe.

(Alayza, 2015)

Figura 7. *Válvula de choque cerrada debido a la fuerza de arrastre del agua.*

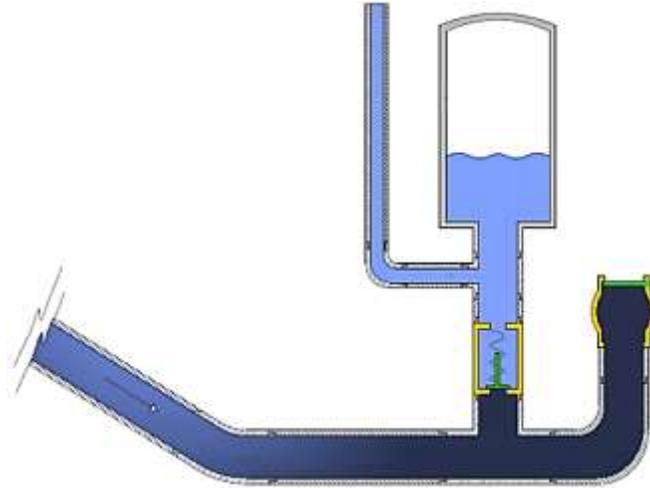


Fuente. (Acitores Martinez, 2012)

Al cerrarse bruscamente la válvula de choque, la columna de agua que se desplaza por el conducto de alimentación aún posee una gran energía cinética.

Esta energía cinética se desvanece con la finalidad de aumentar repentinamente la presión en la caja de la válvula mediante una onda de sobrepresión. (Alayza, 2015)

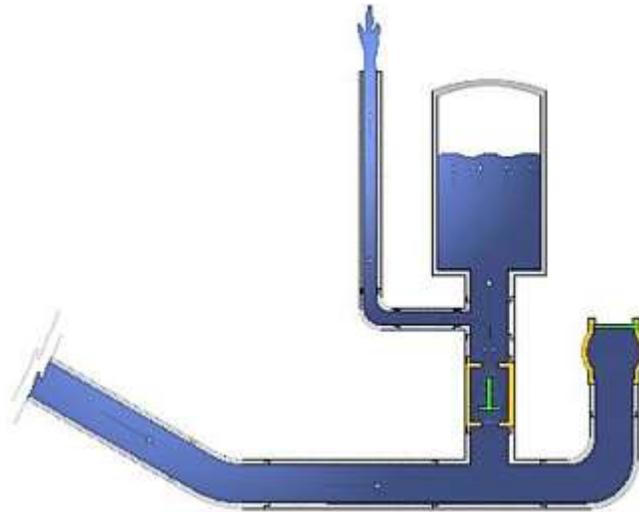
Figura 8. *Producción del golpe de ariete.*



Fuente. (Acitores Martinez, 2012)

Al tener la caja de válvulas una gran presión, posibilita la apertura de la válvula check y el paso de agua desde la caja de válvulas hacia la cámara de aire y a través del conducto de elevación. (Alayza, 2015)

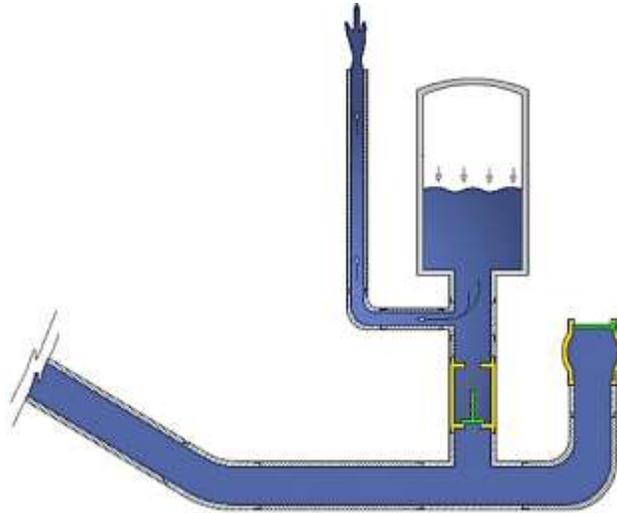
Figura 9. *Apertura de válvula check, paso de agua hacia la cámara de aire.*



Fuente. (Acitores Martinez, 2012)

Cuando las presiones son las mismas en ambos lados de la válvula check, esta se cierra cortando el paso del fluido y la presión acumulada en el aire de la cámara es transmitida al fluido que es elevado por la tubería de elevación. (Alayza, 2015)

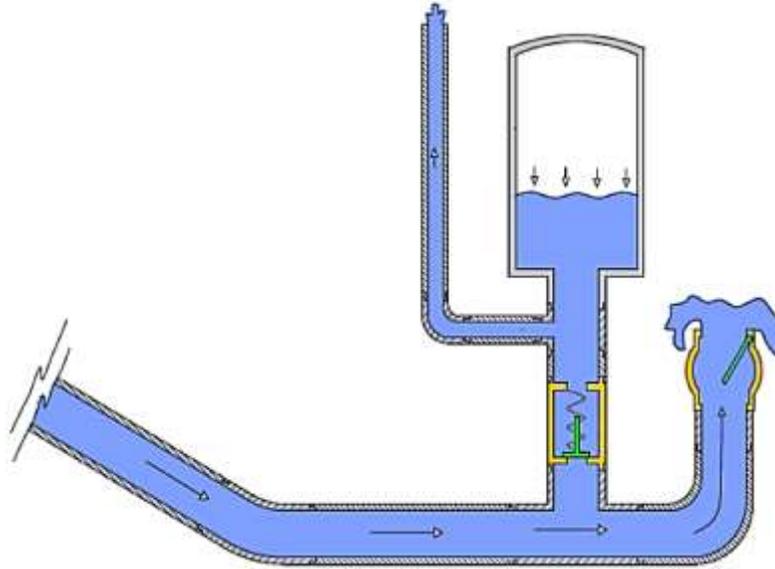
Figura 10. Cierre de válvula check, se libera agua por la tubería de elevación.



Fuente. (Acitores Martinez, 2012)

Posteriormente la presión de la caja de válvulas baja hasta que la compuerta de la válvula de choque se abre debido a su propio peso y comienza a salir nuevamente agua por ella como se muestra a continuación. (Alayza, 2015)

Figura 11. Apertura de la válvula de choque y reinicio de proceso.



Fuente. (Acitores Martinez, 2012)

Siguiendo este proceso, el mecanismo se repite de la misma manera que al principio del ciclo, reiterándose una y otra vez de forma continuada hasta que sea interrumpida voluntariamente, cerrando una llave de paso. (Acitores Martinez, 2012)

1.5. Ciclo hidráulico del ariete.

Inicialmente se tiene lleno de agua el cuerpo de válvulas de ariete, la válvula de impulso se cierra producto de la presión dinámica inicial, esto ocasiona que la válvula de retención sea abierta y permita que el agua acceda y suba a la tubería de descarga hasta el nivel H_s , posteriormente se debe accionar la válvula de impulso manualmente, sacando el aire de la tubería, hasta que el ariete funcione automáticamente. (Lizana, 2018)

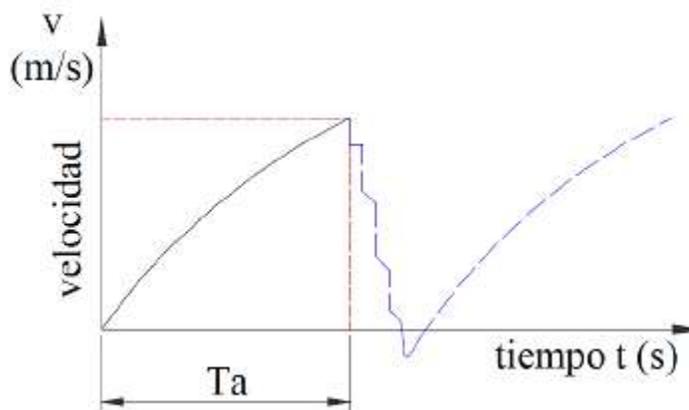
El mecanismo de la bomba de ariete se divide en 3 periodos o fases definidos durante el ciclo de operación.

1.5.1. Periodo 1. Aceleración (T_a).

Este periodo comienza desde el momento en que la energía cinética del agua es nula, dicho de otra manera, cuando la velocidad en la tubería de suministro es cero “ $v = 0$ ”, la válvula de impulso está abierta y la de retención cerrada. Luego de que el fluido empiece a bajar a través de la tubería de suministro por la gravedad debido al desnivel, esto ocasiona una sobrepresión en el cuerpo de válvulas lo que hace que la válvula de impulso se cierre finalizando de esta manera el periodo 1 y dándole inicio al periodo 2. A continuación en la figura 12 se muestra la gráfica velocidad vs tiempo durante el periodo de aceleración. (Lizana, 2018)

Figura 12. Periodo de aceleración, grafica velocidad vs tiempo.

$$(0 \leq t \leq T_a); (0 \leq V \leq V_c)$$



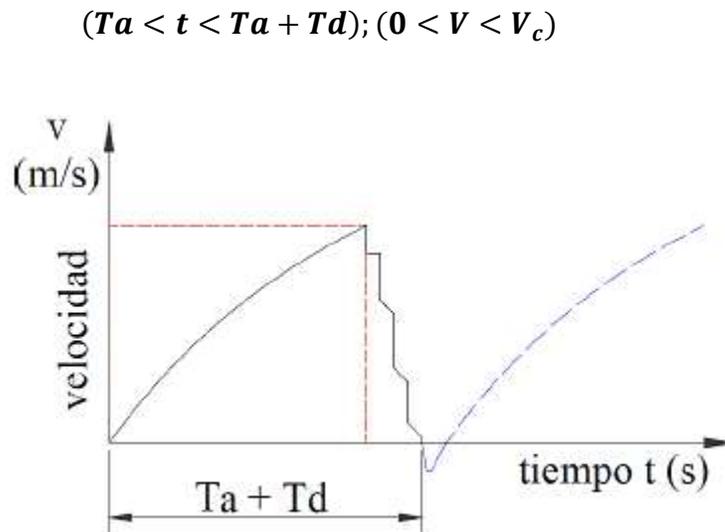
Fuente. (Gutiérrez, 2014)

1.5.2. Periodo 2. Entrega y/o bombeo (T_d).

Este periodo da inicio en el momento en que se cierra la válvula de impulso hasta el instante en que se genera la desaceleración del agua en la cámara de aire. La columna de agua en la tubería de descarga se reprime y en ese instante se produce una sobrepresión en la caja de

válvulas que se amortigua en la cámara de aire. A continuación en la figura 13 se muestra la gráfica velocidad vs tiempo durante el periodo de bombeo. (Lizana, 2018)

Figura 13. *Periodo de bombeo. Grafica de velocidad vs tiempo.*



Fuente. (Gutiérrez, 2014)

1.5.3. *Periodo 3. Retroceso (Tr)*

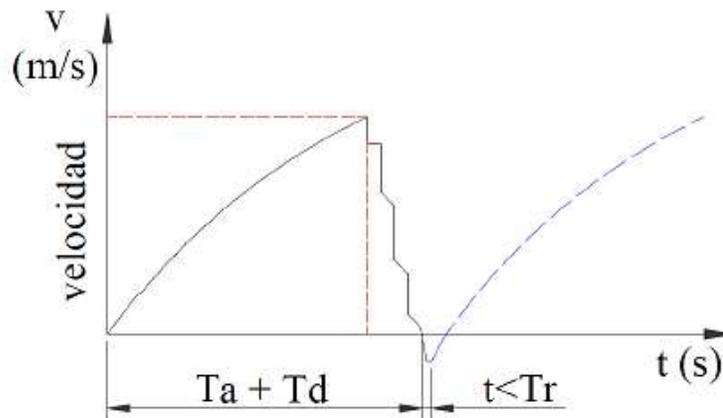
Durante este periodo se incluye el tiempo que demora en cerrar la válvula de retención, se genera la caída de presión en el cuerpo del ariete y la reapertura de la válvula de impulso en el momento que la velocidad se hace cero “ $v = 0$ ”, repitiendo el ciclo nuevamente.

En este periodo se evidencia que el colchón de aire que existe en la cámara de aire ejerce una presión sobre la válvula de retención generando que esta se cierre, el agua suba por la tubería de descarga y no se regrese a la tubería de suministro. Esto ocasiona que la presión disminuya en el cuerpo del ariete lo que produce una renovación de aire en la cámara neumática por la válvula de aire, al mismo tiempo se abre nuevamente la válvula de impulso, empezando un nuevo ciclo.

A continuación en la figura 14 se muestra la gráfica velocidad vs tiempo durante el periodo de retroceso. (Lizana, 2018)

Figura 14. *Periodo de retroceso. Grafica de velocidad vs tiempo.*

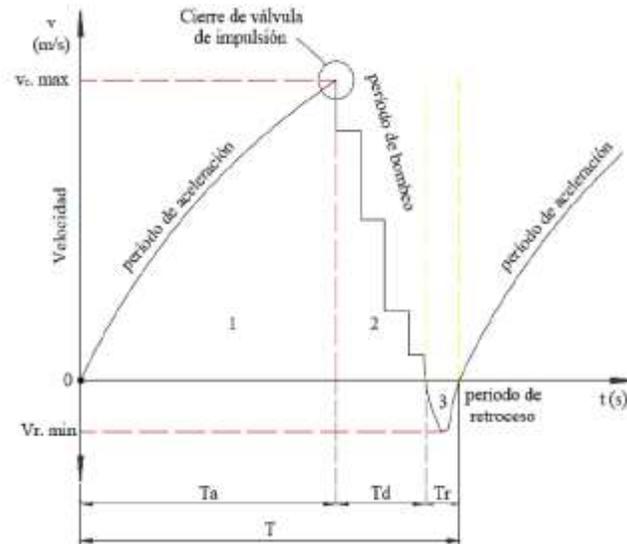
$$(T_a + T_d < t < T); (V_t < V < 0)$$



Fuente. (Gutiérrez, 2014)

En la figura 15 se observa la representación gráfica de los periodos velocidad vs tiempo.

Figura 15. Representación gráfica de los periodos. Grafica velocidad vs tiempo



Fuente. (Gutiérrez, 2014)

Donde:

$T_a =$ Tiempo de duración del periodo de aceleración (s)

$T_b =$ Tiempo de duración del periodo de bombeo (s)

$T_r =$ Tiempo de duración del periodo de retroceso (s)

$T_a =$ Tiempo de duración del periodo de aceleración (s)

$V_c =$ Velocidad del agua en la tubería de suministro en el momento del cierre de la válvula de impulsión (m/s)

$V_r =$ Velocidad del agua durante el periodo de flujo de invertido (m/s)

$V_t =$ Velocidad del agua en la tubería de suministro en los diferentes instantes de tiempo (m/s)

1.6.Principales componentes en su instalación.

1.6.1. Válvula de pie.

Es un dispositivo cuya función es separar el cuerpo de agua de las basuras que provienen del abastecimiento ayudando a prevenir el ingreso de objetos extraños al ariete. (Satel, 2021)

1.6.2. Reservorio o tanque de almacenamiento.

Fuente continua de agua, que normalmente será un río o un lago aunque también puede considerarse un depósito suficientemente grande, normalmente fabricado de plástico u hormigón. Esta fuente tendrá que proporcionar agua a una altura H por encima del nivel al que se encuentre la bomba de ariete. Esta altura H depende del tipo de bomba con el que se trabaje, así como la altura final a la que se quiera bombear agua y el rendimiento que busquemos, pero un valor usual puede ser entre 2 y 5 metros. (Peralta Surco, 2015)

1.6.3. Tubería de alimentación.

La tubería de alimentación conecta el tanque de captación con el ariete, es la parte más importante de la instalación de bombeo, es donde se crea la energía cinética que aprovecharemos para la elevación del agua y a la vez la que resiste con mayor intensidad los efectos del choque hidráulico, constituye el elemento fijo más importante conjuntamente con la caja de válvulas. (Perez, 2018)

1.6.4. Válvula de cierre.

Es una válvula de compuerta que activa o detiene el funcionamiento del ariete, es un componente opcional puesto que algunos arietes se diseñan para un uso continuo y hay otros que funcionan bajo determinada demanda de agua. (Alayza, 2015)

1.6.5. Caja de válvulas.

En esta caja se produce la inversión de la onda de presión y se ubican las válvulas de impulso y de descarga, a su vez es la base de asientos y ubicación de los elementos del ariete. (Alayza, 2015)

1.6.6. Válvula de servicio.

Es la que permite el paso del agua, desde la caja de válvulas hasta la cámara de aire, dicha válvula no permite el retroceso del agua al cerrarse debido a los efectos del rebote que se produce con el aire comprimido dentro de la cámara, lo que hace que el agua sea impulsada hasta un nivel superior al de captación. Debe estar construida de forma tal que se logre una buena hermeticidad, lo que evita pérdidas en la eficiencia y el rendimiento. La válvula de descarga está compuesta por una brida, plato de goma, platillo semiesférico y un tornillo de sujeción. (Alayza, 2015)

1.6.7. Válvula de choche o impulso.

Constituye la parte móvil más importante y determinante en el funcionamiento del equipo. Origina el golpe de ariete debido al cierre brusco que se produce por el efecto del incremento de la velocidad del agua. Esta válvula regula 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 de contra pesos diseñados y fabricados a tal efecto, los cuales se colocan en el vástago de la válvula. (Alayza, 2015)

1.6.8. Cámara de aire.

Es el instrumento que regula el flujo de agua hacia al tubería de descarga, absorbe la sobrepresión (funciona como amortiguador de los golpes de ariete) e impulsa el agua por la

tubería de descarga dando de esta forma un flujo casi continuo, logrando un nivel superior al de captación. (Alayza, 2015)

1.6.9. Válvula de aire.

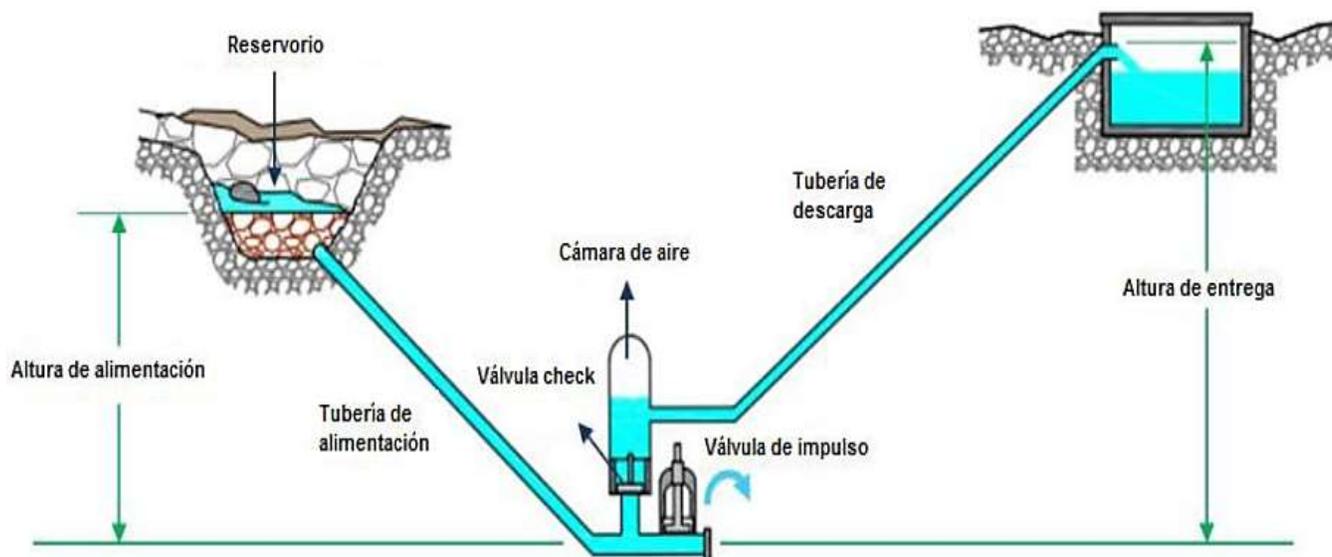
Voluntariamente se instala en la cámara de aire y sirve para regular y renovar el aire absorbido por el agua que se pierde de la cámara. (Alayza, 2015)

1.6.10. Tubería de descarga.

Es el conducto por el que se eleva el agua desde el ariete hidráulico hasta el depósito de descarga. (Otí Isla, 2017)

En la figura 16 se aprecia el esquema de componentes en la instalación de una bomba de ariete.

Figura 16. Esquema de componentes en la instalación de una bomba de ariete.



Fuente. (Alayza, 2015)

1.7. Definición de un fluido.

Un fluido es todo cuerpo que tiene la propiedad de fluir, y carece de rigidez y elasticidad, como resultado cede inmediatamente a cualquier fuerza tendente a alterar su forma adoptando así la forma del recipiente que lo contiene. Los fluidos pueden ser líquidos o gases según la intensidad de las fuerzas de cohesión existentes entre sus moléculas. (Duran, 2018)

1.8. Propiedades de los fluidos.

1.8.1. Densidad.

Es la relación entre la masa y el volumen que ocupa, es decir la masa por unidad de volumen. (Duran, 2018)

Ecu. (1)

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

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

$$m = \text{Masa (kg)}$$

$$v = \text{Volumen (m}^3\text{)}$$

1.8.2. Volumen específico.

Es el volumen que ocupa un fluido por unidad de masa, es decir lo inverso a la densidad (Duran, 2018).

Ecu. (2)

$$v = \frac{V}{m}$$

Donde:

$$v = \text{Volumen específico} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$m = \text{Masa (kg)}$$

$$V = \text{Volumen (m}^3\text{)}$$

1.8.3. Peso específico.

Es la fuerza con la que la tierra atrae a una unidad de volumen, también se puede decir que es la relación entre el peso y volumen de una sustancia (Duran, 2018)

Ecu. (3)

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Ecu. (4)

$$W = m * g$$

Ecu. (5)

$$\gamma = \rho * g$$

Donde:

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

$$m = \text{Masa (kg)}$$

$V = \text{Volumen } (m^3)$

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

$W = \text{Peso } (N)$

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

1.8.4. *Viscosidad.*

Oposición que tiene un fluido para trasladarse cuando se le aplica una fuerza externa. El coeficiente de viscosidad absoluta, es una medida de la resistencia al deslizamiento o a sufrir deformaciones internas. (Duran, 2018)

1.8.5. *Viscosidad dinámica o absoluta.*

Señala la mayor o menor resistencia que los fluidos ofrece al desplazamiento de sus partículas cuando son sometidos a un esfuerzo cortante, cuanto mayor sea la viscosidad, más denso es el fluido (Duran, 2018)

Ecu. (6)

$$\mu = \tau * \frac{Y}{U}$$

Donde:

$\mu = \text{Viscosidad dinámica o absoluta } \left(\frac{N}{m^2} = Pa\right)$

$\tau = \text{Esfuerzo cortante } \left(\frac{N}{m^2}\right)$

$Y = \text{Distancia transversal } (m)$

$U = \text{Velocidad } \left(\frac{m}{s}\right)$

1.8.6. Viscosidad cinemática.

Es una medida de la viscosidad dinámica referida a la densidad. Esta medida se usa mucho en hidrodinámica ya que además de las fuerzas de rozamiento también se tienen en cuenta las fuerzas de inercia las cuales dependen de la densidad. (Duran, 2018)

Ecu. (7)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Donde:

$$\mu = \text{Viscosidad dinámica o absoluta} \left(\frac{N}{m^2} = Pa \right)$$

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

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

1.8.7. Tensión superficial.

Es una fuerza que produce efectos de tensión en la superficie de los líquidos, allí donde el fluido entra en contacto con otro fluido que no se puede mezclar, particularmente un fluido en estado líquido con uno en estado gaseoso o con un contorno sólido. El origen de esta fuerza es la cohesión intermolecular y la fuerza de adhesión fluido sólido. Esta formación se manifiesta con la formación de gotas y de meniscos. (Duran, 2018)

Ecu. (8)

$$F = \sigma * L$$

Donde:

$F = \text{Tension superficial } (N * m^{-1})$

$\sigma = \text{Coeficiente de tension superficial } (10^{-3} * \frac{N}{m})$

$L = \text{Longitud de la linea de contacto } (m)$

1.8.8. Capilaridad.

La capilaridad es una propiedad de los líquidos resultante de la combinación de la tensión superficial y su tendencia a mojar la superficie con la que entra en contacto, la cual está sujeta de la cohesión del líquido y a la capacidad de elevarse por un tubo capilar. (Duran, 2018)

Ecu. (9)

$$h = \frac{2 * \gamma * \cos\theta}{\rho * g * r}$$

Donde:

$\gamma = \text{Tension superficial interfacial } \left(\frac{N}{m}\right)$

$\theta = \text{Angulo de contacto.}$

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

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

$r = \text{Radio del tubo } (m)$

1.9. Propiedades del agua

En la siguiente tabla se aprecian las propiedades físicas del agua a diferentes temperaturas.

Tabla 1. *Propiedades físicas del agua.*

Temperatura (°C)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad μ (N - s/m ²)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)	Tensión superficial σ (N/m)	Presión de vapor (kPa)	Módulo de volumen B (Pa)
0	999.9	1.792 x 10 ⁻³	1.792 x 10 ⁻⁶	0.0762	0.610	204 x 10 ⁷
5	1000.0	1.519	1.519	0.0754	0.872	206
10	999.7	1.308	1.308	0.0748	1.13	211
15	999.1	1.140	1.141	0.0741	1.60	214
20	998.2	1.005	1.007	0.0736	2.34	220
30	995.7	0.801	0.804	0.0718	4.24	223
40	992.2	0.656	0.661	0.0701	3.38	227
50	988.1	0.549	0.556	0.0682	12.3	230
60	983.2	0.469	0.477	0.0668	19.9	228
70	977.8	0.406	0.415	0.0650	31.2	225
80	971.8	0.357	0.367	0.0630	47.3	221
90	965.3	0.317	0.328	0.0612	70.1	216

Fuente. (Dulhoste, 2014)

1.10. Flujo.

Es la cantidad de masa de un fluido que circula a través de un conducto en un segundo, es el análisis del desplazamiento de un líquido, comprometiéndose los principios del movimiento de la física, las propiedades del fluido y las características del medio ambiente y cauce por el cual fluyen. (Duran, 2018)

1.11. Tipos de flujos.

1.11.1. Flujo en transición.

En este tipo de torrentes se generan algunas variaciones discontinuas en un flujo laminar, aunque no es suficiente para caracterizar un flujo turbulento. (Martin , 2021)

1.11.2. Flujo laminar.

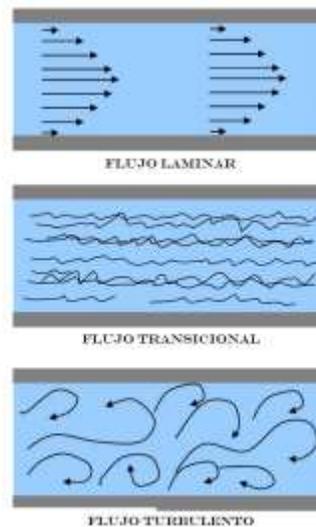
Se distingue porque el desplazamiento de las partículas del fluido sigue recorridos bastante regulares, separados y perfectamente definidos dando el efecto de que se tratara de láminas o capas más o menos paralelas entre si (Duran, 2018)

1.11.3. Flujo turbulento.

En este tipo de corrientes las partículas del fluido se mueven en trayectorias desorganizadas, es decir, en trayectorias muy irregulares sin seguir un orden establecido. (Duran, 2018).

A continuación en la figura 17 se muestran los diversos tipos de flujos.

Figura 17. Tipos de flujos.



Fuente. (Duran, 2018)

1.12. Número de Reynolds.

El número de Reynolds representa la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas. El número de Reynolds se calcula con la siguiente expresión. (Duran, 2018)

Ecu. (10)

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

Esta demostración también se puede reflejar en función del caudal:

Ecu (11).

$$Re = \frac{4Q}{\pi * \nu * D}$$

Donde:

$V =$ Velocidad media del escurrimiento $\left(\frac{m}{s}\right)$

$D =$ Diametro de la tuberia (m)

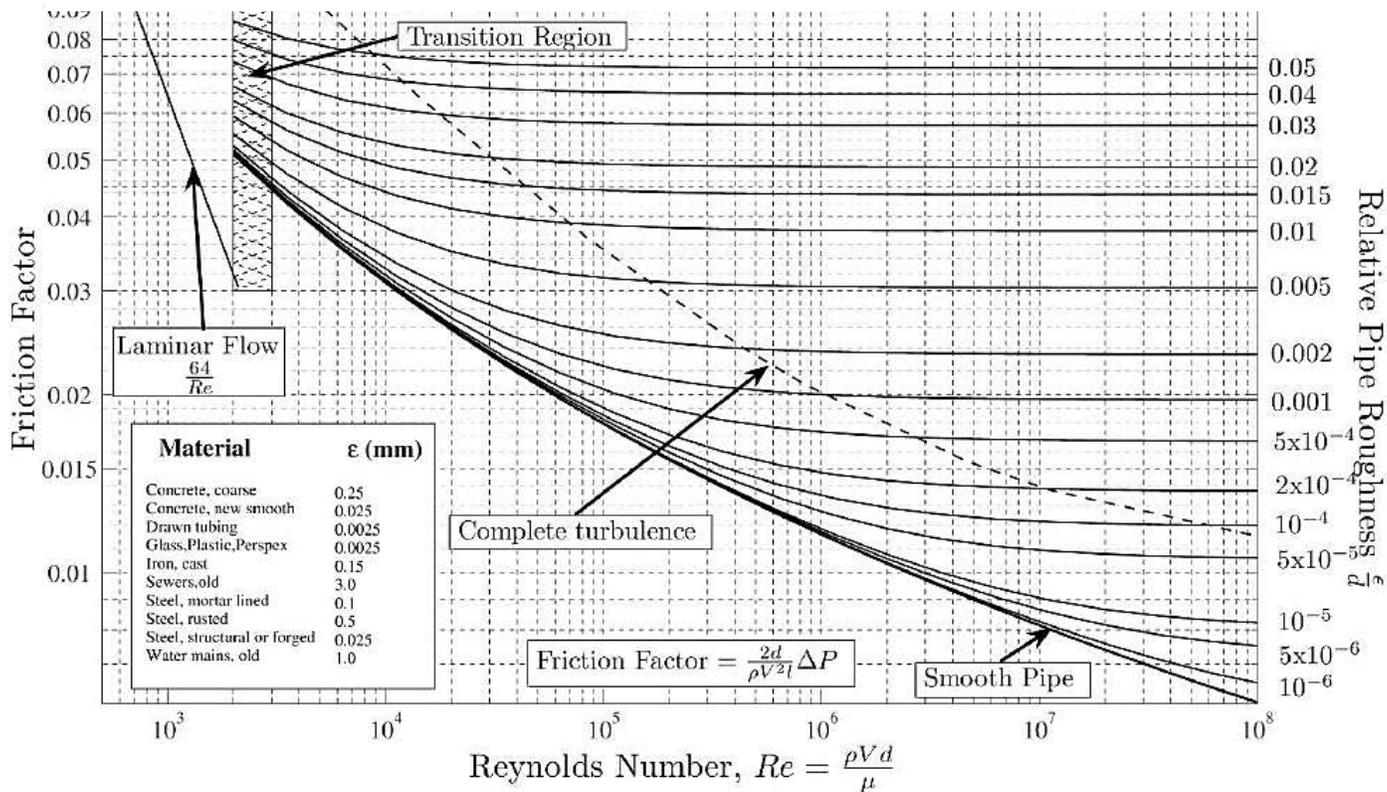
$\nu =$ Viscosidad cinematica $\left(\frac{m^2}{s}\right)$

El tipo de flujo se puede definir mediante la siguiente relación.

- Flujo laminar se produce cuando, **N° Re < 2000.**
- Flujo en transición se produce cuando, **2000 < N° Re < 4000.**
- Flujo turbulento se produce cuando, **N° Re > 4000.**

Además de estas fórmulas se dispone también de gráficos los cuales permiten el cálculo del factor de fricción a partir del número de Reynolds y la rugosidad relativa, gráficos como el diagrama de Moody. (Duran, 2018)

Figura 18. Diagrama de Moody



Fuete. (Gonzales, 2011)

1.13. Definición de caudal

Se nombra caudal a la cantidad de flujo que pasa por medio de una sección tubería por unidad de tiempo, se le conoce también como flujo volumétrico o volumen que circula por un área determinada en la unidad de tiempo. Su cálculo viene dado por las siguientes ecuaciones.

Ecu (12)

$$Q = v/t$$

Ecu (13)

$$Q = V * A$$

Donde:

Q= Caudal (m³/s)

V= Volumen del fluido (m³)

t = Tiempo por el que paso determinado volumen de fluido (s)

V= Velocidad media del fluido

A= área de la sección transversal del conducto (m²)

1.14. Rugosidad relativa.

Es la correlación entre grosor de la línea y la rugosidad promedio de su pared. (Lizana, 2018)

Ecu. (14)

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

Donde:

ε_r = *Rugosidad relativa.*

D = *Diámetro de la tubería (m).*

ε = *Rugosidad absoluta (m).*

1.15. Factor de fricción.

Cuando el sistema es laminar, el factor de fricción para tuberías lisas y rugosas se puede calcular con la ecuación de Poiseuille: (Lizana, 2018)

Ecu (15).

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

Cuando el sistema es turbulento, el factor de fricción para tuberías lisas se puede calcular con la ecuación de Blasius: (Lizana, 2018)

Ecu (16).

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$$

En los conductos rugosos el factor de fricción depende del número de Reynolds Re y de la rugosidad relativa ε_r , ese se puede calcular mediante la ecuación de Colebrook-White: (Lizana, 2018)

Ecu (17).

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 * \log_{10} \left(\frac{\varepsilon_r}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right)$$

Esta ecuación permite una puntualización bastante precisa del valor del factor de fricción en un régimen turbulento. (Lizana, 2018).

Para tuberías lisas en las que el valor de la rugosidad relativa es muy pequeño, este valor puede despreciarse en el primer término del logaritmo, también puede obtenerse la rugosidad absoluta dependiendo del tipo de tubería, estos valores los podemos obtener de la tabla 2

Tabla 2. *Coefficientes de rugosidad absoluta “ ε ” para tuberías comerciales.*

Tipos de tuberías	Rugosidad absoluta ε (mm)
Vidrio, cobre o latón estirado	<0.001 (o lisa)
Latón industrial	0.025
Acero comercial	0.045 – 0.09
Acero oxidado	0.15 - 4
Acero galvanizado	0.15
Acero inoxidable	0.015
Acero laminado nuevo	0.05
Acero laminado oxidado	0.15 a 0.25
Acero laminado con incrustaciones	1.5 a 3
Acero asfaltado	0.015
Acero roblonado	0.03 a 0.1
Acero soldado, oxidado	0.4
Hierro galvanizado	0.15 a 0.20
Fundición corriente nueva	0.25
Fundición corriente oxidada	1 a 1.5
Fundición asfaltada	0.1
Cemento alisado	0.3 a 0.8
Cemento bruto	Hasta 3
PVC y tubos de plástico	0.0015 – 0.007

Fuente: (Staff & Meadows , 2002)

1.16. Pérdidas mayores o de fricción

A medida que un líquido fluye por un conducto, tubo o algún otro medio, se producen pérdidas de energía debido a la fricción interna en el fluido, estas pérdidas se pueden calcular con la ecuación de Darcy-Weisbach: (Lizana, 2018)

Ecu (18).

$$h_f = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Siendo V la velocidad en el sistema, la expresaremos en función del caudal y del diámetro de la tubería: (Lizana, 2018)

Ecu (19).

$$Q = V * A \quad \rightarrow \quad V = \frac{4Q}{\pi * D^2}$$

Por consiguiente la ecuación de pérdidas por fricción en función del caudal es: (Lizana, 2018)

Ecu (20).

$$h_f = \frac{8 * \lambda * L}{\pi^2 * g * D^5} * Q^2$$

Esta expresión permite el cálculo de pérdidas de cargas tanto para un flujo laminar o turbulento. (Lizana, 2018)

Donde:

$h_f =$ Pérdidas por fricción (m).

$\lambda =$ Factor de fricción.

$D =$ Diametro interno de la tubería (m).

$L =$ Longitud de la tubería (m).

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

1.17. Pérdidas menores o locales.

Las pérdidas menores ocurren cuando hay una variabilidad u obstrucción en el recorrido del flujo, debido a la presencia de accesorios, válvulas o conectores. (Lizana, 2018)

Ecu (21).

$$h_{loc} = \zeta * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$h_{loc} =$ Pérdidas locales (m).

$\zeta =$ Coeficiente adimensional de pérdidas locales.

$V =$ Velocidad media de la tubería $\left(\frac{m}{s}\right)$.

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

Si varia la sección con alguna reducción o ensanchamiento, suele tomarse la velocidad en la sección menor. (Lizana, 2018)

Tabla 3. *Coeficientes de resistencia locales según P. G. Kiseliov.*

Accesorios	Coeficiente "ζ"
Entrada en el tubo para bordes agudos	0.50
Entrada suave en el tubo	0.50 - 0.20
Ensanchamiento repentino	$(1-A_1/A_2)^2$
Estrechamiento repentino	$0,5*(1-A_1/A_2)^2$
Cono de transición (para $d_2 = 2d_1$)	5
Cono de transición (para $d_2 \approx 0.5d_1$)	0,2
Giro brusco a 90°	1,2
Giro suave a 90°	0,15
Salida del tubo por debajo del nivel	1
Válvula de disco totalmente abierta	0,1
Válvula de compuerta totalmente abierta	0,11 - 0,12
Diferentes robinetes totalmente abiertos	5
Válvulas de sujeción con bombas provistas de mallas	10
Entrada suave en el canal	0,1
Entrada en el canal con bordes de entrada agudos (con presión lateral)	0,4
Estrechamiento suave del canal	$(1-A_1/A_2)^2$
Estrechamiento suave del canal ($A_2 < A_1$)	0,1

Fuente: (Pashkov & Doolqachev, F., 1985)

Tabla 4. Coeficientes de pérdidas para válvulas abiertas, codos y «tes».

Accesorio	Roscado				Acoplado				
	1/2"	1"	2"	4"	1"	2"	4"	8"	20"
Válvulas (Abiertas)									
Globo	14	8,2	6,9	5,7	13	8,5	6	5,8	5,5
Compuerta	0,3	0,24	0,16	0,11	0,8	0,35	0,16	0,07	0,03
De retención	5,1	2,9	2,1	2	2	2	2	2	2
De Angulo	9	4,7	2	4,5	4,5	2,4	2	2	2
Codos									
45° Normal	0,39	0,32	0,3	0,29					
45° Suave					0,21	0,2	0,19	0,16	0,14
90° Normal	2	1,5	0,95	0,64	0,5	0,39	0,3	0,26	0,21
90° Suave	1	0,72	0,41	0,23	0,4	0,3	0,19	0,15	0,1
180° Normal	2	1,5	0,95	0,64	0,41	0,35	0,3	0,25	0,2
180° Suave					0,4	0,3	0,21	0,15	0,1
Tee									
Flujo directo	0,9	0,9	0,9	0,9	0,24	0,19	0,14	0,1	0,07
Flujo lateral	2,4	1,8	1,4	1,1	1	0,8	0,64	0,58	0,41

Fuente: (Blanco, 2004)

1.18. Ecuación para el cálculo del caudal de suministro.

Para calcular el caudal que circula por el conducto de suministro se tiene que conocer: el diámetro de la tubería, las pérdidas de carga y la rugosidad. De acuerdo al tipo de régimen (laminar o turbulento), se estima el caudal.

Si el régimen es laminar, podemos sustituir la ecuación del número de Reynolds en la expresión del cálculo del factor de fricción: (Lizana, 2018)

Ecu (22).

$$\lambda = \frac{64}{Re} = \frac{64}{\frac{4Q}{\pi * v * D}} \rightarrow \lambda = \frac{16 * \pi * v * D}{Q}$$

Reemplazando esta expresión en la ecuación de pérdidas por fricción tenemos:

Ecu (23).

$$h_f = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} = \frac{16 * \pi * v * D}{Q} * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

$$h_f = \frac{128 * v * L * Q}{\pi * g * D^4}$$

Por lo tanto, el caudal se calcula:

Ecu (23).

$$Q = \frac{\pi * g * D^4 * h_f}{128 * v * L}$$

En caso que el régimen sea turbulento, calcularemos el caudal circulante reemplazando la ecuación 11 y 20 en la ecuación 17.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 * \log_{10} \left(\frac{\varepsilon_r}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\frac{\pi^2 * g * D^5 * h_f}{8 * L * Q^2}}} = -2 * \log_{10} \left(\frac{\varepsilon_r}{3,7} + \frac{2,51}{\frac{4 * Q}{\pi * v * D} * \sqrt{\frac{\pi^2 * g * D^5 * h_f}{8 * L * Q^2}}} \right)$$

$$\frac{Q}{\pi} * \sqrt{\frac{8 * L}{g * D^5 * h_f}} = -2 * \log_{10} \left(\frac{\varepsilon_r}{3,7} + \frac{2,51 * v * D}{4} * \sqrt{\frac{8 * L}{g * D^5 * h_f}} \right)$$

$$Q * 0,903 * \sqrt{\frac{L}{D^5 * h_f}} = -2 * \pi * \log_{10} \left(\frac{\varepsilon_r}{3,7} + \frac{0,5666 * v}{D^{1,5}} * \sqrt{\frac{L}{h_f}} \right)$$

Ecu (24).

$$Q = -2,2148 * \pi * \sqrt{\frac{D^5 * h_f}{L}} * \log_{10} \left(\frac{\varepsilon_r}{3,7} + \frac{0,5666 * v}{D^{1,5}} * \sqrt{\frac{L}{h_f}} \right)$$

Donde: $h_f =$ Pérdidas por fricción (m). $\varepsilon_r =$ Rugosidad relativa. $v =$ Viscosidad cinemática del fluido $\left(\frac{m^2}{s}\right)$. $D =$ Diametro interno de la tubería (m). $L =$ Longitud de la tubería (m). $Q =$ Caudal $\left(\frac{m^3}{s}\right)$.**1.19. Aplicación de la ecuación de Bernoulli.**

Emplearemos la ecuación de Bernoulli para poder calcular las pérdidas hidráulicas.

(Lizana, 2018)

Ecu (25).

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} - H_{1-2} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Ecu (26).

$$H_{1-2} = h_{f1-2} + \sum h_{loc1-2}$$

Donde:

$$\frac{P_1}{\rho g}, \frac{P_2}{\rho g} = \text{Altura de presiones.}$$

$$Z_1, Z_2 = \text{Altura de elevacion.}$$

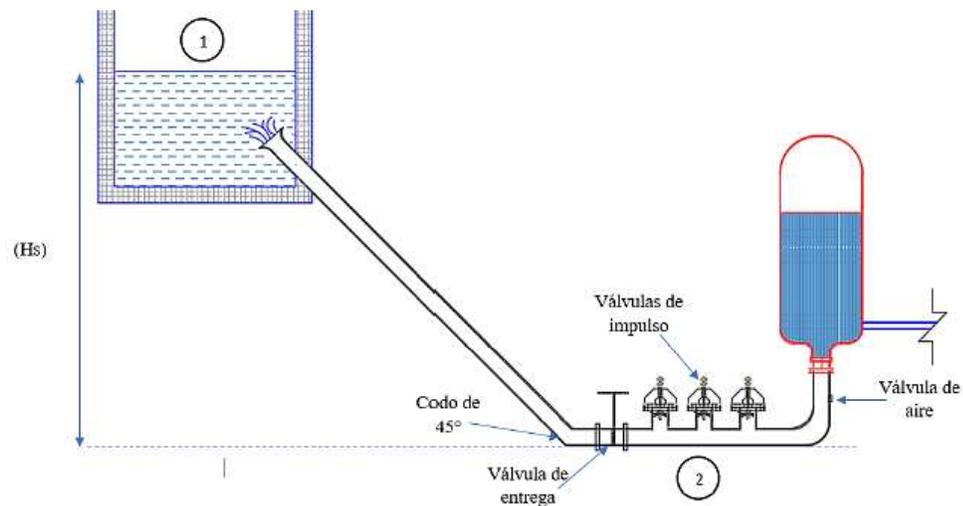
$$\frac{V_1^2}{2g}, \frac{V_2^2}{2g} = \text{Altura de velocidad.}$$

$$H_{1-2} = \text{Perdidas hidraulicas entre 1 y 2}$$

1.20. Velocidad en la salida de las válvulas.

Para establecer la velocidad de salida de las válvulas de impulso aplicaremos la ecuación de Bernoulli. (Lizana, 2018)

Figura 19. Ubicación del tramo 1-2.



Fuente. (Lizana, 2018)

Con la intención de predecir la velocidad en la salida de la válvula de impulso, emplearemos la ecuación de Bernoulli en donde:

$$P_1 = P_2, Z_1 = H_S, Z_2 = 0, V_1 = 0, V_2 = ?$$

Reemplazando estos datos en la ecuación 25, obtenemos:

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} - H_{1-2} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\frac{P_1}{\rho g} + H_S + \frac{0^2}{2g} - h_{f1-2} - \sum h_{loc1-2} = \frac{P_1}{\rho g} + 0 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$H_S = \frac{V_2^2}{2g} + \lambda * \frac{L * V_2^2}{D * 2 * g} + \sum \zeta * \frac{V_2^2}{2g}$$

$$H_S = \frac{V_2^2}{2g} \left(1 + \lambda * \frac{L}{D} + \sum \zeta \right)$$

Ecu (27).

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 * g * H_S}{1 + \lambda * \frac{L}{D} + \sum \zeta}}$$

1.21. Pérdidas de presión total.

Al multiplicar toda la ecuación (25) por el peso específico $\gamma = \rho g$, obtenemos unidades de presión ($\Delta p = h\gamma$). (Lizana, 2018)

Ecu (28).

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 * \rho g + \frac{V_1^2 * \rho}{2} - \Delta P_T = P_2 + Z_2 * \rho g + \frac{V_2^2 * \rho}{2}$$

Donde:

$P_1, P_2 =$ Presión en el punto 1 y 2.

$Z_1 * \rho g, Z_2 * \rho g =$ Presión de peso.

$\frac{V_1^2 * \rho}{2}, \frac{V_2^2 * \rho}{2} =$ Presión dinámica.

$\Delta P_T =$ Pérdidas de presión total.

La ecuación que se implementa para la pérdida de presiones totales se calcula de la siguiente manera:

Ecu (29).

$$\Delta P_T = \Delta P_f + \Delta P_{loc}$$

Ecu (30).

$$\Delta P_T = \lambda_f * \rho * \frac{L * V^2}{D * 2} + \sum \zeta_{loc} * \rho * \frac{V^2}{2}$$

1.22. Altura desarrollada por el ariete.

Para evaluar la altura incrementada por el ariete debemos sumar la altura de descarga y las pérdidas hidráulicas (fricción, locales y de inercia) (Lizana, 2018)

Ecu (31).

$$H = H_d + h_f + h_{loc} + h_{iner}$$

Donde h_{iner} es la resistencia de inercia al desplazamiento, es decir la energía consumida para finiquitar las fuerzas de inercia, y se calcula con la siguiente ecuación:

Ecu (32).

$$h_{iner} = \frac{L}{g} * \frac{dv}{dt}$$

1.23. Cálculo del golpe de ariete.

Esta situación no es negativa en toda su forma si se maneja acorde a sus principios, por ejemplo, en el caso del ariete hidráulico, el golpe de ariete va a ser el fundamento básico para el desempeño de la bomba, causando una sobrepresión que luego va a ser aprovechada para impulsar el fluido a un punto más alto. Es por ello que para el diseño de la bomba de ariete es importante que la válvula de empuje se cierre de la forma más rápida posible para concebir una mayor sobrepresión. (Alayza, 2015)

1.23.1. Celeridad.

La celeridad (c), es la velocidad de propagación de la onda de presión a través del agua contenida en la tubería. Su valor se puede inferir a partir de la ecuación de continuidad y depende principalmente de las características geométricas y mecánicas de la conducción, la expresión para el cálculo de la celeridad fue propuesta por Joukovsky (Lizana, 2018)

Ecu (33).

$$C = \sqrt{\frac{\frac{E_0}{\rho}}{1 + \frac{E_0 * D}{E * \delta}}}$$

Donde:

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

$E_0 = \text{Modulo de compresibilidad del fluido} \left(\frac{N}{m^2}\right)$

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

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

$$E = \text{Módulo de elasticidad del material de la tubería} \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)$$

$$\delta = \text{Espesor de la tubería (m)}$$

La expresión $\sqrt{\frac{E_0}{\rho}}$ es la celeridad de la onda elástica en el agua, cuyo valor es 1425 m/s.

Sustituyendo este valor en la ecuación (31) obtenemos:

Ecu (34).

$$C = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{E_0 * D}{E * \delta}}}$$

1.23.2. Tiempo de cierre de la válvula.

Para realizar el cálculo de las sobrepresiones debe tenerse en cuenta el tiempo de cierre de la válvula, si podemos observar en la práctica y/o teoría nos damos cuenta que las máximas sobrepresiones se alcanzan cuando el cierre de la válvula es menor que el tiempo que demora la onda en recorrer todo el circuito de la válvula. (Alayza, 2015)

Ecu (35)

$$T_c = 2 \frac{L}{C}$$

Donde:

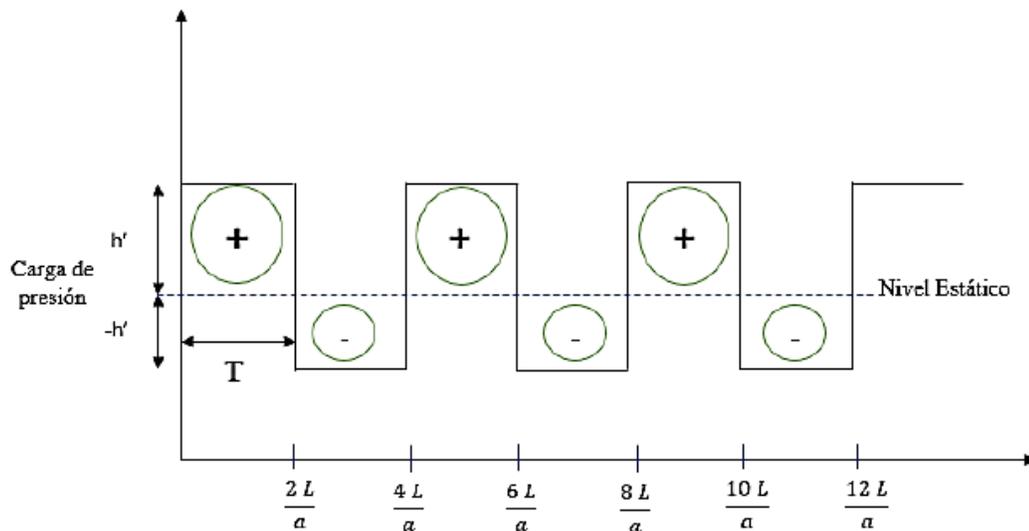
$T_c =$ Tiempo critico de cierre (s)

$L =$ Longitud de la tubería (m)

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

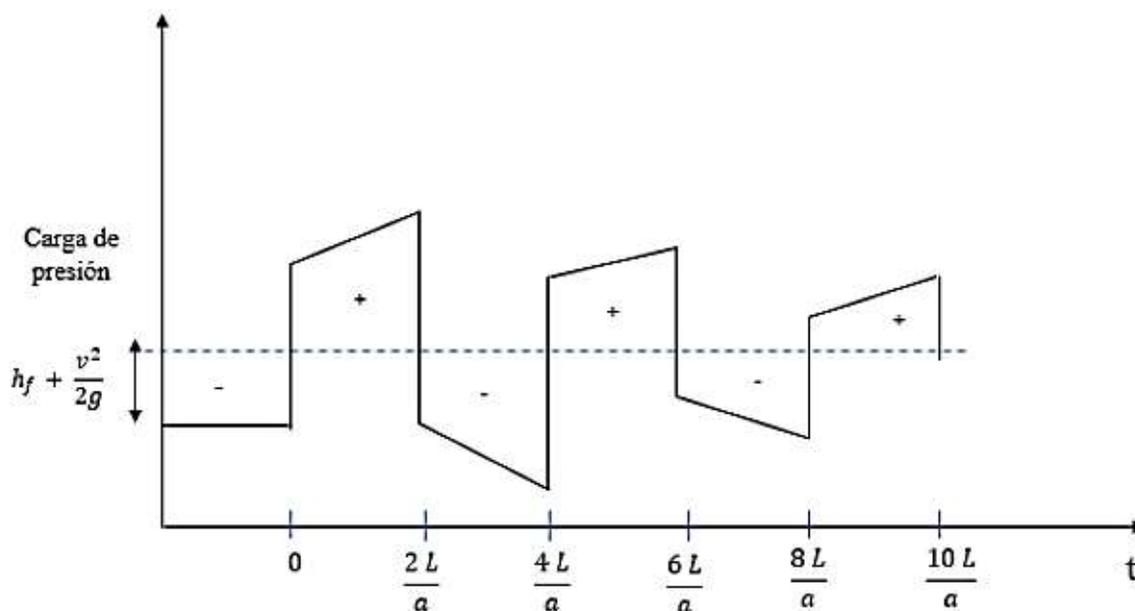
Al llegar la onda, esta cambia el sentido haciendo un nuevo trayecto de ida y vuelta en el mismo tiempo T , pero con signo contrario, bajo la forma de onda de depresión.

Figura 20. Variación teórica de la presión en la válvula, sin considerar pérdidas de fricción.



Fuente. (Jaramillo, 2013)

Figura 21. Variación real de la presión en la válvula, considerando pérdidas de fricción.



Fuente. (Jaramillo, 2013)

1.23.3. Cierre rápido.

El tiempo de cierre de la válvula es menor que el tiempo crítico, en este caso la onda de presión no supera el tiempo para llegar al tanque de almacenamiento, reflectarse y volver nuevamente a la válvula sin terminar medio ciclo, esto sucede cuando la tubería de suministro es demasiado larga. (Alayza, 2015)

Ecu (36).

$$T_c < 2 \frac{L}{C}$$

En esta situación podemos utilizar la ecuación propuesta por Allievi, la cual nos permite obtener la magnitud de la sobrepresión que se presenta por el golpe de ariete.

Ecu (37).

$$\Delta H = \frac{V * C}{g}$$

Donde:

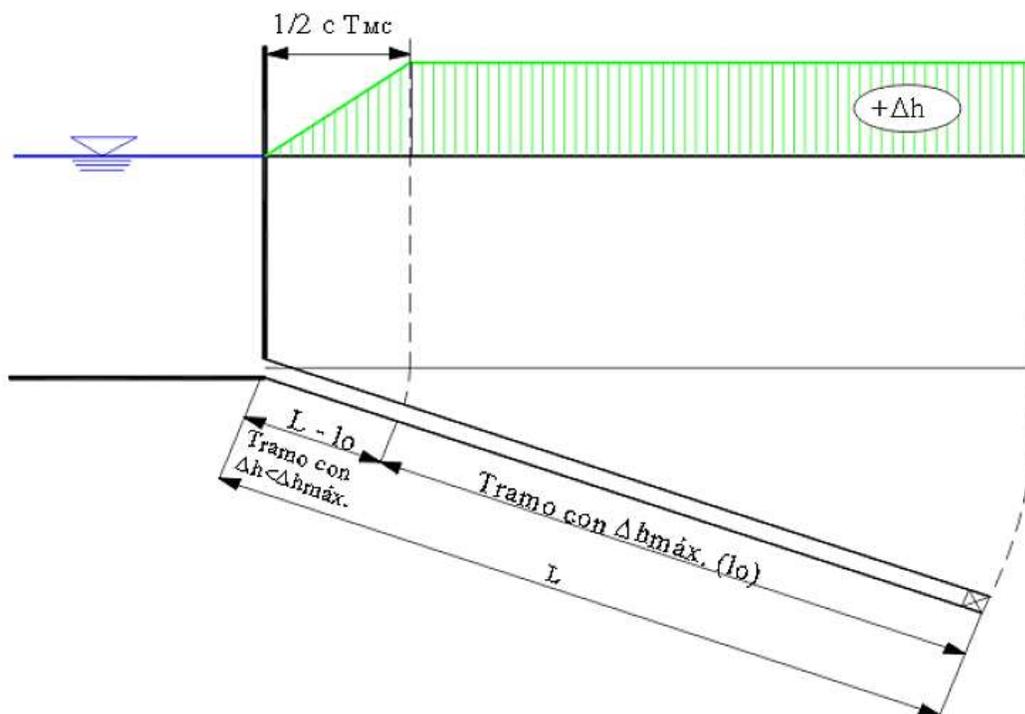
$\Delta H =$ *Sobrepresion (m. c. a)*

$V =$ *Velocidad del fluido(m/s)*

$C =$ *Celeridad de la onda (m/s)*

$g =$ *Aceleracion de la gravedad (m/s²)*

Figura 22. Diagrama de sobrepresiones en un cierre rápido de una válvula



Fuente. (Alayza, 2015)

1.23.4. Cierre lento.

Durante el cierre lento, el tiempo de cierre de la válvula es mayor que el tiempo crítico, debido a que la presión máxima está por debajo de la señalada en el caso anterior, esto surge gracias a que la depresión de la onda elástica alcanza a la válvula antes de que se complete el medio ciclo e impide el aumento de presión. (Alayza, 2015)

Ecu (38).

$$T_c > 2 \frac{L}{C}$$

En tal caso se implementará la ecuación de Michaud-Vensano para el cálculo de la sobrepresión, teniendo en cuenta que en esta expresión no se consideró la compresibilidad del agua ni la elasticidad de la tubería:

Ecu (39).

$$\Delta H = \frac{2 * L * V}{g * T}$$

Donde:

$\Delta H =$ *Sobrepresion (m. c. a)*

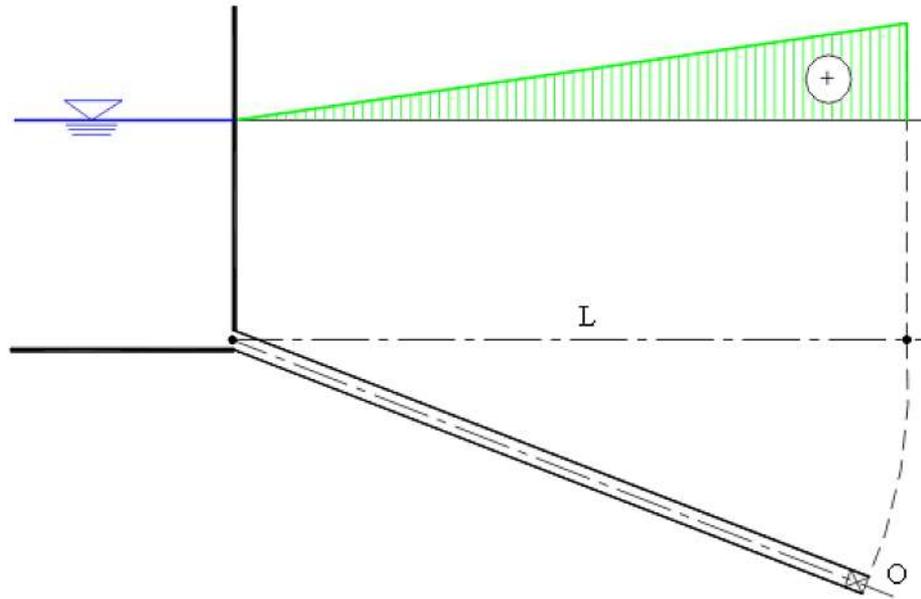
$V =$ *Velocidad del fluido(m/s)*

$L =$ *Longitud de la tuberia (m)*

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

$t =$ *Tiempo de cierre de la valvula (s)*

Figura 23. Diagrama de sobrepresiones en un cierre lento de una válvula



Fuente. (Alayza, 2015)

1.23.5. Fuerza de arrastre sobre la válvula de impulso.

En el periodo de aceleración el flujo se incrementa lo suficiente para cerrar la válvula de impulso, todo esto debido a que las fuerzas de arrastre y la presión en el agua son iguales al peso de la válvula de impulso. Para el estudio, la fuerza en la válvula se puede representar como una fuerza de arrastre dada por la ecuación (Lizana, 2018).

Ecu (40).

$$F_d = C_d * A_d \left(\frac{\rho * V_0^2}{2} \right)$$

Donde:

$F_d = \text{Fuerza de arrastre sobre la valvula de impulso (N)}$

$C_d = \text{Coefeciente de arrastre}$

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

$V_0 = \text{Velocidad del fluido al iniciarse el cierre } \left(\frac{m}{s}\right)$

$A_d = \text{Area proyectada de la valvula de impulso (m}^2\text{)}$

El coeficiente de arrastre varía según la trayectoria de la válvula de impulso, J. Krol desarrolló una ecuación que relaciona el coeficiente de arrastre con la trayectoria de la válvula “S”:

Ecu (41).

$$C_d = \frac{0,435 - 0,275 * S + 10^{(0,52-6,85*S)}}{S}$$

Donde:

$S = \text{Carrera de la valvula de impulso (pulg)}$

$C_d = \text{Coeficiente de arrastre}$

Según las investigaciones de D. Stevenazzi en 1942, para alcanzar el máximo rendimiento de un ariete, es necesario que la sección de descarga de la válvula de impulsión sea igual a la sección de la tubería de alimentación.

1.23.6. *Perdidas hidráulicas en la válvula de impulso.*

Después de realizar varias pruebas experimentales, J Krol determinó una expresión matemática para el cálculo de pérdidas originadas por la válvula de impulso (Lizana, 2018)

Ecu (42).

$$R_s = \frac{2,43 - 1,06 * S + 10^{(0,95-13,30*S)}}{S}$$

Donde:

$S =$ Carrera de la valvula de impulso (pulg)

$R_s =$ Perdida de la valvula de impulso

1.23.7. *Presión Dinámica.*

Cuando un fluido transita por un conducto, la inercia del movimiento genera un aumento de presión estática al colisionar sobre un área perpendicular al movimiento. Esto es generado por la presión dinámica, la cual está relacionada con la velocidad y la densidad del flujo. Esta presión tiene la capacidad de cerrar la válvula de impulso oponiéndose al peso de la válvula. (Lizana, 2018)

Ecu (43).

$$P = \frac{\rho V^2}{2}$$

Donde:

$\rho =$ Densidad del fluido (kg/m^3)

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

1.23.8. *Peso máximo para la válvula de impulso.*

Para el cálculo del peso de la válvula de impulso, el autor J. Krol desarrollo una expresión matemática para su cálculo. (Lizana, 2018)

Ecu (44).

$$0 < w < \frac{A_d * H_s * \rho * C_d}{M}$$

Donde:

$H_s =$ *Altura de suministro(m)*

$C_d =$ *Coeficiente de arrastre*

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

$M =$ *Sumatoria de perdidas*

$A_d =$ *Area proyectada de la valvula de impulso (m²)*

1.23.9. *Presión máxima y mínima de la instalación.*

De acuerdo al análisis de J.Ma. Mayol, la presión máxima causada por el golpe de ariete en los conductos está expresada por la ecuación 42 y la presión mínima está expresada por la ecuación 43.

Ecu (45).

$$H_{max} = H_s + \Delta H$$

$$P_{max} = \rho * g * H_{max}$$

Ecu (46)

$$H_{min} = H_s - \Delta H$$

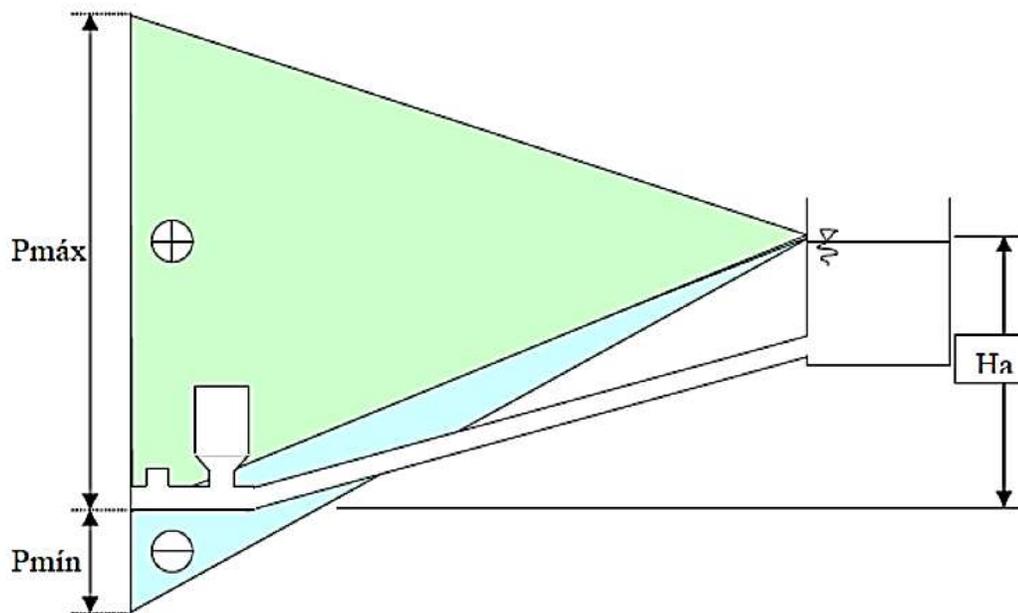
$$P_{min} = \rho * g * H_{min}$$

Donde:

$H_s =$ Altura de suministro(m)

$\Delta H =$ Presion generada por el golpe de ariete

Figura 24. Presiones máximas y mínimas de instalación.



Fuente. (Lizana, 2018)

1.23.10. Condiciones de resistencia al cortante de la válvula de impulso.

En las deformaciones por cizallamiento se generan fuerzas de tensión las cuales se pueden calcular mediante el método de la sección. Para aplicar este método se supone que las tensiones por cizallamiento se reparten uniformemente en el área de corte, es por ello que la

resultante de las fuerzas internas de la elasticidad se precisa como el producto del área de corte por la tensión de cizallamiento. (Lizana, 2018)

Ecu (47).

$$F = A_{cort} * \tau$$

Donde:

$F =$ Fuerza cortante (kg).

$A_{cort} =$ Area de corte (m^2)

$\tau =$ Tension por cizallamiento ($\frac{kgf}{cm^2}$)

Ecu (48)

$$A_{cort} = \pi * d * h$$

La tensión por cizallamiento debe ser menor o igual a la tensión admisible por cizallamiento.

Ecu (49)

$$\tau = \frac{F}{A_{cort}} \leq \tau_{adm}$$

Donde τ_{adm} es la tensión admisible por cizallamiento.

Ecu (47).

$$\tau_{adm} = \frac{\tau_f}{n}$$

$$\tau_{adm} = 0,6 * \tau_f$$

Donde:

$$\tau_f = \text{Limite de fluencia} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$$

$$n = \text{Coficiente de seguridad (1.5)}$$

1.23.11. *Potencia útil del ariete*

La potencia útil para elevar el fluido hasta el tanque de descarga es proporcional a la tasa del flujo multiplicado por la altura de descarga y el peso específico del agua. (Lizana, 2018)

Ecu (50).

$$Pu = \gamma * qb * H_i$$

Ecu (51).

$$H_i = hd + \sum h + h_i$$

Donde:

$$Pu = \text{Potencia util (w)}$$

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

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

$$H_i = \text{Altura de impulsión (m)}$$

$$\sum h = \text{Sumatoria de perdidas hidraulicas (m)}$$

$h_d =$ *Altura de descarga (m)*

$h_i =$ *Altura de impulsión (m)*

1.23.12. *Potencia recibida.*

La potencia recibida del agua de alimentación se calcula de la siguiente manera.

Ecu (52).

$$P_b = (Q_p + q_b) * \gamma * H_s$$

Donde:

$P_b =$ *Potencia recibida (w)*

$Q_p =$ *Caudal derramado por la valvula de impulso* $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

$Q_p + q_b =$ *Caudal de alimentacion*

1.23.13. *Eficiencia.*

Es la correlación entre la potencia útil entregada en la descarga y la potencia recibida en el ariete.

Ecu (53).

$$\eta = \frac{P_u}{P_b} * 100 \%$$

Remplazamos la potencia en la ecuación anterior.

Ecu (54).

$$\eta = \frac{qb * H_i}{(Qp + qb) * H_s} * 100 \%$$

1.23.14. Rendimiento volumétrico.

El rendimiento es la relación que existe entre el caudal de bombeo y el caudal de suministro del ariete hidráulico.

Ecu (55).

$$\eta_v = \frac{qb}{(Qp + qb)} * 100 \%$$

1.23.15. Energía cinética.

Es la energía que tiene un cuerpo producto de su movimiento, hace referencia al trabajo o capacidad que produce que un objeto pase de estar en reposo a moverse con una determinada velocidad. La cantidad de agua que fluye por la tubería de alimentación es directamente proporcional a la energía del choque. (Universidad Internacional de Valencia, 2018)

Ecu (56).

$$E_c = \frac{m * v^2}{2}$$

Ecu (57).

$$E_c = \frac{Q * \rho * v^2}{2}$$

1.23.16. *Rendimiento energético.*

El rendimiento de la bomba de ariete manifiesta el porcentaje de agua que se puede suministrar en relación al total captada por la bomba y cambia producto del término H/h, al ser mayor dicho valor el rendimiento decrece, a continuación, se puede apreciar la variación del rendimiento energético. (Jiménez)

Tabla 5.

Rendimiento energético para un ariete estándar

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: (Jiménez)

Capítulo 2. Manual bomba de ariete

La bomba de ariete es un artefacto que se puede articular de manera sencilla, la cual para su funcionamiento no requiere combustible o fuentes eléctricas, sí no que por el contrario ella misma se abastece de la energía que le proporciona un caudal de agua que cae desde una fuente ubicada en una mayor altura a la localizada por la bomba de ariete.

La bomba de ariete puede ser un instrumento de gran utilidad en lugares donde exista un flujo constante de agua, con una caída suficiente para el funcionamiento del ariete. Además de ello se pueden presentar las siguientes ventajas:

- La bomba de ariete no necesita una fuente externa de energía y su funcionamiento no requiere ningún costo de servicios.
- Sus partes son móviles, sencillas y económicas para su funcionamiento.
- Su eficacia es producto del amplio rango de caudal, suministrado al graduarse correctamente.
- Su fabricación puede lograrse de manera muy rápida y sencilla al usar materiales y herramientas comunes de ferreterías.

La bomba de ariete es un mecanismo que trabaja las 24 horas todos los días, no requiere combustible, no hay costos de operación y no genera contaminación al ambiente. (Sarmiento, 1982)

2.1 Condiciones del terreno para la bomba.

2.1.1 Escogencia del sitio adecuado.

El ariete se puede instalar en su sitio sin realizar antes una observación del lugar o medir el flujo del agua de la fuente, o las cabezas de suministro y entrega del sitio y quizás aun así funcione correctamente. No obstante es esencial conocer si el ariete es capaz de bombear la cantidad de agua que se requiere para satisfacer las necesidades o si se reemplaza por otra con mayor capacidad. Obtener esta información no es complejo solo se requieren obtener materiales muy sencillos y de fácil adquisición.

El lugar donde se asentará la bomba es determinante, puesto que de eso depende hasta que altura llevará el agua; ya que entre mayor sea la cabeza de suministro, el agua tendrá mayor fuerza de caída y así se incrementa la cabeza de descarga.

Es importante que la bomba se asegure al suelo, para que no se aflojen las conexiones debido a la vibración que se genera por el golpe de ariete, ocasionando que entre aire del exterior y disminuya su eficiencia.

Al fijarse la bomba al suelo se debe nivelar, para una óptima distribución de los esfuerzos en la bomba. De ser posible se recomienda proteger la bomba con una caseta, para que este más segura contra cualquier golpe eventual que se presente por causas externas.

En la tubería tanto de suministro como de descarga no se recomiendan cambios bruscos de dirección o de áreas lo cual afecta el rendimiento de la bomba.

La tubería de suministro debe de estar permanentemente sumergida en el agua, de lo contrario la bomba succiona aire, afectándose su operación.

Es oportuno también la instalación de un cheque en la tubería de descarga para evitar que la tubería se vacíe cuando el ariete deje de funcionar.

Las válvulas de impulsión y descarga, deben de moverse libremente y cuando se cierran deben de sellar en toda su área sobre sus asientos. (Sarmiento, 1982)

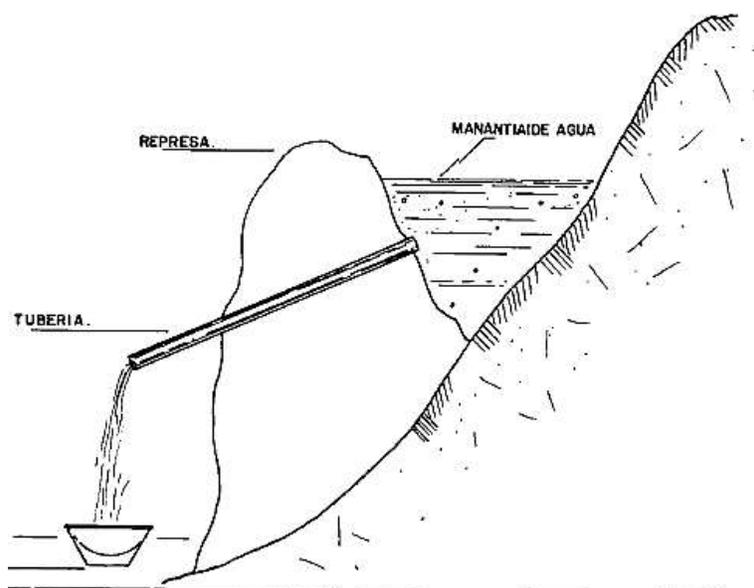
2.1.2 Manera de medir la cantidad de agua o caudal disponible de la fuente.

Lo primero que se debe tener en cuenta para operar el ariete es el caudal de agua que entrega la fuente determinándose si es lo suficiente o no para su operación. De acuerdo a donde se va a instalar el ariete se debe tener en cuenta la posición de las estaciones, puesto que son importantes las épocas de sequía donde se debe usar la medida del flujo de agua disponible y si es la cantidad de agua necesaria para bombearse y suplir el consumo. (Sarmiento, 1982)

2.1.3 Medida de pequeños flujos.

Cuando el flujo es pequeño se puede medir construyendo un estanque temporal y almacenando el agua en un recipiente. La cantidad de agua (litros) que se recoge en un minuto puede ser medida calculando el volumen en el recipiente. El estanque se puede elaborar de cualquier material pero se debe verificar que no contenga fugas de agua.

Figura 25. *Medida de caudales pequeños.*



Fuente. (Sarmiento, 1982)

Otra opción derivada de este método es simplemente tomar un balde con capacidad conocida y calcular el tiempo que dura en llenarse por completo; luego se aplica la siguiente fórmula teniendo en cuenta que el dato del tiempo debe estar medido en segundos. (Sarmiento, 1982)

Ecu (58).

$$L = \frac{60XC}{S}$$

Donde:

L: litros disponibles por segundos

C: Capacidad del balde en litros

S: Numero de segundos que tarde en llenarse el balde

2.1.4 Medida de Caudales de gran flujo.

Flujos de gran medida se pueden calcular a través del vertedero triangular de Thompson el cual se elabora con tablas unidas en un extremo de modo que no haya escapes entre ellas. El vertedero en forma de V se corta en la parte superior y la altura del agua que fluye a través del vertedero es medida aproximadamente 1 metro aguas arriba del vertedero, a lo cual se le puede aplicar la siguiente ecuación para determinar el caudal de la fuente. (Sarmiento, 1982)

Ecu (59).

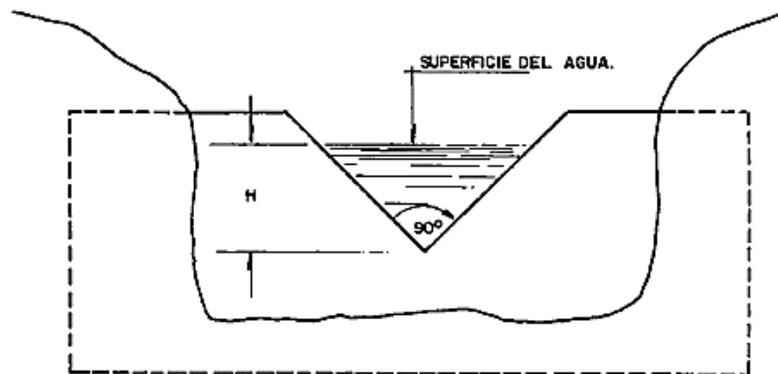
$$Q = 0.875 * H^{5/2}$$

Donde:

Q: Lts/ mIn

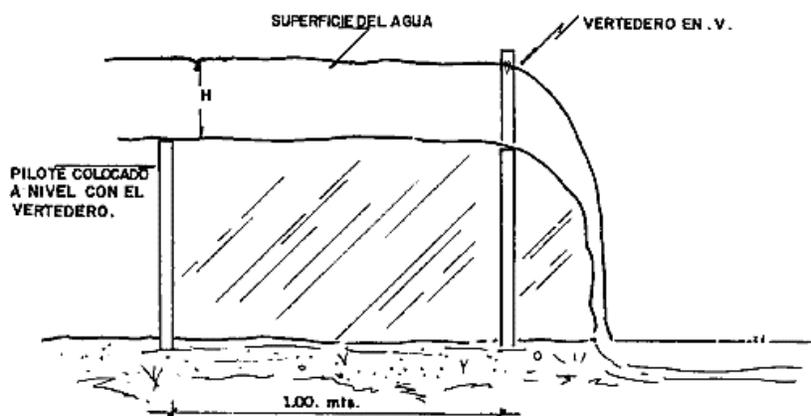
H: Cabeza en cm

Figura 26. Esquema para el aforo de caudales inferiores 1.



Fuente. (Sarmiento, 1982)

Figura 27. Esquema para el aforo de caudales inferiores 2.



Fuente. (Sarmiento, 1982)

H se mide desde el nivel del agua no afectada por el derrame del vértice. Las aristas deben estar bien biseladas y el chorro salir bien libre a fin de no alterar los resultados.

2.2 Descripción de las partes que integran el ariete y su funcionamiento.

2.2.1 Cuerpo de la bomba:

En este se almacena el agua proveniente de la fuente y se genera el fenómeno del golpe de ariete con su visible incremento de presión, es por ello que se debe fabricar en materiales fuertes para resistir los esfuerzos repetitivos que se presentan en su interior. (Sarmiento, 1982)

2.2.2 Válvula de impulsión:

La capacidad que tiene el ariete depende de la válvula de impulsión porque permite la descarga del agua al tanque de almacenamiento, según la calibración que se le dé.

Esta es una parte vital del ariete y deberá ser proyectada de tal manera que su área y velocidad puedan ser ajustada por medio del giro de la tuerca para tal operación. Un área apreciable y una alta velocidad permiten un alto caudal que fluirá a través de la válvula

originándose un pulso de golpe de ariete de gran fuerza, necesario para elevar el agua a altas cabezas.

Un área pequeña y una baja velocidad, permitirán impulsos más rápidos y entregara grandes caudales de agua a bajas cabezas.

Otro mecanismo de apertura y cerrado de la válvula es la accionada por resortes pero presenta la deficiencia de que el material con que se fabrica se va fatigando originado su ruptura y suspensión de operación del ariete. (Sarmiento, 1982)

2.2.3 Frange de limpieza.

Se implementa en trabajos de mantenimiento en lo relativo a la limpieza interior de la bomba sin tener la necesidad de desmontar ninguna de sus partes, se debe tener en cuenta que en cada revisión se verifica el estado de las partes. (Sarmiento, 1982)

2.2.4 Válvula de entrega.

Esta parte previene que el agua se devuelva al cuerpo de la bomba, después de que el pulso de presión ha sido disipado.

Es el puente de comunicación entre el cuerpo de la bomba y la cámara de aire; la válvula de entrega no debe tener el orificio de paso del agua restringido si no que debe permitir su libre paso a la cámara de aire con muy poca obstrucción del flujo minimizándose las pérdidas a través de ella. (Sarmiento, 1982)

2.2.5 Cámara de aire (Campana).

Ideal que esta parte fundamental sea tan grande como sea posible para comprimir el cojín de aire del impulso de presión del ciclo del ariete favoreciendo un mejor y uniforme flujo por el conducto de descarga con menos perdidas por fricción.

Si la cámara de aire se llega a llenar totalmente con agua, el ariete golpeará fuertemente y puede resultar en la ruptura, cuando esto sucede el ariete debe ser detenido inmediatamente.

Se sugiere para calcular el volumen de la campana de aire y por consiguiente su tamaño calcular el volumen de agua que contiene la tubería de descarga. (Sarmiento, 1982)

2.3 Operación del ariete.

2.3.1 Calibración de la bomba.

La bomba debe calibrarse para que alcance su máximo rendimiento. Esta calibración no es algo complejo de realizar, una vez hecho esto se observará que el ariete bombeará distintas cantidades del líquido vital dependiendo de la graduación de la válvula de impulso. De acuerdo a lo dicho anteriormente, la capacidad de la bomba dependerá del tamaño de la válvula de impulso. (Sarmiento, 1982)

La cantidad de fluido que el ariete puede bombear y el número de ciclos de la válvula de impulso por minuto, se miden para distintas calibraciones de la válvula, los resultados se analizan para elegir el ajuste idóneo para la bomba. El ariete se calibra de la siguiente forma. (Sarmiento, 1982)

- a)** Se sujeta el vástago de la válvula de impulso hacia arriba, hasta que el cono de la válvula se impacte con su asiento, después, con la tuerca de ajuste de carrera se deja una tolerancia de 15 mm entre la superficie del sello y la válvula, se recomienda ajustar la contra tuerca por seguridad.

- b)** Se mantiene toda la válvula de impulso cerrada para permitir que el fluido ingrese en el cuerpo de la bomba hasta que se llene en su totalidad, una vez este llena se suelta la

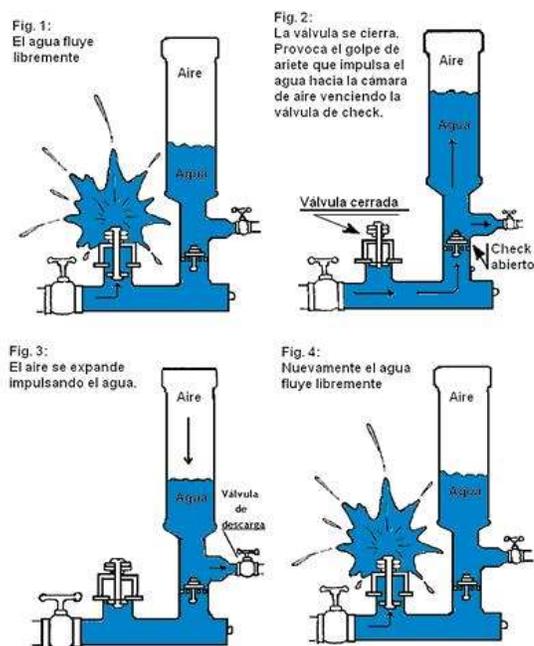
válvula y manualmente se mueve con movimientos hacia arriba y abajo hasta que se observe que el ariete está trabajando de forma automática.

c) Si la válvula permanece abierta dejando fluir el agua al exterior, se debe agarrar el vástago de la válvula, se para el flujo de agua y se ajusta la carrera de la válvula siguiendo los pasos anteriores, a una tolerancia de 13 mm. Dependiendo el caso se quitará o agregará peso a la válvula para mejorar su operatividad.

d) Cuando se verifique que la válvula de impulsión está trabajando correctamente, se repiten los pasos a y b para realizar un mejor ajuste de la carrera de 11, 9, 7, 5, 3 mm, midiendo para cada calibración la cantidad de fluido que suministra y los golpes por minutos que da.

e) Analizar los datos obtenidos para ajustar de forma ideal el ariete en la carrera de mejor suministro. Si las ratas de bombeo para los ajustes son parecidas, se agarra la carrera con menor avance, puesto que sale menor fluido al exterior. (Sarmiento, 1982).

Figura 28. Operación del ariete.



Fuente. (López & Estrada, 2010)

2.3.2 Funcionamiento de la bomba.

En el capítulo anterior se explicó de forma resumida la manera como trabaja la bomba de ariete. A continuación se detalla de una manera muy simplificada un pulso ideal de presión y velocidad, en el extremo del conducto de suministro y donde se sitúa la válvula de impulso durante un ciclo. (Sarmiento, 1982)

2.3.2.1 Periodo N°1.

Final de un ciclo antes del ariete, la velocidad del fluido dentro del ariete empieza a incrementar con la válvula de impulso abierta; existe una presión minuciosa negativa en el cuerpo del ariete. (Sarmiento, 1982)

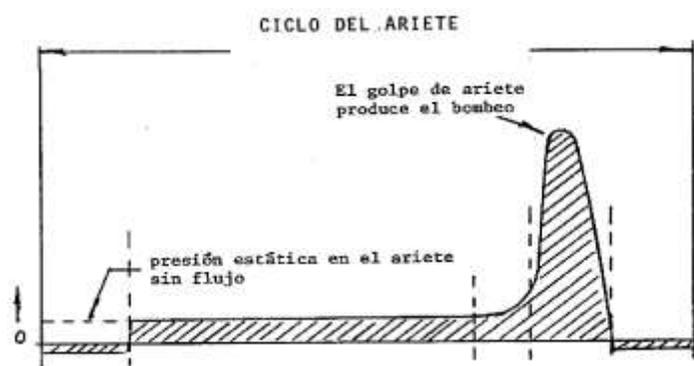
2.3.2.2 Periodo N°2.

El flujo se eleva a un máximo por medio de la válvula de impulso abierta. (Sarmiento, 1982)

2.3.2.3 Periodo N°3.

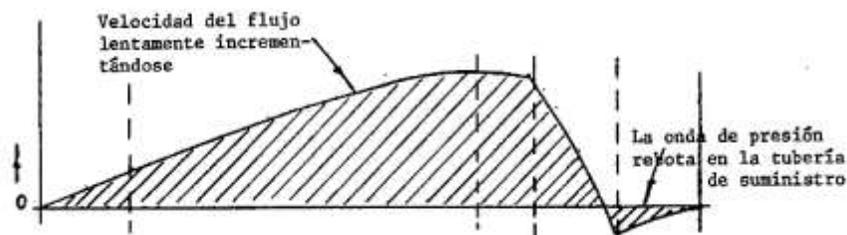
La válvula de impulso empieza a cerrarse, generando un aumento de presión dentro del ariete. La velocidad del flujo en la bomba alcanza su valor máximo, siendo controlada por el tamaño del ariete. (Sarmiento, 1982)

Figura 29. *Presión al final de la tubería de suministro junto al cuerpo de la bomba*



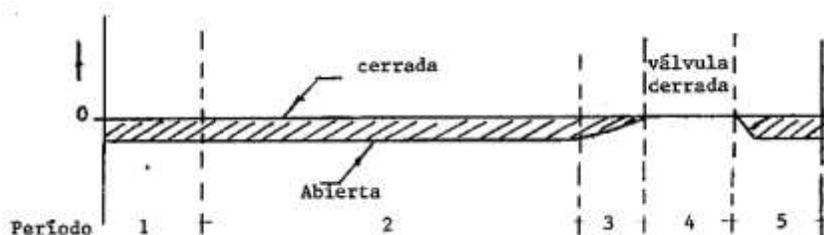
Fuente. (Sarmiento, 1982)

Figura 30. Velocidad del agua en la tubería de impulsión.



Fuente. (Sarmiento, 1982)

Figura 31. Posición de la válvula de impulso



Fuente: (Sarmiento, 1982)

2.3.2.4 Periodo N°4.

La válvula de impulso se encuentra cerrada, produciendo que el pulso de presión y/o golpe de ariete, suministre alguna cantidad de fluido a través de la válvula de descarga. La velocidad del flujo se reduce rápidamente en la bomba. (Sarmiento, 1982)

2.3.2.5 Periodo N°5.

El pulso de presión rebota hacia atrás en la tubería de suministro, produciendo una estrecha succión en el campo de la bomba. La válvula de impulso se abre bajo esta succión y por

su propio peso. El fluido empieza a circular una vez más por la válvula de impulso y el ciclo del ariete se repite nuevamente. (Sarmiento, 1982)

2.3.3 Eficiencia del ariete.

La eficiencia total del suministro del ariete, depende de los materiales utilizados en su construcción, el diseño y la calibración de la bomba. La eficiencia del ariete no puede ser calculada con base a principios básicos, si no de manera experimental, con base a los ajustes que se le realicen a la válvula de impulso y la cantidad de fluido que suministre la fuente. (Sarmiento, 1982)

2.3.4 Operación para reducir caudal del ariete.

De acuerdo a lo dicho anteriormente al ariete se le regula la válvula de impulso para obtener la mayor cantidad de fluido posible, pero en ocasiones es necesario reducir el caudal que suministra el ariete, para que esto sea posible se deba incrementar la carrera de la válvula de impulso, de esta forma se libera mayor cantidad de fluido por la válvula; también se obtiene cerrando minuciosamente la válvula que regula la cantidad de fluido que vienen hacia el ariete, normalmente esta válvula se instala 30 cm antes del cuerpo de la bomba. (Sarmiento, 1982)

2.3.5 Recomendaciones

Prevenir escapes en las conexiones de la bomba, como a lo largo de la tubería de conducción para que no existan pérdidas de presión.

Realizar las conexiones adecuadas en la tubería o manguera de conducción para prevenir las pérdidas de presión y de caudal.

Es fundamental instalar un tramo de manguera de alta presión de aproximadamente 2 m de longitud en la salida de la cámara neumática antes de conectarse con la manguera o tubería de

conducción, de no seguir esta recomendación y cometer errores en la instalación de la tubería galvanizada o PVC, puede producir que la cámara neumática explote producto de la vibración generada, de otra manera si se conecta la manguera de conducción directamente a la cámara neumática, puede que la manguera explote producto de la sobrepresión ocasionada.

Para prevenir partículas, elementos sólidos y suciedad se recomienda colocar un filtro en la entrada de la tubería de alimentación.

Evitar obstruir el agujero situado en la válvula de descarga.

Se recomienda fijar la tubería de conducción en varios puntos para evitar que la vibración deteriore la roscas con facilidad.

Fijar la bomba de ariete en una base de concreto o metálica mediante pernos.

No es conveniente instalar la manguera de conducción en terrenos ondulados puesto que genera bolsas de aire, fenómeno que eleva considerablemente la altura de bombeo, debido a esto disminuye el caudal final, se recomienda que la manguera de conducción continúe una trayectoria plana o de subida continua, aunque esta sea más extensa.

Mantener una caída recomendable de 1 a 4 m. (Sarmiento, 1982)

2.3.6 Problemas y soluciones durante el funcionamiento de la bomba de ariete.

2.3.6.1 Ausencia de aire en la cámara neumática.

Causa. Debido a la obstrucción del agujero en la válvula de descarga, esto produce que no opere de manera satisfactoria el colchón elástico de aire que se forma para recibir el impacto del agua en la tubería de impulsión, de lo contrario se conforman fisuras en el tubo de impulsión del ariete o en sus conexiones y en algunas ocasiones se puede dañar el ariete.

Solución. Garantizar que el agujero situado en la válvula de descarga para el suministro de aire nunca este obstruido con suciedad.

2.3.6.2 El sello de alta presión no funciona de manera adecuada.

Causa. El sello de alta presión se encuentra desgastado y/o cristalizado.

Solución. Quitar la cámara neumática, remover el sello y verificar el estado del mismo, en caso que se encuentre en mal estado es necesario remplazarlo por uno nuevo.

2.3.6.3 Se ve limitada la cantidad de agua proveniente del caudal de suministro.

Causa. La carrera de la válvula pulsadora es muy extensa, debido a esto el ariete necesita gastar más agua de la que tiene disponible.

Solución.

En este caso se debe incrementar el impulso de la válvula disminuyendo su carrera, de esta forma se logra entregar más agua y afectar menos el funcionamiento del ariete.

Revisar y realizar un aforo nuevo del caudal de suministro.

Revisar que no estén mal las conexiones.

Revisar las perdidas en la tubería de descarga.

Revisar la calibración de la válvula de impulso.

Revisar que no haya suciedad en el cuerpo de la bomba.

Revisar el cheque de la tubería de descarga.

2.3.6.4 El ariete trabaja produciendo un ruido metálico.

Revisar que la válvula de alimentación de aire este permitiendo la cantidad de aire necesaria para su correcto funcionamiento, introducir por la parte inferior de la válvula de cheque; un chorro de agua que saldrá con cada ciclo del ariete por esta válvula.

Verificar que la válvula de alimentación de aire se encuentre en lado opuesto de la tubería de impulsión o por lo contrario el aire será suministrado con el fluido directamente al tanque de almacenamiento.

Examinar que no hallan escapes de aire en la campana a causa de malas conexiones.

2.3.6.5 El ariete bombea demasiado aire

Ajustar la válvula de alimentación de aire y limitar el volumen de aire que entra por ella, a través de la aguja de regulación.

Verificar que todas las conexiones estén bien ajustadas.

Verificar que la entrada de la tubería de impulso este todo el tiempo sumergido en el fluido

2.3.6.6 La válvula de descarga no trabaja como válvula de cheque.

Verificar el peso de regulación que tiene la válvula, puede tener más o menos del sugerido.

Revisar la limpieza y desgaste de la válvula.

2.3.6.7 La válvula de impulso no funciona.

Verificar que no exista algún tipo de suciedad u obstrucción en la tubería de impulso de la bomba.

Reducir el peso a la válvula, quitando las arandelas colocadas para dicho fin.

2.4 Mantenimiento de la bomba.

2.4.1 *Labores de mantenimiento.*

El mantenimiento incluye mantener limpios los filtros y rejillas, al igual que los depósitos de suministros y almacenamiento. A continuación, se detallará los pasos para realizar un mantenimiento óptimo a la bomba de ariete:

- i. Desarmar la bomba para quitar cualquier suciedad existente.
- ii. Lavar y/o limpiar la tubería general, verificando que no quede suciedad en las conexiones existentes.
- iii. Verificar la calibración de la válvula de impulso, ajuste de la tornillería en general, la cual puede estar floja por la vibración que produce el sistema.
- iv. Revisar los empaques y cambiar los que estén en mal estado.
- v. Mantener bien limpia la entrada de la tubería de impulso, lavar los filtros y rejillas.
- vi. Destapar la válvula de entrada de aire, hasta permitir que salga levemente.

Se recomienda realizar este mantenimiento a la bomba de ariete semanalmente, puesto que si ingresa cualquier objeto extraño puede bloquear y dañar algún de los componentes, parando la puesta en marcha de la bomba.

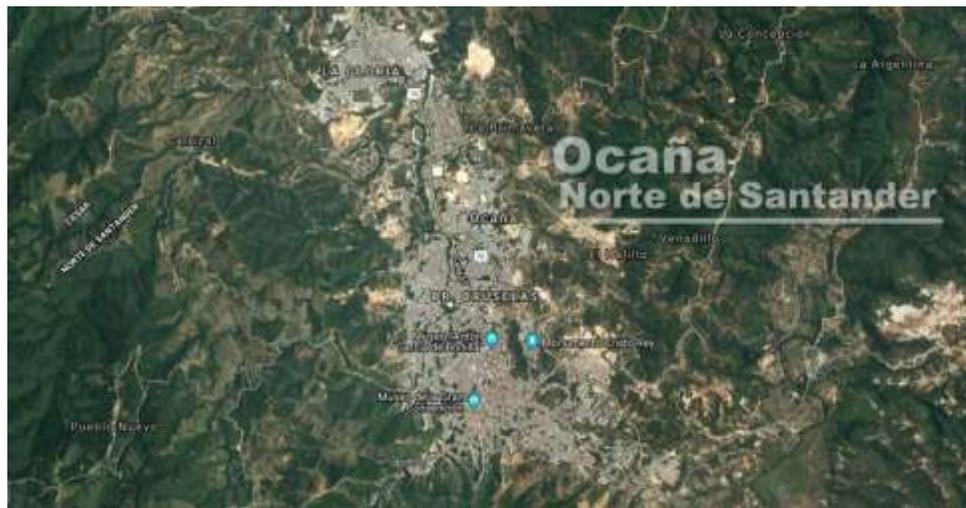
Capítulo 3. Construcción prototipo bomba de ariete

A continuación, se detallará el proceso llevado a cabo para la construcción y puesta en marcha de una bomba de ariete en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.

3.1 Descripción de la zona.

Ocaña es un municipio colombiano situado en la región occidental del departamento de Norte de Santander sobre la cordillera Oriental. Lo rodean montañas que alcanzan los 2600 msnm y está situada a 8° 14' 15" Latitud Norte y 73° 2' 26" Longitud Oeste, su altura sobre el nivel del mar es de 1.202 m. La superficie del municipio es 460Km², los cuales representan el 2,2% del departamento. La Provincia de Ocaña cuenta con un área de 8.602 km². Presenta una altura máxima de 2.065 m y una mínima de 761 m sobre el nivel del mar. (Wikipedia, 2021)

Figura 32. Descripción de la zona.



Fuente. (Google Maps, 2021)

3.2 Límites del municipio:

3.2.1 *Límites Departamentales.*

La interacción de los aspectos ambientales, económicos y sociales del territorio constituye la base primordial para establecer el uso, ocupación y aprovechamiento del suelo; además de la caracterización y valoración de los ecosistemas como base para la zonificación ambiental y el establecimiento del uso sostenible de la tierra.

Por el Norte. Limita con el municipio de Gonzáles (Departamento del Cesar).

Por el Occidente. Limita con el municipio de Río de Oro (Departamento del Cesar).

Por el sur. Limita con el municipio de San Martín (Departamento del Cesar). (Alcaldía Municipal de Ocaña en Norte de Santander, 2018)

3.2.2 *Límites Municipales.*

Por el Oriente. Limita con los municipios de San Calixto, La Playa y Abrego.

Por el Norte. Limita con los municipios de Teorama, Convención y El Carmen.

Por el sur. Limita con el municipio de Ábrego. (Alcaldía Municipal de Ocaña en Norte de Santander, 2018)

3.3 Clima.

La temperatura promedio de Ocaña es de 22 °C. Piso térmico templado, con una temperatura no menor a los 8 °C y no mayores a los 30 °C. Precipitaciones entre los 1.000 y 2.000 mm anuales, las lluvias durante el primer semestre son escasas, los veranos pueden ser cortos y pueden mostrarse días con nubosidad. Los meses de lluvia son, agosto, septiembre, octubre y noviembre, este último es aprovechado para los cultivos semestrales.

3.4 Relieve.

Ocaña presenta un relieve muy diverso, en su casco urbano se puede observar el terreno montañoso y la escasez de planicies. En sus alrededores se hallan grandes montañas que impiden su expansión urbana, sin embargo, la ciudad no ha dejado de crecer en los últimos años, ubicándose hoy en día varios barrios en grandes cerros, cómo la Santa Cruz, Cristo Rey y el Hatillo.

La Provincia de Ocaña, que por lo general está formado por rocas ígneas encierra zonas metamórficas que se introducen en el occidente desde el sur del municipio hasta Convención. Alrededor de la ciudad existen rocas granitoides gruesas con isleos intercalados de feldespatos, cuyos elementos han sido muy descompuestos por la erosión. Cubren el terreno formando una depresión extendida especialmente de La Floresta a Ábrego. La depresión se halla rodeada de formaciones porfídeas (materiales eruptivos paleozóicos, muy cuartozos) más duras que las rocas del fondo.

La particularidad de que los estratos cretáceos y metamórficos que cubren el flanco del cordón orográfico de Ocaña por la vertiente del río Magdalena se encuentran levantados y adosados a este relieve andino con buzamiento al occidente, prueban claramente que se elevó un núcleo ígneo con la consiguiente reapertura y resquebrajamiento de la cubierta cretácea, con lo cual los estratos superiores pudieron ser barridos fácilmente por la acción de los agentes atmosféricos y de las aguas corrientes. Esto explica por qué se desgastan más las rocas granitoideas que las porfídeas por lo cual la erosión ha podido ser más eficaz en la zona de la hoya de Ocaña.

La depresión de Ocaña se alarga hacia el sur aproximadamente por 3 kilómetros hasta Ábrego, aunque dividida en compartimentos. Las mismas rocas ígneas granitoideas constituyen

el fondo de la depresión y la base de la vertiente, la cual presenta formaciones esquistosas en las alturas, con lo que resultan propicias al cultivo, especialmente de la cebolla que es el más importante producto agrícola de la región. (Wikipedia, 2021)

3.5 Hidrografía.

El suelo Ocañero está regado por afluentes del Río Catatumbo, entre ellos el Algodonal, pero en su sector urbano por el Río Tejo y por varias quebradas.

El Catatumbo: nace con el nombre de Oroque, en la serranía de Jurisdicciones, en una rama de la Cordillera Oriental del municipio de Ábrego en una finca llamada antiguamente "Muela de Perro", hoy denominada "La María" donde está la laguna "Pan de Azúcar" de la que parte dos corrientes, la oriental llamada de "Las Doradillas" que se convierte en el Río Oroque y la occidental o de "Las Chorreras", que da vida al Río Frío.

Ambas descienden por vertientes abruptas con rumbo sur-norte. Antes de Ábrego, en las veredas del "Otro Lado" y Soltadero" se unen las dos vertientes tomando el nombre de río de "Los Carates" que al recibir las aguas de la quebrada de "Los Pozos" recibe el nombre de Algodonal para atravesar la Llanada de Abrión, pasa por el boquerón de Angostura, precipita en la depresión de Ocaña donde recibe al río Tejo; cambia su rumbo hacia el noroeste y sigue bordeando las faldas de la sierra de Teorama, el nombre de algodonal lo conserva hasta el puente del carretable que une los municipios de Teorama y San Calixto. Continúa para recibir más adelante la quebrada del Banco unida a la Búrbura; sigue su curso nordeste hasta recibir la quebrada Tiradera o Cartagena, y allí describe un arco en cuyo fin recoge las aguas del Tarra: después de esta afluencia el Catatumbo toma dirección Norte y describe otra gran curva hasta recibir las aguas del río San Miguelito y traza otro arco hasta la desembocadura del Río de Oro,

luego de lo cual penetra en territorio venezolano y vierte finalmente sus aguas al lago de Maracaibo.

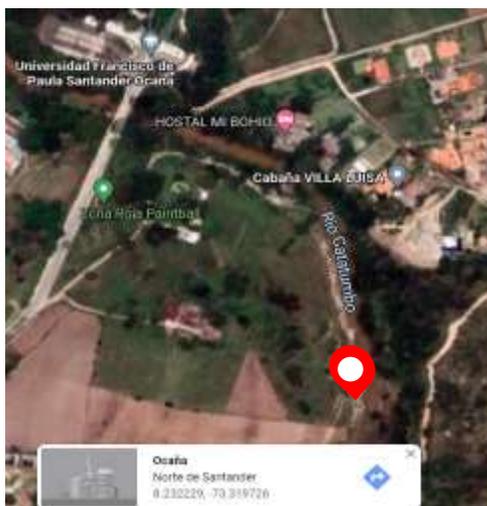
Tiene una longitud de 45 km desde su nacimiento hasta su desembocadura. Como Algodonal tiene una longitud de 40 kilómetros.

El Río Tejo. Con 20 km, recoge todas las aguas de la depresión Ocañera e irriga el municipio. Durante varios siglos fue la principal fuente hídrica de los Ocañeros.

Las quebradas son numerosas pero por lo general se secan en determinadas épocas del año. Son de relativa importancia: La Cagona que también se denomina del Mal Nombre o del Enol porque recibe las aguas negras de Ocaña, desemboca en el Río Chiquito, con extensión de 4 km; también de aguas negras, que rinde su caudal al río Tejo. (Actualmente varias de ellas canalizadas). La quebrada del Estanco que forma en su recorrido una serie de cañones angostos que no permite que sus aguas sean utilizadas para la agricultura. La Quebrada de Venadillo con extensión de 5 km, La de La Vaca con 3 km y La Quebrada Seca con 2 km. (Wikipedia, 2021)

3.6 Localización exacta para la puesta en marcha de la bomba de ariete.

Figura 33. Localización exacta 1.



Fuente. (Google Maps, 2021)

Durante la selección del lugar para la instalación de la bomba se tuvo en cuenta que dicho lugar presentara la pendiente más pronunciada del área a trabajar como requisito primordial para el funcionamiento de la bomba al igual que el acceso al sitio fuera factible para el transporte de los materiales puesto que las mangueras y demás eran de tamaño significativo. También se tuvo en cuenta que el cauce del río fuera óptimo para la puesta en marcha de la bomba y que en el lugar se facilitara la instalación del prototipo en ejercicios como la extensión de mangueras y toma de muestras (caudales) a diversas alturas llevando a cabo el estudio de campo en general de manera práctica.

El punto donde se instaló la bomba de ariete en el municipio de Ocaña señala las siguientes coordenadas $8^{\circ} 13' 56.02''$ N $73^{\circ} 19' 11.01''$ E, en la rivera del río Catatumbo; Como sitios estratégicos cercanos al lugar de instalación de la bomba se encuentran la Universidad Francisco de Paula Santander a 425.06 metros y el monasterio católico a 519.11 metros.

La zona en general presentaba un terreno plano con pendientes no pronunciadas y alta vegetación a la rivera del río.

Figura 34. *Localización exacta 2.*



Fuente. (Google Maps, 2021)

Figura 35. *Localización exacta 3*



Fuente. (Google Maps, 2021)

Figura 36. *Localización exacta 4.*



Fuente. (Google Maps, 2021)

3.7 Materiales para la construcción de la bomba de ariete.

Para el armado y puesta en marcha de la bomba de ariete se implementaron los siguientes materiales los cuales fueron cotizados en diversas ferreterías y analizados por medio de un análisis de costos, dicho análisis oriento a la mejor selección de los materiales teniendo en cuenta su costo y material de elaboración.

Tabla 6. *Materiales utilizados en la construcción de la bomba.*

Descripción	Unidad	Cantidad
Llave de paso 2" con rosca	und	1
Niples de 2" con rosca	und	6
Tee de 2" con rosca	und	2
Válvula cheque de pie de 2" con rosca	und	1
Válvula cheque cortina de 2" con rosca	und	1
Codo de 2" de 90° con rosca	und	1
Teflón grande	und	1
Pegamento para tubería mediano	und	1
Buje de 2" a 1 1/2"	und	1
Buje de 1 1/2" a 1"	und	1
Unión lisa de 3"	und	1
Buje de 3" a 2"	und	1
Adaptador hembra de 2"	und	1
Tubo de 3" a presión	m	1
Tapón liso de 3" a presión	und	1
Niples de 1"	und	1
Llave de paso de 1" con rosca	und	1
Adaptador macho de 1"	und	1
Adaptador macho de 2"	und	2
Manguera de 1"	m	40
Manguera de 2"	m	10

Fuente: Autores, 2021

3.8 Análisis de costos.

Se realizó un análisis de costos con la finalidad de determinar el precio final que tuvo la bomba construida, para dicho análisis se realizó una serie de cotizaciones en diferentes ferreterías (Ver anexo A.) para determinar el costo esperado y de esta manera asegurarnos de elegir los precios más factibles de cada uno de los materiales, en la tabla 7 se aprecia el análisis de costos.

Tabla 7. *Análisis de costos del prototipo de bomba de ariete.*

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO				VALOR PARCIAL				Costo esperado
		Agromateriales LA 13	Ferretería Bohórquez	Ferro Electri	Ferretería Quintero	Agromateriales LA 13	Ferretería Bohórquez	Ferro Electri	Ferretería Quintero	
Llave de paso 2" con rosca	1	\$ 30.000	\$ 32.000	\$ 31.600	\$ 33.200	\$ 30.000	\$ 32.000	\$ 31.600	\$ 33.200	\$ 157.133
Niple de 2" con rosca	6	\$ 4.700	\$ 5.300	\$ 5.000	\$ 5.100	\$ 28.200	\$ 31.800	\$ 30.000	\$ 30.600	\$ 148.100
T de 2" con rosca	2	\$ 14.000	\$ 14.500	\$ 15.000	\$ 15.300	\$ 28.000	\$ 29.000	\$ 30.000	\$ 30.600	\$ 146.100
Válvula de cheque de pie de 2" con rosca	1	\$ 82.000	\$ 93.000	\$ 85.000	\$ 86.000	\$ 82.000	\$ 93.000	\$ 85.000	\$ 86.000	\$ 428.500
Válvula cheque cortina de 2" con rosca	1	\$ 85.000	\$ 96.000	\$ 80.000	\$ 87.000	\$ 85.000	\$ 96.000	\$ 80.000	\$ 87.000	\$ 421.000
Codo de 2" de 90° con rosca	1	\$ 10.000	\$ 8.000	\$ 13.000	\$ 12.000	\$ 10.000	\$ 8.000	\$ 13.000	\$ 12.000	\$ 44.167
Teflón grande	1	\$ 2.300	\$ 3.000	\$ 3.000	\$ 2.800	\$ 2.300	\$ 3.000	\$ 3.000	\$ 2.800	\$ 12.700
Pegamento para tubería	1	\$ 15.000	\$ 17.300	\$ 15.200	\$ 18.000	\$ 15.000	\$ 17.300	\$ 15.200	\$ 18.000	\$ 78.083
Buje de 2" a 1 1/2"	1	\$ 4.000	\$ 4.800	\$ 5.200	\$ 4.300	\$ 4.000	\$ 4.800	\$ 5.200	\$ 4.300	\$ 21.167
Buje de 1 1/2" a 1"	1	\$ 1.700	\$ 2.200	\$ 2.500	\$ 2.000	\$ 1.700	\$ 2.200	\$ 2.500	\$ 2.000	\$ 9.217
Buje de 3" a 2"	1	\$ 14.400	\$ 15.000	\$ 14.500	\$ 15.100	\$ 14.400	\$ 15.000	\$ 14.500	\$ 15.100	\$ 74.617
Unión lisa de 3"	1	\$ 12.000	\$ 12.500	\$ 13.500	\$ 14.800	\$ 12.000	\$ 12.500	\$ 13.500	\$ 14.800	\$ 62.967
Metro de tubo de 3" a presión	1	\$ 45.700	\$ 35.600	\$ 45.850	\$ 38.500	\$ 45.700	\$ 35.600	\$ 45.850	\$ 38.500	\$ 188.542
Tapón liso de 3" a presión	1	\$ 30.000	\$ 28.600	\$ 28.700	\$ 26.500	\$ 30.000	\$ 28.600	\$ 28.700	\$ 26.500	\$ 139.600
Niples de 1"	1	\$ 1.600	\$ 5.000	\$ 4.000	\$ 5.000	\$ 1.600	\$ 5.000	\$ 4.000	\$ 5.000	\$ 11.233
Llave de paso 1" con rosca	1	\$ 21.000	\$ 25.000	\$ 27.000	\$ 23.700	\$ 21.000	\$ 25.000	\$ 27.000	\$ 23.700	\$ 112.200
Adaptador hembra de 2"	1	\$ 7.400	\$ 7.800	\$ 8.000	\$ 8.300	\$ 7.400	\$ 7.800	\$ 8.000	\$ 8.300	\$ 38.783
Adaptador macho de 1"	1	\$ 1.250	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 1.500	\$ 1.250	\$ 2.000	\$ 2.000	\$ 1.500	\$ 6.833
Adaptador macho de 2"	1	\$ 4.200	\$ 6.000	\$ 6.300	\$ 7.500	\$ 4.200	\$ 6.000	\$ 6.300	\$ 7.500	\$ 24.050
TOTAL						\$ 423.750	\$ 454.600	\$ 445.350	\$ 447.400	

Fuente: Autores, 2021

Para el cálculo del costo esperado se implementó la siguiente ecuación:

Ecu (60)

$$C_e = \frac{C_o + (4 * C_m) + C_r}{6}$$

Donde;

Ce: Costo esperado

Co: Costo optimista

Cm: Costo más probable

Cp: Costo pesimista

Como mejor opción para la elaboración del ariete se optó por adquirir materiales de la ferretería Agro materiales la 13 y otras teniendo en cuenta su economía y el material más apto para la elaboración del prototipo.

Una vez realizadas las cotizaciones y el análisis se procedió a la adquisición de los materiales y a la construcción del prototipo para la puesta en marcha del sistema.

3.9 Construcción prototipo bomba de ariete.

A continuación, se detalla el paso a paso para la construcción de la bomba de ariete:

1. En el primer paso del procedimiento se unió la llave de paso de 2" con la tee de 2" mediante un respectivo niple de 2".

Figura 37. *Paso 1*



Fuente. Autores, 2021

2. La tee de 2" se unió con un codo de 90° de 2" igualmente a través de un niple de la misma calibración.

Figura 38. *Paso 2*



Fuente. Autores, 2021

3. El codo de 90° de 2" se unió con la válvula cheque de pie de 2" a través de un niple.

Figura 39. Paso 3



Fuente. Autores, 2021

4. Se unió la tee con la válvula cheque de cortina de 2" mediante un niple.

Figura 40. Paso 4.



Fuente: Autores, 2021

5. Se unió la misma válvula cheque de cortina de 2" con otra tee de 2".

Figura 41. Paso 5.



Fuente. Autores, 2021

6. Se unió la tee de 2" con un adaptador hembra de 2" mediante un niple.

Figura 42. Paso 6.



Fuente: Autores, 2021

7. Al adaptador hembra se le unió 15 cm de tubo de 2" con pegamento para tubería de PVC a presión.

Figura 43. Paso 7.



Fuente. Autores, 2021

8. El anterior tubo se unió con el buje de 3" a 2" a través de pegamento para tubería de PVC a presión y luego al buje se le adapto la unión de 3".

Figura 44. Paso 8.



Fuente: Autores, 2021

9. A la anterior unión se le ensambla un metro de tubo de 3" y a dicho tubo se le adapto un tapón liso de 3" conformando así la cámara de aire de la bomba.

Figura 45. Paso 9



Fuente: Autores, 2021

- 10.** A la tee de 2" mencionada en el paso número 6 se le enrosco un adaptador macho de 2", ha dicho adaptador se le unió un buje de 2" a 1 1/2", posteriormente al buje mencionado se le instalo otro buje de 1 1/2" a 1" y finalmente se enrosco a la llave de paso de 1" mediante un niple de 1".

Figura 46. Paso 10.



Fuente: Autores, 2021

- 11.** A la válvula de 2" se le enrosco un adaptador macho y posteriormente un tubo para hacer el empalme con la manguera de 2".

Figura 47. *Paso 11.*



Fuente: Autores, 2021

12. Por último se instaló un adaptador macho y un tubo en la válvula de 1" para el respectivo empalme con la manguera de 1".

Figura 48. *Paso 12.*



Fuente: Autores, 2021

NOTA: es importante mencionar que al iniciar la construcción de la bomba todos los niples y adaptadores machos fueron enrollados con teflón para evitar cualquier tipo de fuga en el sistema.

3.10 Instalación y puesta en marcha de la bomba de ariete.

Una vez realizado el prototipo de la bomba se procedió a poner en marcha el sistema en la ribera del río Catatumbo en un punto estratégico seleccionado llevando a cabo los siguientes pasos:

1. Se extendieron los 10 metros de manguera de alimentación a lo largo del río comunicando el punto de captación con el prototipo construido, esta manguera tenía un diámetro de 2”.

Figura 49. *Extensión de la manguera de alimentación.*



Fuente: Autores, 2021

2. El prototipo fue instalado y se cerró la llave de paso de 2” para que la manguera de alimentación se llenara de agua.

Figura 50. *Instalación de la bomba.*



Fuente: Autores, 2021

3. Igualmente se extendieron los 40 metros de manguera de descarga y se unió al prototipo.

Figura 51. *Instalación de la manguera de descarga.*



Fuente: Autores, 2021

4. Se calibro la válvula de impulso con un tornillo 3/8" el cual cumplía la función de vástago, inicialmente se presionó de manera manual el tornillo hasta que la válvula tomo impulso e hizo el procedimiento automáticamente.

Figura 52. *Calibración de la bomba.*



Fuente: Autores, 2021

5. Una vez la válvula en funcionamiento y realizando el golpe de ariete se procedió a medir los caudales de descarga a diferentes alturas, dichos caudales fueron tomados y procesados para un análisis de resultados.

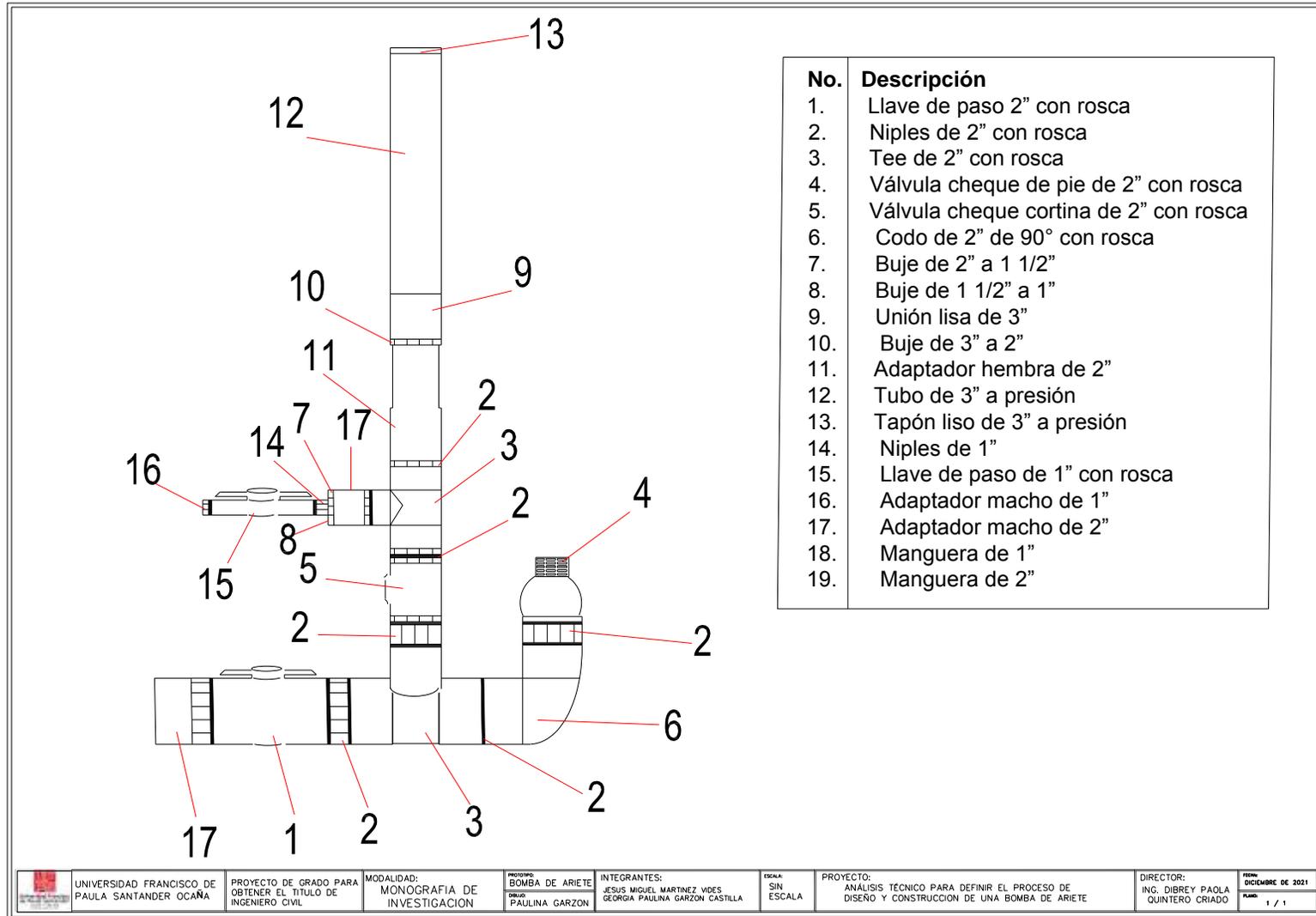
Figura 53. *Medición de caudales.*



Fuente: Autores, 2021

3.11 Planos.

Figura 54. Plano del prototipo construido.



Fuente: Autores, 2021

Capítulo 4. Análisis de eficiencia y eficacia del prototipo construido.

En este capítulo se realizará un análisis del rendimiento de la bomba construida basándose en los cálculos teóricos y los resultados reales obtenidos.

4.1 Cálculos teóricos.

A continuación, se detallan todos los cálculos hidráulicos necesarios para el análisis del funcionamiento de la bomba construida.

4.2 Consideraciones Preliminares.

4.2.1 *Altura de entrega o de descarga.*

La altura de entrega máxima a la cual se bombeo el agua en las pruebas de campo fue de 4,5m.

$$Hd = 4,5m$$

4.2.2 *Altura de suministro.*

Debido a las condiciones topográficas del terreno se aprecia que no hay una pendiente tan pronunciada por ende la altura de descarga es aproximadamente de 0,50m.

$$Hs = 0,5m$$

4.2.3 *Longitud de tubería de suministro.*

Teniendo en cuenta el punto de captación y la ubicación final de la bomba se tomó una longitud de tubería de suministro de 10m, estando así dentro de los límites recomendados para su buen funcionamiento según:

$$10m \leq L \leq 30m$$

$$L_1 = 10m$$

4.2.4 Longitud de tubería de descarga.

La tubería de descarga tiene una longitud de 40m.

$$L_2 = 40m$$

4.2.5 Diámetro de tubería de suministro.

Para la elección del diámetro de la tubería se tuvieron en cuenta los límites recomendados siendo estos los siguientes:

$$\frac{L}{D} = 150 ; \frac{L}{D} = 500$$

$$D = \frac{10}{150} ; D = \frac{10}{500}$$

$$D = 0,066m ; 0,020m$$

$$0,020m \leq D \leq 0,066m$$

Se optó por un diámetro de 2" estando dentro de los límites recomendados, además resulta siendo el diámetro más opcional por el factor económico.

$$D = 2"$$

$$0,020m \leq 0,0508m \leq 0,066m$$

4.2.6 Diámetro de la tubería de descarga.

Para la elección de la tubería de descarga se tuvo en cuenta los límites recomendados, los cuales se muestran a continuación:

$$d = \frac{D}{2} ; \frac{D}{4}$$

$$d = \frac{2''}{2} ; \frac{2''}{4}$$

$$d = 1'' ; 1/2''$$

Se eligió el diámetro de 1".

$$d = 1''$$

4.3 Determinación del tipo de régimen.

Para fines de cálculo asumiremos la velocidad de 1,5m/s, la temperatura promedio en el sector donde se realizaron las pruebas de campo en el rio Catatumbo es de 20°C, por ende, la viscosidad cinemática es $1,007 \times 10^{-6}$ (Tabla 1).

Remplazando los datos en la ecuación 10 obtenemos:

$$Re = \frac{V * D}{\nu}$$

$$Re = \frac{1,5 * 0,0508}{1,007 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 75670,31$$

Como $75670,31 > 4000$ nos encontramos en un régimen de flujo turbulento.

4.4 Cálculo de la rugosidad relativa.

Para este cálculo tenemos en cuenta la rugosidad absoluta del PVC puesto que este es el material de la tubería utilizada (Tabla 2).

$$\varepsilon = 0,0000015m$$

Remplazando en la ecuación 14 tenemos:

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

$$\varepsilon_r = \frac{0,0000015}{0,0508}$$

$$\varepsilon_r = 2,95 \times 10^{-5}$$

4.5 Cálculo del factor de fricción.

Para el cálculo del factor de fricción haremos uso de la ecuación 17.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 * \log_{10} \left(\frac{\varepsilon_r}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 * \log_{10} \left(\frac{2,95 \times 10^{-5}}{3,7} + \frac{2,51}{75670,31\sqrt{\lambda}} \right)$$

$$\lambda = 0,019$$

4.6 Cálculo de pérdidas por fricción.

Para el cálculo de las pérdidas por fricción en la tubería de alimentación utilizaremos la velocidad de 1.6 m/s demostrada por M. Hadzich en sus instalaciones experimentales, hacemos uso de la ecuación 18.

$$h_f = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

$$h_f = 0,019 * \frac{10}{0,0508} * \frac{1,6^2}{2 * 9,81}$$

$$h_f = 0,49m$$

4.7 Cálculo del caudal de suministro.

Para el cálculo del caudal de suministro o captado se empleó la ecuación 24.

$$Q = -2,2148 * \pi * \sqrt{\frac{D^5 * h_f}{L}} * \log_{10} \left(\frac{\varepsilon_r}{3,7} + \frac{0,5666 * v}{D^{1,5}} * \sqrt{\frac{L}{h_f}} \right)$$

$$Q = -2,2148 * \pi * \sqrt{\frac{0,0508^5 * 0,49}{10}} * \log_{10} \left(\frac{2,95 \times 10^{-5}}{3,7} + \frac{0,5666 * 1,007 \times 10^{-6}}{0,0508^{1,5}} * \sqrt{\frac{10}{0,49}} \right)$$

$$Q = 3,25 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 3,25 \text{ lts/s}$$

4.8 Elección de los coeficientes de pérdidas locales.

para la elección de los coeficientes de resistencia locales (ζ), tendremos en cuenta todos los accesorios involucrados en el sistema para determinar donde se producen esas pérdidas locales, dichos coeficientes los encontramos en la tabla 3 y tabla 4.

$$\zeta_1 = 6,9 \text{ (Valvula de globo roscada 2")}$$

$$\zeta_2 = 0,9 \text{ (Tee roscada 2")}$$

$$\zeta_3 = 0,95 \text{ (Codo roscado 2")}$$

$$\zeta_4 = 2,1 \text{ (Valvula de retencion 2")}$$

$$\sum \zeta = 10,85$$

4.9 Cálculo de la velocidad en la válvula de impulso.

Se realizó este cálculo con la ecuación 27

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 * g * H_S}{1 + \lambda * \frac{L}{D} + \sum \zeta}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 * 9,81 * 0,50}{1 + 0,019 * \frac{10}{0,0508} + 10,85}}$$

$$V_2 = 0,79 \text{ m/s}$$

4.10 Cálculo de la presión dinámica.

Para realizar el cálculo de la presión dinámica se implementó la ecuación 43.

$$P = \frac{\rho V^2}{2}$$

Donde la densidad del agua a 20°C es de 998,2 kg/m³ (Tabla 1).

$$P = \frac{998,2 * 0,79^2}{2}$$

$$P = 311,49 \text{ Pa}$$

4.11 Cálculo de la energía cinética.

Para este cálculo se empleó la ecuación 57.

$$E_C = \frac{Q * \rho * v^2}{2}$$

$$E_C = \frac{0,00325 * 998,2 * 0,79^2}{2}$$

$$E_C = 1,01 \text{ Joule}$$

4.12 Cálculo de pérdidas en la tubería de descarga.

Para el cálculo de las pérdidas por fricción en la tubería de alimentación utilizaremos la velocidad de 1 m/s asumido, hacemos uso de la ecuación 18.

$$h_f = \lambda * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

$$h_f = 0,019 * \frac{40}{0,0254} * \frac{1^2}{2 * 9,81}$$

$$h_f = 1,53m$$

En las pérdidas locales tenemos:

$$h_{loc} = 0,35m$$

Para el cálculo de las pérdidas inerciales hacemos usos de la ecuación 32.

$$h_{iner} = \frac{L}{g} * \frac{dv}{dt}$$

$$h_{iner} = \frac{40}{9,81} * \frac{1}{40}$$

$$h_{iner} = 0,10m$$

4.13 Cálculo de la altura de desarrollo del ariete.

Para este cálculo se empleó la ecuación 31.

$$H = H_d + h_f + h_{loc} + h_{iner}$$

$$H = 4,5 + 1,53 + 0,35 + 0,10$$

$$H = 6,48m$$

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

4.14.1 Cálculo de la celeridad.

El cálculo de la celeridad se realiza con la ecuación 34.

$$C = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{E_0 * D}{E * \delta}}}$$

$$E_0 = 220 \times 10^7 \text{ Pa. (Tabla 1)}$$

$$E = 3,0411 \times 10^9 \text{ Pa.}$$

$$D = 0,0254 \text{ m.}$$

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

$$C = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{220 \times 10^7 * 0,0508}{3,0411 \times 10^9 * 0,005}}}$$

$$C = 493,14 \text{ m/s}$$

4.14.2 Cálculo del tiempo de cierre de la válvula.

Para este cálculo tendremos en cuenta el tiempo real del cierre de la válvula para compararlo con el tiempo crítico y así poder determinar el tipo de cierre que se está produciendo.

Tabla 8. Pulsaciones por segundo.

Tiempo (s)	Pulsaciones	Pulsaciones/segundo
21	3	0,14
25	4	0,16
23	5	0,22
21	3	0,14
23	4	0,17
24	5	0,21
Promedio		0,17

Fuente: Autores, 2021

La bomba de ariete produce aproximadamente 0,17 pulsaciones/segundo a partir de esto se calcula el tiempo que tarda la válvula de impulso en cerrarse teniendo en cuenta que el tiempo que tarda una pulsación es el siguiente.

Ecu (61).

$$ta + tc = \frac{1 \text{ puls}}{0,17 \text{ puls/seg}}$$

$$ta + tc = 5,88 \text{ seg}$$

Donde:

Tc = Tiempo de cierre de la valvula de impulso.

Ta = Tiempo de apertura de la valvula de impulso.

Una pulsación equivale a la apertura y cierre de la válvula de impulso, donde media pulsación corresponde al tiempo de cierre.

$$ta = tc$$

$$tc = \frac{5,88}{2}$$

$$tc = 2,94 \text{ seg}$$

Para el cálculo del tiempo de cierre de la válvula teórico se empleó la ecuación 35.

$$t = 2 * \frac{10}{493,14}$$

$$t = 0,04 \text{ seg}$$

De lo anterior podemos concluir que:

$$tc > t$$

$$2,94 \text{ seg} > 0,04 \text{ seg}$$

Se puede afirmar que nos encontramos con un cierre lento en la válvula de impulso.

4.14.3 Cálculo de la sobrepresión existente dentro de la bomba de ariete.

La sobrepresión que se genera dentro del cuerpo del ariete se halla utilizando la siguiente fórmula:

Ecu (62).

$$\Delta\rho = \rho * C * v$$

Donde:

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

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

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

$$\Delta\rho = 998,2 * 493,14 * 0,79$$

$$\Delta\rho = 388879,35 \text{ Pa}$$

$$\Delta\rho = 0,389 \text{ Mpa}$$

En este caso como se trata del cierre lento en la válvula de impulso, la sobrepresión producida por el golpe de ariete se calcula con la ecuación 39.

$$\Delta H = \frac{2 * L * V}{g * Tc}$$

$$\Delta H = \frac{2 * 10 * 0,79}{9,81 * 2,94}$$

$$\Delta H = 0,55m$$

Se calcula la presión máxima y mínima con las ecuaciones 45 y 46 respectivamente. Pero antes se calcula la carga máxima y mínima en la instalación.

$$H_{max} = H_s + \Delta H$$

$$H_{max} = 0,50 + 0,55$$

$$\mathbf{H_{max} = 1,05 m}$$

La presión máxima en la instalación es:

$$P_{max} = \rho * g * H_{max}$$

$$P_{max} = 998,2 * 9,81 * 1,05$$

$$\mathbf{P_{max} = 0,010 Mpa}$$

$$H_{min} = 0,5 - 0,55$$

$$\mathbf{H_{min} = -0,05 m}$$

La presión mínima en la instalación es:

$$P_{min} = \rho * g * H_{min}$$

$$P_{min} = 998,2 * 9,81 * 0,05$$

$$P_{min} = 0,00049 \text{ Mpa}$$

4.14.4 Cálculo de la potencia útil del ariete.

La potencia se halla utilizando la ecuación 50, primero se debe calcular el caudal de bombeo mediante la siguiente ecuación.

Ecu (63).

$$qb = \frac{1}{T} * \frac{\pi D^2}{4} \int_{T_a}^{T_a+T_d} v(t) dt$$

Para este cálculo utilizamos los tiempos encontrados en los ensayos hechos por J.A. Eytelwein, donde el tiempo de aceleración es 0,9seg, el tiempo de bombeo es 0,052seg y el tiempo de retroceso es de 0,048seg, donde:

$$T = T_a + T_d + T_r$$

$$T = 0,9 + 0,052 + 0,048$$

$$T = 1 \text{ Seg}$$

$$qb = \frac{1}{1} * \frac{\pi * 0,0508^2}{4} \int_{0,09}^{0,9+0,052} 0,79 dt$$

$$qb = 8,33 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{ciclo}$$

Remplazamos en la ecuación 50.

$$Pu = \gamma * qb * H_i$$

$$Pu = 998,2 * 9,81 * 8,33 \times 10^{-5} * 6,48$$

$$Pu = 5,28 \text{ W}$$

4.14.5 Cálculo de la potencia recibida.

Para este cálculo se utilizó la ecuación 52.

$$Pb = (Qp + qb) * \gamma * H_s$$

$$Pb = (3,25 \times 10^{-3}) * 998,2 * 9,81 * 0,5$$

$$\mathbf{Pb = 15,91 W}$$

4.14.6 Cálculo de la eficiencia.

Para determinar la eficiencia se empleó la ecuación 54.

$$\eta = \frac{qb * H_i}{(Qp + qb) * H_s} * 100 \%$$

$$\eta = \frac{8,33 \times 10^{-5} * 6,48}{(3,25 \times 10^{-3}) * 0,5} * 100 \%$$

$$\mathbf{\eta = 33,22\%}$$

4.14.7 Cálculo del rendimiento volumétrico.

En este cálculo se empleó la ecuación 55.

$$\eta_v = \frac{8,33 \times 10^{-5}}{(3,25 \times 10^{-3})} * 100 \%$$

$$\mathbf{\eta_v = 2,56\%}$$

4.15 Resultados reales.

A continuación, se detallarán los resultados reales obtenidos en la prueba de campo realizada en el sitio de instalación de la bomba, donde se analizará y compararan con los datos teóricos calculados anteriormente.

Para el análisis de resultados de este tipo de equipos no es imprescindible una alta exactitud debido a su naturaleza de funcionamiento.

En la tabla 9 que se muestra a continuación se aprecian la comparación de los resultados calculados “Teóricos” y los datos obtenidos en campo “Reales” durante la puesta en marcha del prototipo, cabe mencionar que los siguientes resultados pertenecen a la altura máxima a la que realizamos la prueba que en nuestro caso fue de 4,5 m puesto que son los valores más representativos del estudio.

Tabla 9. *Valores teóricos vs valores reales.*

Parámetros	Valores teóricos	Valores reales	% Error	Fuente
Altura de suministro (m)	0,5	0,5	0%	Autores
Altura de descarga (m)	4,5	4,5	0%	Autores
Caudal de suministro (lts/seg)	3,25	3,03	7%	Colebrook-White
Caudal de descarga (lts/seg)	0,0833	0,0666	20%	Tacke J.H.P.M.
Caudal desechado (lts/seg)	3,1667	2,9634	6%	Tacke J.H.P.M.
Rendimiento energético (%)	33,22	29	13%	Chero-Lizana

Fuente: Autores, 2021

Se aprecia que el rendimiento energético del prototipo construido en este estudio es de 29% y el teórico calculado es de 33,22%, por ende, el valor real obtenido en campo es admisible.

4.15.1 Curvas para el análisis del prototipo construido.

Los resultados obtenidos en la prueba de campo se aprecian a continuación en las tablas 10, 11, 12, 13 respectivamente.

Con dichos resultados se realizaron unas graficas puesto que permiten observar las características de la bomba construida y de esta manera facilitando el análisis y entendimiento de los resultados mencionados anteriormente.

4.15.2 Análisis del caudal de descarga en función de la altura de descarga.

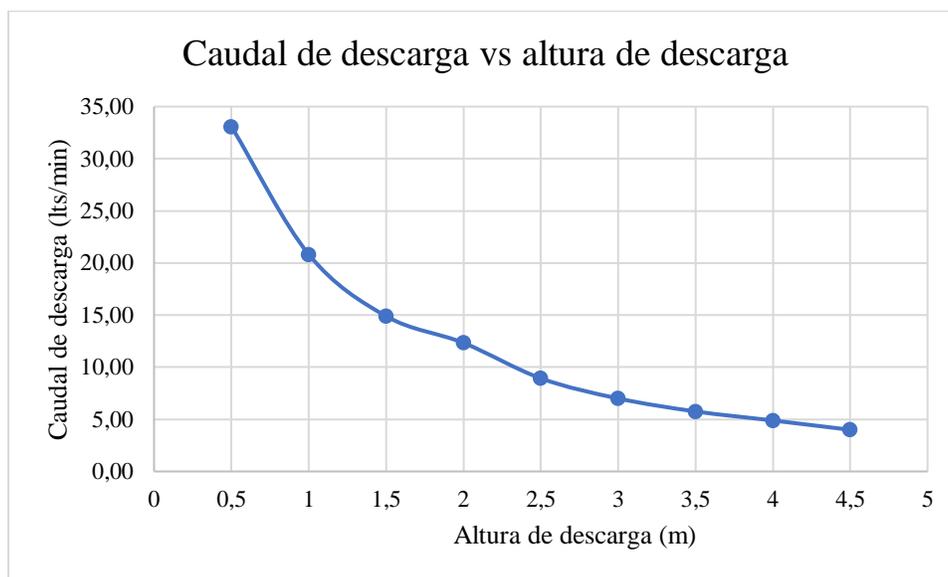
A continuación, apreciaremos los caudales de descarga o elevación obtenidos en las diferentes alturas a las que se realizaron las pruebas.

Tabla 10. *Caudal de descarga vs altura de descarga.*

Altura (m)	V (lts)	T (seg)	Q (lts/seg)	Q (lts/min)
0,5	10,5	19,04	0,5515	33,09
1	10,5	30,25	0,3471	20,83
1,5	10,5	42,29	0,2483	14,90
2	10,5	51,07	0,2056	12,34
2,5	10,5	70,52	0,1489	8,93
3	10,5	89,98	0,1167	7,00
3,5	10,5	109,43	0,0960	5,76
4	10,5	128,89	0,0815	4,89
4,5	10,5	157,72	0,0666	3,99

Fuente: Autores, 2021

Figura 55. Caudal de descarga vs Altura de descarga.



Fuente: Autores, 2021

En la ilustración 62 se observan los caudales de descarga obtenidos en las distintas alturas de la prueba de campo, se puede apreciar que el caudal de descarga va disminuyendo a medida que se va aumentando la altura de descarga. Esto se debe producto de la altura de descarga que ocasiona que el agua alojada en la manguera de alimentación se coloque en reposo, posterior a que se cierre la válvula de impulso, producto de esto el agua que se traslada de la cámara de aire a la manguera de suministro tendrá un movimiento retardado, por ende, a mayor altura decrece la velocidad del agua y a su vez el caudal también.

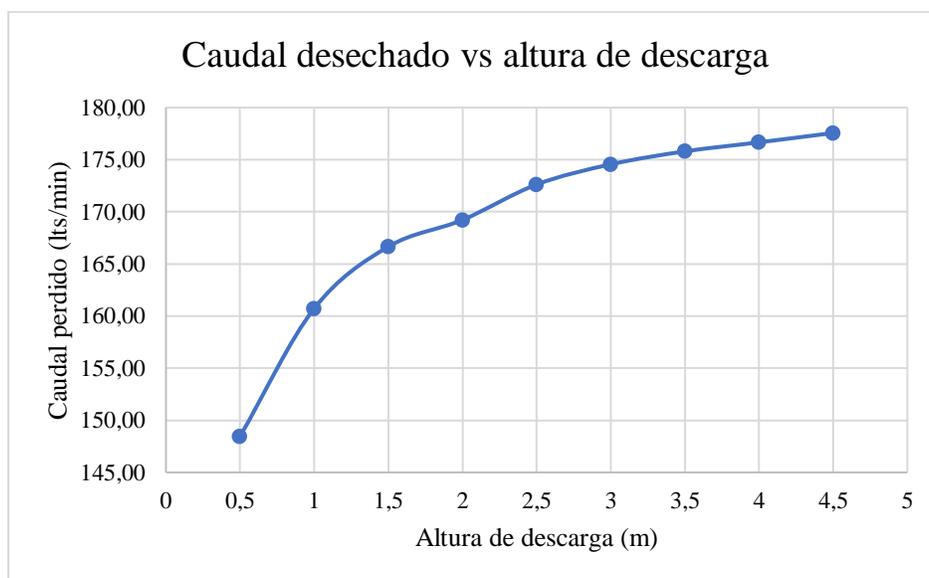
4.15.3 Análisis del caudal desechado en función de la altura de descarga.

En la tabla 11 se observa los caudales desechados obtenidos en las diferentes alturas a las que se realizaron las pruebas.

Tabla 11. Caudal desechado vs altura de descarga

Altura (m)	Q (lts/seg)	Q (lts/min)
0,5	2,4745	148,47
1	2,6788	160,73
1,5	2,7777	166,66
2	2,8203	169,22
2,5	2,8770	172,62
3	2,9092	174,55
3,5	2,9300	175,80
4	2,9445	176,67
4,5	2,9594	177,56

Fuente: Autores, 2021

Figura 56. Caudal de desecho vs Altura de descarga.

Fuente. Autores, 2021

En la ilustración 63 se observa que el caudal desechado incrementa a medida que la altura de descarga es mayor, esto pasa seguramente porque al incrementar la altura de descarga, el

tiempo de comienzo del ciclo aumenta por ende el tiempo en que se genera el caudal desechado también se incrementa, produciendo un aumento de dicho caudal.

4.15.4 Análisis del rendimiento volumétrico en función de la altura de descarga.

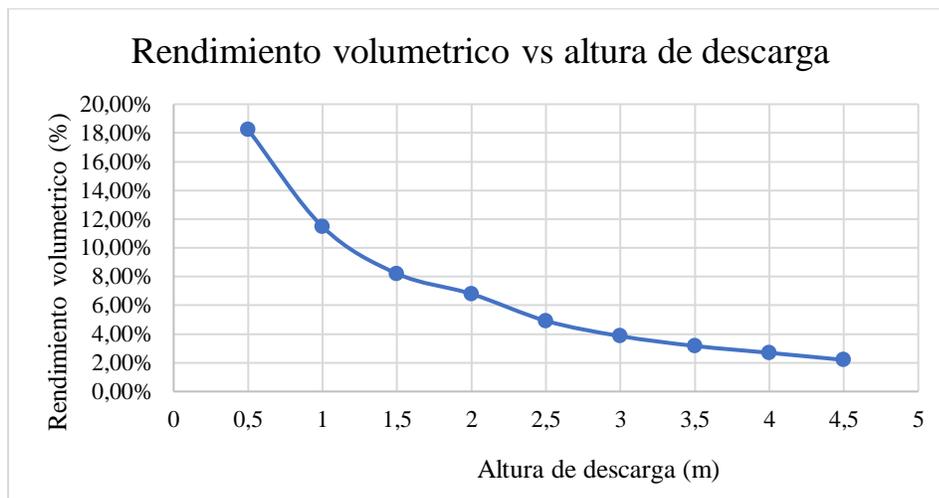
Los rendimientos obtenidos se aprecian a continuación en la tabla 12.

Tabla 12. *Rendimiento volumétrico vs altura de descarga*

Altura (m)	η_v (%)
0,5	18,22%
1	11,47%
1,5	8,21%
2	6,79%
2,5	4,92%
3	3,86%
3,5	3,17%
4	2,69%
4,5	2,20%

Fuente: Autores, 2021

Figura 57. Rendimiento volumétrico vs altura de descarga.



Fuente. Autores, 2021

En la **ilustración 64** se observa que el rendimiento es inversamente proporcional a la altura de descarga, es decir, a mayor altura menor es el rendimiento volumétrico, esto es producto de que al incrementar la altura de descarga también aumenta el caudal desechado, factor que influye de gran manera en el rendimiento de la bomba.

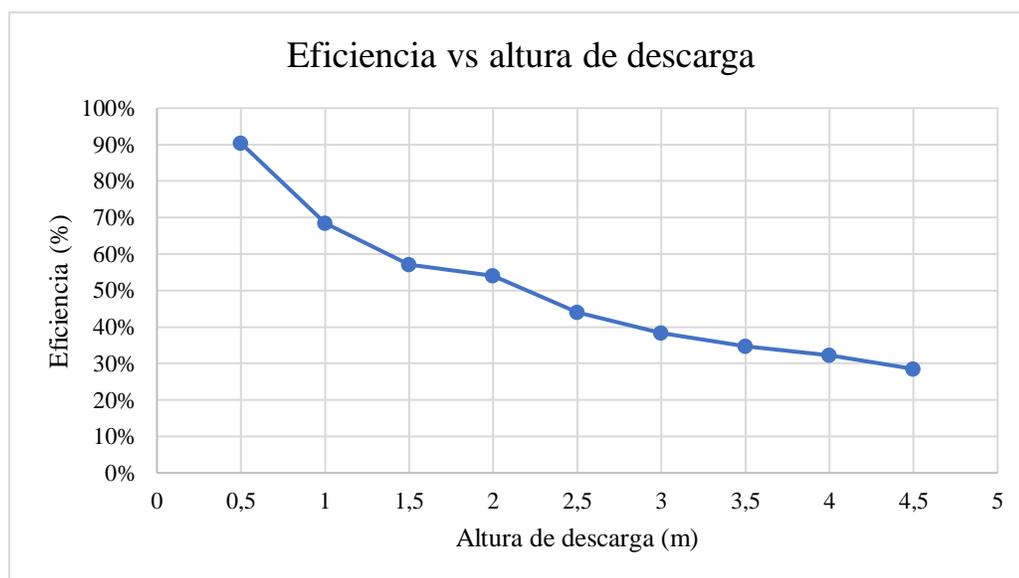
4.15.5 Análisis de la eficiencia en función de la altura de descarga.

En la tabla 13 se observa la eficiencia obtenida con el prototipo construido.

Tabla 13. Eficiencia vs altura de descarga.

Altura (m)	η (%)
0,5	90%
1	68%
1,5	57%
2	54%
2,5	44%
3	38%
3,5	35%
4	32%
4,5	29%

Fuente: Autores, 2021

Figura 58. Efectividad vs Altura de descarga.

Fuente. Autores, 2021

Se evidencia que la eficiencia es inversamente proporcional a la altura de descarga, es decir, a medida que aumenta la altura de descarga disminuye la eficiencia de la bomba, esto se debe a que a mayor altura también incrementa la longitud de la manguera de descarga, por ende,

las pérdidas por fricción incrementan en la manguera reduciendo la capacidad de bombeo y disminuyendo la eficiencia del sistema.

Conclusiones

De los resultados obtenidos en la prueba de campo se puede concluir que los caudales arrojados por el prototipo construido son admisibles para el riego y/o funcionamiento de una parcela pequeña, siendo 4,5m la altura máxima a la que suministro el agua con un caudal de 3,99lts/min. Estos resultados se pueden mejorar instalando la bomba en un punto donde se pueda tener un mayor desnivel, puesto que a mayor caída se obtendrá mayor caudal, en este caso el desnivel fue mínimo por las condiciones topográficas del terreno.

Las presiones obtenidas son mínimas, de esto se concluye que el prototipo construido no puede bombear el agua a grandes alturas, pero si se puede utilizar para trasladar el líquido vital de un lugar a otro uniendo largas distancias, como se mencionó anteriormente estos resultados se pueden mejorar teniendo una mayor altura de suministro, de esa manera las presiones serán mayores y por consiguiente el agua será elevada a una mayor altura.

El rendimiento de la bomba de ariete fue de 29%, el cual es admisible teniendo en cuenta las consideraciones nombradas en las referencias bibliográficas de los diferentes autores. El prototipo de la bomba de ariete fue diseñado bajo condiciones específicas de trabajo, Sin embargo es necesario mencionar que el rendimiento de esta bomba crecería si las condiciones fuesen más favorables.

Este sistema fue de fácil construcción, montaje y buena operatividad, además posee varias ventajas:

- Relativo bajo costo del equipo

- Facilidad en obtener las piezas o materiales de construcción

- Buen funcionamiento sin necesidad de electricidad, combustible ni trabajo humano mientras la fuente de captación se mantenga con agua puesto que el sistema va funcionar automáticamente sin problemas las 24 horas al día, al no necesitar una fuente de energía como las mencionadas anteriormente para ello solo es necesario realizar la inversión inicial

- El sistema es amigable con el medio ambiente lo que significa que no contraerá ningún tipo de contaminación.

El prototipo de bomba de ariete es un sistema cuya funcionalidad a punta a épocas de verano puesto que en invierno puede presentar ciertas dificultades para su funcionamiento debido al alto caudal que puede albergar la fuente hídrica en el punto del tanque de captación siendo esta una dificultad latente a la hora de bombear el agua, además el prototipo quizás no alcance la capacidad de realizar adecuadamente sus funciones y en el peor de los casos él aparato puede ser arrastrada por la fuerza del río.

Todas estas ventajas apuntan a que el prototipo de bomba de ariete es una alternativa viable para cualquier persona que tenga la posibilidad de implementarla y en especial para los

campesinos de la región puesto que contribuye al mejoramiento de su economía y en general al cuidado del medio ambiente.

Recomendaciones

Es recomendable poner filtros en la tubería de suministro para que al momento de captar el agua no ingrese suciedad y/o cuerpos extraños que puedan dañar el sistema y de esta manera entorpecer el buen funcionamiento de la bomba.

Este tipo de bombas se deber instalar en sitios cercanos a fuentes de captación como lo son ríos, quebradas y/o arroyos con la finalidad que el caudal desechado durante el funcionamiento del sistema retorne nuevamente a la fuente, de no ser así, tratar de recolectar esta agua para reutilizarla en otras actividades que les sea permitido.

A la hora de la instalación de la bomba es recomendable fijar bien el prototipo con el objetivo de evitar deslizamientos producto de las vibraciones ocasionada por la válvula de impulso al producirse el golpe de ariete, de esta forma también se evita problemas en la operatividad de la bomba.

Se recomienda realizar el manteamiento a la bomba de ariete semanalmente, puesto que si ingresa cualquier objeto extraño puede bloquear y dañar algún de los componentes, parando la puesta en marcha de la bomba.

Se recomienda que por medio de la facultad incentivar el uso de los arietes hidráulicos en el área rural a través de convenios mediante instituciones públicas. De tal forma que se evite la

migración de las personas a otros lugares y de esta forma reactivar el sector agropecuario, impulsando a su desarrollo y riqueza.

Referencias

- Acitores Martinez, F. J. (2012). *Estudio teorico y experimental de la bomba de ariete*. Madrid : Universidad Carlos III de Madrid.
- Alayza, E. A. (2015). *Diseño y construccion de una bomba de aire para una capacidad de 102 litros por hora y una altura de 8 metros*. Arequipa, Peru: Universidad Catolica de Santa Maria.
- Alcaldía Municipal de Ocaña en Norte de Santander*. (6 de Noviembre de 2018). Obtenido de <http://www.ocana-nortedesantander.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- Blanco, F. (2004). *Mecanica de fluidos*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Cantabria, U. d. (2021). *Open Course Ware*. Obtenido de <https://ocw.unican.es/>
- Dane. (2018). Obtenido de Departamento Administrativo Nacional de Estadística: <https://www.dane.gov.co/>
- Dulhoste, J.-F. (2014). *Mecanica de fluidos*. Merida: Escuela de Ingeniería Mecánica - ULA.
- Duran, F. A. (2018). *Conseptos basicos de un fluido*. Ocaña: Universidad Fransisco de Paula Santander Ocaña.
- fluidos, I. d. (2016). *Golpe de ariete*. Obtenido de <https://www.ingenieriadefluidos.com/golpe-de-ariete>
- Gomez Cortez , D., & Triana Salgado, D. R. (2015). *Diseño y construccion de una bomba de ariete*. Caldas: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.

Gonzales, M. (23 de Agosto de 2011). *La Guia*. Obtenido de <https://fisica.laguia2000.com/complementos-matematicos/diagrama-de-moody>

Google Maps. (2021). Obtenido de <https://www.google.com/maps/place/OCA%C3%91A/@8.2335067,-73.3296676,16z/data=!4m5!3m4!1s0x8e677be1b2be34cf:0x845985dd6adb65ac!8m2!3d8.2428378!4d-73.3637333?hl=es>

Gutiérrez, R. A. (12 de Octubre de 2014). *Sildeshare*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/RodrigoAlejandroGutierrez/ppt-bomba-de-ariete?ref=>

Itm. (2021). *Bombas Itms de Ariete*. Obtenido de BOMBAS ITM DE ARIETE: <https://www.itmcol.com/inicio-agroindustrial/soluciones/bombas-cero-costo-energetico/bomba-itm-de-ariete/>

Jaramillo, C. (2013). *Golpe de ariete*. Quito: Universidad Politecnica Salenciana.

Jiménez, J. M. (s.f.). *El ariete hidraulico taller de investigacion alternativa*. Fundacion con el soporte de tierra.

José María Romero Guerrero, L. L. (2014). *El ariete hidráulico. Proyecto e instalación en Ntongui (Angola)*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Lizana, A. C. (2018). *Diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico*. Piura: Universidad de Piura.

Martin , K. (2021). *Esss*. Obtenido de <https://www.esss.co/es/blog/flujo-turbulento/>

Montecinos Larrosa, A., & Gallardo Quiñones, L. (2018). Los secretos del ariete hidraulico. *Cubasolar*.

- Otí Isla, P. (2017). *Ariete hidraulico para riego, diseño, construccion y montaje*. Cantabria: Universidad de Cantabria.
- Pashkov, N., & Doolqachev, F. (1985). *Hidráulica y máquinas hidráulicas*. Moscu: Mir Moscu.
- Peralta Surco, H. (2015). *Aplicacion del golpe de ariete hidraulico para el aprovechamiento del agua de manantial en quequerana moho*. Puno, Peru: Universidad Nacional del Altiplano.
- Perez, M. (2018). *Bomba de ariete hidraulico*. Obtenido de <https://bombariete.blogspot.com/2018/04/tuberia-de-alimentacion-de-la-bomba-de.html>
- Raffino, M. E. (28 de Septiembre de 2020). *Consepto.de*. Obtenido de Conceptos de monografías: <https://concepto.de/monografia/>
- Rengifo Hincapié, S., & Gallego Cadena, J. D. (2016). *Diseño y construccion de un sistema de ariete hidraulico para el aprovechamiento de aguas lluvias*. Pereira: Universidad Tecnologica de Pereira.
- Sarmiento, G. (1982). *Diseño y construccion de una bomba de ariete*. Cali: Corporacion Autonoma de Occidente.
- Satel. (2021). Obtenido de <https://blog.satelimportadores.com/valvulas/valvula-de-pie-pozo-golpe-de-ariete/>
- Serna, R. G. (14 de Febrero de 2020). *Fluideco*. Obtenido de Que es una bomba de ariete y como funciona: <https://fluideco.com/que-es-una-bomba-de-ariete-y-como-funciona/>
- Staff, H. M., & Meadows, M. (2002). *Computer Applications in Hydraulic Engineering*. Haestad Press; 5th edición.

Universidad Internacional de Valencia. (6 de Julio de 2018). Obtenido de <https://www.universidadviu.com/es/actualidad/nuestros-expertos/que-es-la-energia-cinetica-definicion>

Wikipedia. (15 de Diciembre de 2021). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Oca%C3%B1a_\(Norte_de_Santander\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Oca%C3%B1a_(Norte_de_Santander))

Apéndices

Apéndice A. Cotizaciones de materiales para la construcción del prototipo.

AGROMATERIALES LA 13
Leonardo Jaime Angarita

NIT: 86278743-8 REGIMEN COMUNA
CRA 13A NO. 6-05 MERCADO OCAÑA
5890623-3187081806
9001 HASTA NO. 0005 VIGENCIA 6 MESES HABILITACION
Fecha: 15/11/2021 12:00:00

COTIZACION
Número: MC
Cartero: RCAJA01
Caja:
Vendedor: VENDEDOR

Código	Nombre	Cantidad	Total
LLAVE PASO PVC 2" PCPT LIV	1.0	28.000	
NIPLE PVC X 3 UND	1.0	4.700	
TEE ROSCADA 2 UND	1.0	31	
CHEQUE CORTINA 2" NAPOLY	1.0	188.000	
2" BS 15			
4.5X18.141 ADD 2" PRESION	1.0	10.000	
LINTA TEFION GRANDE	1.0	2.300	
INDUSTRIAL ATLANTIS UND			
PEGANTE PVC 1/16 CESOL UND	1.0	22.000	
NIPLE PVC X 1 1/2 UND	1.0	2.700	
TUBO PRESION 2 1/2 RD 21 X METRO	1.0	20.000	
TAPON PRESION 2 1/2" LISO UND	1.0	10.000	
REDUCCION GALV 2 X 1 1/2	2.0	15.000	
71 MACOPA UND			
NIPLE PVC X 1 UND	1.0	1.800	
LLAVE PASO PVC 1" PCPT LIV	1.0	12.000	
ADAPT MACHO 1" PRESION	1.0	1.250	
ADAPT MACHO 2" PRESION	1.0	4.200	

TOTAL : 321.751

CONTADO
Impreso por: AGROMATERIALES LA 13
NIT: 86278743-8 REGIMEN COMUNA
Manager: Ing. Eduardo Ascarán Tel: 86277344

FERRETERIA QUINTERA
LA GRAN ESCUINA

13/11/2021 COTIZACION REMISION No. 3482

Señores: C.C.
Dirección: Tel:

CANT.	ARTICULO	VR. UNIT.	VR. TOTAL
1	Niple Paso 2" rosca TIP.		28.000
1	Niple 2" Confortado 10cm		4.700
1	Tee 2" PVC sin rosca.		18.000
1	Válvula de cheque 2"		75.000
1	Válvula de Pie 2"		30.000
1	Codo 2" 90° PVC Col	12000	12000
1	Reducción 2" x 1 1/2"		6.500
1	Adaptador Bomba 1 1/2"		5.500
1	Reducción 2" x 1"		4.500
1	Niple 1" Confortado		5.000
1	Niple Paso 1" rosca		12.000
1	Adaptador macho 1" PVC		1.250
1	Adaptador macho 2" PVC		4.200

TOTAL \$ 266.500

CENT: [Signature]
C.NIT: 1665088011

Ferret
Javier Alonso Santiago Plaza

13/11/2021 COTIZACION No. 13495

DIAGNOSTICO: SYLVANIA PHILIPS Giegand Leiton Scomstar
NIT: 77.189.579 - 4 E-mail: Satheljaver@hotmail.com
Diag. 1 No. 4 - 99 Local 3 / La Jague de Ibico - Cesar / Cel: 309 288 7044 - Tel: 576 8356

Señores: JESUS MARTINEZ C.C / NIT
Dirección: Teléfono:

Cant/Ord	DETALLE	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
5	Niples Galv 2" x 4"	10000	50.000
2	Tee Galv 2"	14000	28.000
1	Codo Galv 2"	13000	13.000
1	Reduccion 2" x 1 1/2" Galv	9600	9.600
1	Adaptador Bomba pres 2"	10300	10.300
1	Reduccion 2" x 1" Galv	8600	8.600
1	Niple Galv 1 1/2"	4000	4.000
1	Adapt macho 1" pres	2000	2.000
1	Adapt macho 2" pres	6300	6.300
1	cheque cortina 2" blanc	92000	92.000
1	cheque pie tarbo 2" rosca	24000	24.000
1	Válvula Rosca rosca 2" macho	32000	32.000
1	Válvula Rosca rosca 1" macho	27000	27.000

SUMA S 352.200

TOTAL S 352.200

CUENTA DE COBRO

PERIODO
COTIZACION
REMISION

CLIENTE: Ferreteria Bolívarquez
DIRECCION: Cotización

CANT.	DETALLE	VR. UNIT.	VALOR TOTAL
1	Llave paso x 2"		16.000
1	Niple x 2" Galv		15.000
1	Tee x 2" Galv		9.000
1	Cheque pie x 2"		17.000
1	Codo x 2" Galv		8.000
1	tefion Industrial		3.000
1/32	pegante cesol		14.000
1	Buje Galv 2X1 1/2		12.000
1	Niple 1 1/2 Galv		9.000
1	Reduccion 2X 1 1/2 presion		4.000
1	Metro 1/2 x 2'		10.000
1	tapon 1/2 x 2'		3.500
1	Niple Galv 1"		5.000
1	Llave x 1 met		25.000
1	Macho x 1		2.000
1	Macho x 2		6.000

TOTAL S 158.500

