

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Estudio de factibilidad de un sistema de bombeo mediante
un mecanismo de ariete hidráulico para la Universidad del
Valle, Campus Sur

Trabajo de graduación presentado por Carlos Enrique Estrada
Morales para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería
en Tecnología Industrial

Guatemala

2023

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Estudio de factibilidad de un sistema de bombeo mediante
un mecanismo de ariete hidráulico para la Universidad del
Valle, Campus Sur

Trabajo de graduación presentado por Carlos Enrique Estrada
Morales para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería
en Tecnología Industrial


Guatemala

2023

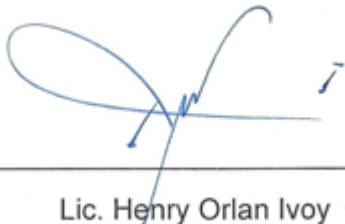
Vo.Bo:

(f) 
Ing. Marlon Alejandro Villeda Flores

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Marlon Alejandro Villeda Flores

(f) 
Ing. Mario Adolfo Sian Quisque

(f) 
Lic. Henry Orlan Ivoy

Fecha de aprobación: Santa Lucia Cotzumalguapa 09 de junio de 2023

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMEN	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Generales.....	2
2.2. Específicos.....	2
3. JUSTIFICACIÓN	3
4. MARCO TEÓRICO	4
4.1. Sistema de bombeo	4
4.1.1. Definición de sistema de abastecimiento.....	4
4.1.2. Elementos típicos y ejemplos.	4
4.1.3. Problemas del diseño.	5
4.2. Bombas hidráulicas.....	6
4.3. Bombas de desplazamiento positivo	7
4.3.1. Bombas oscilantes.....	8
4.3.2. Bombas rotativas.	9
4.4. Bombas roto dinámicas	10
4.4.1. Bombas radiales.	10
4.4.2. Bombas de flujo axial.....	11
4.4.3. Bombas de flujo mixto.....	11
4.5. Golpe de ariete.....	12
4.6. Teoría del golpe de ariete hidráulico.....	13
4.7. Tiempos de cierre de una válvula	14
4.8. Configuración del ariete hidráulico.....	15
4.9. Funcionamiento del ariete hidráulico	16
4.10. Ciclo de un ariete hidráulico.....	17
4.10.1. Periodo 1: tiempo de aceleración.	17
4.10.2. Periodo 2: tiempo de entrega o bombeo.	18
4.10.3. Periodo 3: tiempo de retroceso.....	18

4.11. Bomba de golpe de ariete	20
4.12. Características de la bomba de ariete hidráulico.....	20
4.13. Conceptos y propiedades de los fluidos	21
4.13.1. Densidad específica.....	21
4.13.2. Peso específico.....	21
4.13.3. Viscosidad.....	22
4.13.4. Comprensibilidad.....	23
4.13.5. Presión absoluta y relativa.....	23
5. METODOLOGÍA	25
FUNDAMENTO TEÓRICO PARA EL DISEÑO	25
5.1. Ubicación geográfica de la zona.....	25
5.2. Recursos disponibles.....	26
5.3. Determinar la altura disponible y la altura de descarga.....	27
5.4. Tanque de captación	28
5.5. Ubicación de la bomba de ariete hidráulico.....	29
6. FUNDAMENTO MATEMÁTICO PARA EL DISEÑO	31
6.1. Parámetros de diseño para bomba de ariete hidráulico.....	31
6.1.1. Caudal de suministro	31
6.1.2. Caudal de entrega.....	32
6.1.3. Altura de entrega o descarga.....	32
6.1.4. Altura de suministro.....	33
6.1.5. Tubería de suministro.....	33
6.1.6. Tubería de descarga.....	35
6.1.7. Número de Reynolds.....	35
6.1.8. Rugosidad relativa.....	35
6.1.9. Factor de fricción.....	36
6.1.10. Pérdidas mayores o de fricción.....	36
6.1.11. Velocidad en salida de las válvulas.....	37
6.2. Propiedades de los líquidos.....	38
6.2.1. Densidad.....	38
6.2.2. Peso específico.....	39
6.2.3. Volumen específico.....	39
6.2.4. Viscosidad.....	39

6.3. Cálculo de golpe de ariete	40
6.3.1. Celeridad.....	40
6.3.2. Tiempo de cierre de la válvula.....	41
6.3.3. Cierre brusco de la válvula.....	43
6.3.4. Cierre lento de la válvula.....	43
6.3.5. Presión dinámica.....	44
6.3.6. Presión máxima y mínima en la instalación.....	44
7. DISEÑO MATEMÁTICO DEL PROTOTIPO.....	46
7.1. Diseño de bomba de ariete hidráulico	46
Fases preliminares.....	46
7.2. Cálculo de altura de entrega o descarga	46
7.3. Cálculo de la altura de suministro.....	46
7.4. Cálculo de la longitud de la tubería de suministro	47
7.5. Selección de tubería de suministro.....	47
7.6. Selección de tubería de descarga	48
7.7. Cálculo del caudal de suministro	49
7.8. Cálculo del caudal de entrega	49
7.9. Cálculo del tipo de régimen	50
7.10. Cálculo de la rugosidad relativa.....	50
7.11. Cálculo de pérdidas de fricción en la tubería de suministro	51
7.12. Determinación de coeficientes de resistencias locales	51
7.13. Cálculo de la velocidad en la válvula de impulso	52
7.14. Tiempo de duración de un periodo	53
7.15. Cálculo de la presión dinámica.....	54
7.16. Cálculo de la energía cinética.....	54
8. FENÓMENOS FÍSICOS IMPLICADOS EN EL FUNCIONAMIENTO DEL ARIETE HIDRÁULICO	55
8.1. Cálculo de la celeridad de la onda de presión.....	55
8.2. Cálculo del tiempo de cierre de la válvula	55
8.3. Cálculo de sobrepresión	56
9. SELECCIÓN Y DISEÑO DE COMPONENTES DEL CUERPO DEL ARIETE HIDRÁULICO...	58
9.1. Cuerpo del ariete hidráulico	58
9.2. Cámara de aire	58

9.3. Válvula de impulso	59
9.3.1. Diámetro del pie de la válvula	59
9.3.2. Agujero de salida de la válvula de impulso.....	59
9.3.3. Grosor del pie de la válvula de impulso	60
9.3.4. Grosor del pie de la válvula de impulso	60
9.4. Diseño de la válvula de alimentación de aire	60
10. CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO.....	62
10.1. Consideraciones generales	62
10.2. Construcción del cuerpo de la bomba de ariete hidráulico.....	63
10.3. Construcción de cámara de aire	64
10.4. Construcción de válvulas de impulso.....	65
10.5. Construcción de válvula de entrega o cheque.....	66
10.6. Instalación de la tubería de suministro y descarga.....	67
11. VALOR TOTAL DEL ESTUDIO PARA EL SISTEMA DE BOMBEO	68
11.1. Costo de materiales en la instalación de la tubería de suministro	68
11.2. Costo de fabricación y materiales de la bomba de ariete hidráulico	69
11.3. Costo de materiales en la instalación de la tubería de descarga	70
11.4. Costo del proyecto	71
12. SOLUCIÓN DE FALLAS EN EL FUNCIONAMIENTO DEL ARIETE HIDRÁULICO	72
12.1. Diagnóstico y resolución de las fallas	72
12.2. Precisión del funcionamiento del ariete hidráulico.....	73
12.3. Mantenimiento de la bomba de ariete hidráulico	73
13. EVALUCIONES Y RESULTADOS.....	74
13.1. Análisis teórico matemático de la bomba de ariete hidráulico.....	74
13.2. Análisis matemático de la bomba de ariete hidráulico.....	75
13.3. Análisis del caudal de entrega en relación con la altura.....	75
13.4. Análisis de costos de fabricación de una bomba de ariete	76
14. CONCLUSIONES	77
15. RECOMENDACIONES	78
16. BIBLIOGRAFÍA	79

LISTA DE CUADROS

Tabla 1. Componentes y accesorios de un sistema de abastecimiento-----	5
Tabla 2. Componentes de una bomba de ariete hidráulico -----	16
Tabla 3. Comparaciones de la bomba de ariete hidráulico con otras bombas hidráulicas -----	21
Tabla 4. Rendimiento energético -----	32
Tabla 5. Alturas de descarga -----	46
Tabla 6. . Accesorios que se utilizarán para la construcción del cuerpo del ariete -----	63
Tabla 7. Accesorios que se utilizarán para la construcción de cámara de aire -----	64
Tabla 8. Accesorios que se utilizarán para la construcción de la válvula de impulso-----	65
Tabla 9. Accesorios que se utilizarán para la construcción de la válvula de entrega -----	66
Tabla 10. Accesorios que se utilizarán para la instalación de la válvula de la tubería de suministro -----	68
Tabla 11. Descripción de costos de materiales para la elaboración de ariete hidráulico -----	69
Tabla 12. Costos de fabricación de las válvulas y cámara de aire -----	70
Tabla 13. Costos de fabricación de la bomba de ariete -----	70
Tabla 14. Costos de instalación de la tubería de descarga -----	71
Tabla 15. Costos de total del proyecto -----	71
Tabla 16. Problemas en el funcionamiento y soluciones en la bomba de ariete hidráulico -----	72
Tabla 17. Parámetros de diseño -----	74
Tabla 18. Análisis de caudal de entrega -----	75
Tabla 19. Análisis de costo de fabricación -----	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de redes de distribución ramificada y mallada -----	4
Figura 2. Componentes de un sistema de bombeo -----	5
Figura 3. Sistema de aspiración para una tubería general -----	6
Figura 4. Esquema de bomba que suministra energía a un fluido -----	7
Figura 5. Bomba de émbolo o pistón -----	8
Figura 6. Esquema de una bomba de desplazamiento positivo oscilante -----	9
Figura 7. Bombas rotativas de paleta y pistón-----	9
Figura 8. Partes de una bomba centrífuga -----	10
Figura 9. Dirección de flujo de bomba axial -----	11
Figura 10. Impulsor de una bomba de flujo mixto-----	12
Figura 11. Conducto horizontal con valores constantes -----	13
Figura 12. Representación del golpe de ariete en la tubería-----	13
Figura 13. Representación gráfica de la propagación de una onda de presión en la tubería debido a un cierre instantáneo -----	15
Figura 14. Configuración de un ariete hidráulico-----	15
Figura 15. Esquema del funcionamiento de una bomba de ariete hidráulico -----	17
Figura 16. Periodo de aceleración-----	18
Figura 17. Periodo de entrega o bombeo-----	18
Figura 18. Periodo de retroceso-----	19
Figura 19. Representación de los 3 periodos de tiempos -----	19
Figura 20. Determinación de viscosidad -----	22
Figura 21. Compresibilidad de un fluido-----	23
Figura 22. Explicación de la fórmula $P_{abs} = P_e + P_{atm}$. -----	24
Figura 23. Ubicación geográfica de la Universidad del Valle Campus Sur-----	25
Figura 24. Fuente hídrica para abastecimiento de la bomba de ariete -----	26
Figura 25. Análisis de altura de caída -----	26
Figura 26. Uso de equipo topográfico para medir niveles -----	27
Figura 27. Diseño de la base donde estará instalado el tanque de suministro -----	28
Figura 28. Tanque de suministro-----	29
Figura 29. Diseño de bomba de ariete hidráulico -----	30
Figura 30. Entrada de la tubería de suministro -----	33

Figura 31. Ubicación de los puntos 1 y 2 -----	37
Figura 32. Variación teórica de la presión en la válvula, donde no se considera pérdidas de fricción -----	42
Figura 33. Variación práctica de la presión en la válvula, donde no se considera pérdidas de fricción -----	42
Figura 34. Presión máxima y mínima que se genera por el fenómeno del golpe de ariete hidráulico-----	45
Figura 35. Representación donde se producirán las pérdidas locales en la instalación -----	51
Figura 36. Diámetro del agujero de salida de la válvula de impulso -----	53
Figura 37. Componentes del diseño del cuerpo del ariete hidráulico -----	58
Figura 38. Diseño de cámara de aire -----	59
Figura 39. Diseño de la válvula de impulso -----	60
Figura 40. Diseño de válvula de alimentación -----	61
Figura 41. Partes para la construcción de la bomba de ariete -----	62
Figura 42. Cuerpo de bomba de ariete hidráulico -----	64
Figura 43. Construcción de cámara de aire -----	65
Figura 44. Diseño de para la construcción de la válvula de impulso -----	66
Figura 45. Válvula de retención dúo check para válvula de entrega-----	67

RESUMEN

El estudio de factibilidad se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad del Valle Campus Sur, cuentan con un caudal adecuado para la realización del mismo, este sistema de mecanismo de bombeo se reconoce como una solución de abastecimiento ya que emplea energía cinética del agua a través del fenómeno del golpe de ariete por lo cual no necesita ningún otro tipo de energía para el funcionamiento, el proyecto tiene como propósito la realización de un estudio técnico de los diferentes tipos de mecanismo de bombeos que pueden satisfacer las diversas necesidades de trasiego de fluidos entre depósitos, siendo tecnológicamente accesibles, eficientes y ecológicos.

El ariete hidráulico se diseña con seis componentes básicos que son: la tubería de alimentación, el paso de agua, la válvula pulsadora, la cámara de aire, el sistema de descarga y la base de sujeción. Se realizarán los cálculos necesarios para el diseño y la construcción del ariete hidráulico, que nos permita observar el comportamiento de la bomba en función de ciertos parámetros, y así llegar a conclusiones.

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio de factibilidad está enfocado en un sistema de bombeo para transportar el fluido por medio de energía limpia hacia diferentes lugares dentro del campus de la Universidad del Valle de Guatemala Campus Sur. Se realizó una investigación sobre los diferentes sistemas de bombeos y tipos de bombas para ofrecer nuevas alternativas tecnológicas. La bomba de ariete hidráulico se convierte en una perfecta alternativa porque es mucho más económica que las bombas eléctricas o de motor además de que no presenta fallas en el funcionamiento su mantenimiento es muy práctico y sencillo. Este tipo de bomba funciona por medio de energía cinética del fluido la cual es provocada por el impulso que se generará por el desnivel que tendrá la tubería de suministro hacia la bomba.

El estudio se desarrolló para reducir el consumo de energía eléctrica. La geografía de sus terrenos cumple para el funcionamiento de la bomba de ariete, el objetivo principal es cumplir con el caudal y la presión necesaria para distribuir el agua en las instalaciones y sea utilizada para diferentes necesidades.

Para el diseño de la bomba de ariete se establecieron parámetros como la altura de suministro, caudal de suministro, presión, diámetro de la tubería de suministro y la tubería de descarga. En la construcción del diseño de la bomba se seleccionaron materiales que cumplen con las condiciones de sobrepresiones que genera el golpe de ariete hidráulico al igual del costo total del diseño.

2. OBJETIVOS

2.1. Generales

Realizar un estudio de factibilidad técnica, económica y social en la implementación del diseño del sistema de ariete hidráulico para el abastecimiento de agua en las instalaciones de la Universidad del Valle Campus Sur.

2.2. Específicos

1. Diseñar el sistema de bombeo con ariete hidráulico en función de la capacidad disponible en el lugar de instalación, calculando el caudal mínimo que debe ingresar al ariete para ser bombeado buscando la mayor eficiencia.
2. Disminuir el consumo de energía eléctrica con el aprovechamiento de la gravedad y presión hidráulica.
3. Proporcionar a la universidad un sistema de suministro de agua económico, confiable y ecológico para satisfacer el consumo de las instalaciones.

3. JUSTIFICACIÓN

El presente estudio está encaminado en abastecer de agua las instalaciones de la Universidad del Valle Campus Sur para distintos usos. Además de aprovechar el recurso hídrico reducir costos de energía eléctrica, se continúa promoviendo el cuidado del medio ambiente.

La utilización del ariete hidráulico permitirá abastecer de agua a los diferentes módulos con la ventaja que no tienen que pagar energía eléctrica ni combustible debido a que el ariete hidráulico es auto sostenible. Esto es gracias a la infraestructura del ariete el cual aprovecha un salto de altura y el caudal disponible de las instalaciones.

Con el aprovechamiento de este sistema de bombeo se busca mejorar la productividad en la red de la tubería de agua potable y el sistema sanitario dentro de la universidad.

El sistema de bombeo mediante el ariete hidráulico es una las aplicaciones de las energías alternativas de la hidráulica, siendo el agua una fuente renovable de energía, al implementar este sistema de bombeo se produce una energía limpia, sin desecho tóxicos ni contaminantes. La propuesta para el diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico se propondrá en una universidad en la costa sur.

El impacto ambiental del proyecto es mínimo ya que las obras civiles son pequeñas y las transformaciones de energía es netamente mecánico, el cual no necesita energía externa por lo tanto no produce desechos.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Sistema de bombeo

4.1.1. Definición de sistema de abastecimiento.

Salvador de las Heras (2018), afirma que un sistema de abastecimiento de agua se forma por una estructura de tuberías que se conectan entre sí para transportar el caudal de un fluido por conducción por bombeo o por gravedad.

En un sistema de abastecimiento prevalecen varios aspectos que se deben considerar para garantizar que el caudal suministrado y la presión sean las adecuadas para abastecer las necesidades por las cuales se ha diseñado el sistema. (Heras, 2018 pág.287)

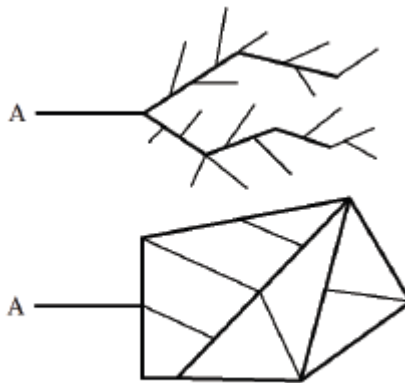


Figura 1. Tipos de redes de distribución ramificada y mallada

Fuente: Salvador de las Heras,2018

4.1.2. Elementos típicos y ejemplos.

Según Heras (2018 pág. 288), en un sistema de abastecimiento de agua se toman en cuenta diversos elementos típicos para la conexión de las redes como las tuberías de distribución que pueden clasificarse, según su función y diámetro, la bomba que hace circular el agua, entre otros elementos típicos y accesorios se pueden encontrar las válvulas de control, codos a 90 y 45 grados,

se tomara también en cuenta el terreno donde se instalara la red de agua potable el lugar de captación para alimentar la red.

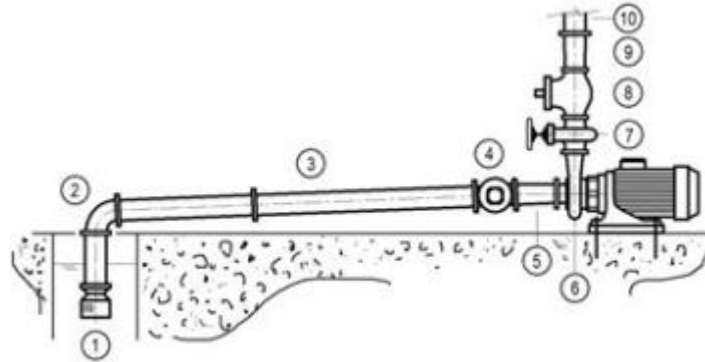


Figura 2. Componentes de un sistema de bombeo

Fuente: Heras 2018

No.	Descripción
1	Válvula de pie y colador de área no inferior a tres veces el área del conducto
2	Curva de radio amplio
3	Tubería de aspiración en posición ascendente hacia la bomba
4	Válvula con husillo en posición horizontal (no siempre presente)
5	Cono difusor excéntrico con generatriz superior horizontal
6	Bomba
7	Válvula de compuerta
8	Válvula de retención
9	Cono difusor concéntrico
10	Tubería de impulsión

Tabla 1. Componentes y accesorios de un sistema de abastecimiento

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Problemas del diseño.

Al momento que se diseña un sistema de bombeo es importante comprender como varían el caudal conforme el tiempo, por consiguiente, se sobre diseñan los sistemas de bombeo para que el sistema sea capaz de transportar un caudal constante. (Copyright © Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, 2018, págs. 21-23)

Lo básico que debemos tomar en cuenta al momento de diseñar un sistema de bombeo es el transporte del caudal de un fluido desde el tanque de captación hacia otro lugar, es primordial que ese fluido se desplace al lugar de destino con la misma presión para que no existan variaciones en la presión del caudal.

En el diseño de este tipo de sistemas de bombeo es necesario calcular y seleccionar el diámetro de las tuberías, tipo de bomba que cumpla con las especificaciones para abastecer cada instalación de la forma más económica posible.

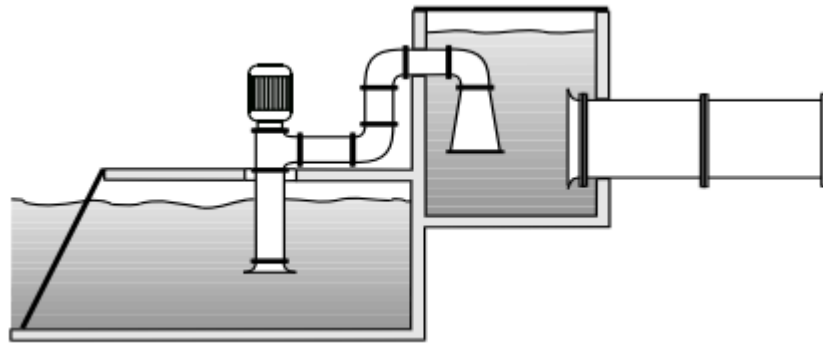


Figura 3. Sistema de aspiración para una tubería general

Fuente: Marigorta, Suárez & Francos, 1994

4.2. Bombas hidráulicas

Según Heras, Salvador (2018 pág.121) es una máquina que mediante un sistema mecánico intercambia energía por medio de un fluido que circula a través de la bomba. Se denominan máquinas de fluido las bombas, los compresores, los ventiladores, las turbinas hidráulicas, las turbinas de vapor y de gas. La función de una bomba hidráulica es generar trabajo por medio de un fluido incomprensible que producirá una transformación de energía mecánica a hidráulica para permitir el transporte del fluido a una instalación de agua potable.

Este tipo de bombas son capaces de absorber la energía para aplicarla al fluido y así convertir esa energía mecánica a través de un eje rotatorio en energía hidráulica, no todas las bombas por medio del eje rotatorio transmiten la energía por consiguiente a este tipo de bombas se le conoce como turbo máquinas. (Ortiz, 2021, pág. 16)

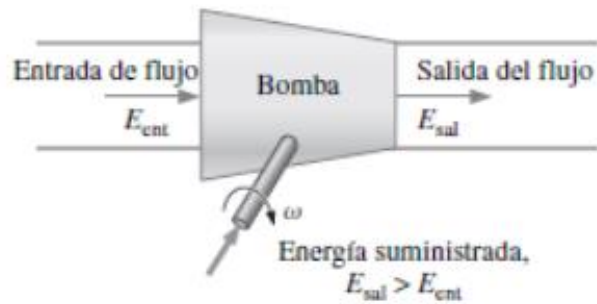


Figura 4. Esquema de bomba que suministra energía a un fluido

Fuente: Ortiz, 2021

4.3. Bombas de desplazamiento positivo

Heras, Salvador (2018) aborda este tema explicando que este tipo de bomba hidráulica impulsa un volumen fijo de un fluido en general, el caudal impulsado es por el mecanismo continua de impulsión donde se obtendrá compartiendo el volumen y las revoluciones producidas por el accionamiento del motor.

Sin embargo “una bomba de desplazamiento positivo, el fluido entra atraído por la depresión que se genera en la línea de aspiración como consecuencia del movimiento del mecanismo interno”. (Heras, 2018 pág.168)

Este tipo de bombas succionan un volumen fijo de cualquier líquido que a su vez lo comprime a presión para su descarga por medio de una boquilla también reciben el nombre de bombas alternativas ya que su funcionamiento se debe al movimiento alternativo con un embolo o pistón. (Ortiz, 2021, pág. 17)

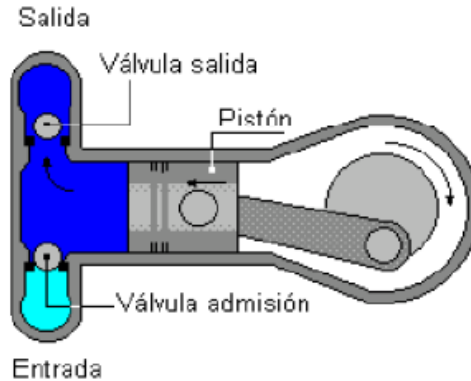


Figura 5. Bomba de émbolo o pistón

Fuente: Manuel Ortiz 2021

4.3.1. Bombas oscilantes.

Heras, Salvador (2018) menciona que este tipo de bomba de desplazamiento positivo pueden ser de embolo o membrana, las del tipo de embolo son las que captan el fluido por medio de aspiración que a su vez lo expulsa, a través del movimiento alterno en el embolo que se acciona mediante el mecanismo motor o manual.

La bomba oscilante de membrana puede trasladar por la acción que la presión hidráulica el fluido auxiliar, los dos tipos de bombas oscilantes requieren las sendas de válvulas de extracción y empuje que separan la cámara de pistón al sistema de extracción o del empuje. Las válvulas permanecen abiertas o cerradas aleatoriamente por la presión ejercida internamente en la cámara.

Este es un tipo de bomba de desplazamiento funcionan a presiones de 50.000 kPa que a través de variaciones de un volumen interno transporta el fluido por medio de la acción de un embolo contenido en un cilindro que contiene un tipo de válvulas en cada extremo de la entrada y la salida de la bomba, para garantizar que la presión no se pierda y se pueda controlar el golpeteo que origina las oscilaciones que se llevan a cabo cuando en el interior de la cámara se llena y a su vez se vacía. (Copyright © Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, 2018 pág.32)

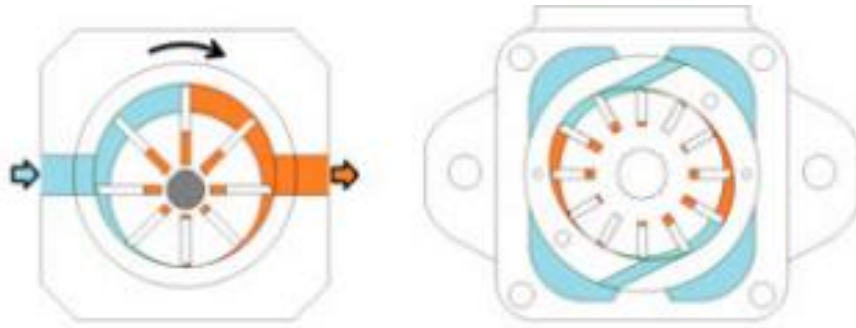


Figura 6. Esquema de una bomba de desplazamiento positivo oscilante

Fuente: Heras Salvador

4.3.2. Bombas rotativas.

Existen tres tipos de bombas rotativas como las de engranajes, de paletas, pistones, el tipo de bomba de engranajes está formada por engranajes externos e internos, las de paletas se constituye por paletas deslizantes o flexible y las de pistones suelen ser según su forma axiales o radiales, de estos tres tipos de bombas las de paletas y de pistón suelen ser las de mayor capacidad volumétrica ya que permite desocupar un caudal inestable con revoluciones continuas para ampliar el intervalo del caudal factible. (Heras, 2011, pág. 169)

Son de desplazamiento positivo trabajan a presiones de hasta 3.500 kPa. Transportan líquidos desde la aspiración hasta el extremo con presión mediante la acción de rotores, tornillos, engranajes, rodillos, que rotan dentro de una cámara rígida este tipo de bomba el desplazamiento se debe a la viscosidad del líquido para que el funcionamiento de la bomba y la presión ejercida no disminuye. (Copyright © Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, 2018 pág.32)

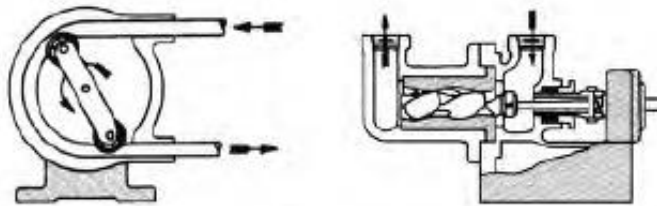


Figura 7. Bombas rotativas de paleta y pistón

Fuente: Copyright © Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, 2018.

4.4. Bombas roto dinámicas

Este tipo de bombas también conocidas como centrifugas se encargan de trasladar energía a un fluido por medio de un impulsor o rotor donde ingresa el fluido por medio de la succión de la bomba que sigue al centro del impulsor que se encarga de acelerarlo hasta que alcance una velocidad máxima seguidamente pasa por un difusor que convierte la velocidad de la carga a una carga de presión que se ve sale en la descarga de la bomba. (Copyright © Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, 2018 pág.28)

Heras, Salvador (2018) explica que las bombas rotodinámicas por diversos conceptos se pueden agrupar, pero las que la define son la dirección del flujo hacia la salida del rodete. La bomba centrifuga es el tipo de bomba rotodinámica más común que se dividen en radiales, axiales y de flujo mixto, el fluido que entra en el centro del rodete es atraído por una depresión la cual es generada al girar y al mismo tiempo es jalado por álabes con dirección radial.

4.4.1. Bombas radiales.

Este tipo de bomba rotodinámica es de las más corrientes el rodete está formado por un número de álabes que son curvados y su dirección es contraria con el sentido del giro del rodete, por el centro del rodete ingresa el fluido que es atraído por la depresión que al girar se genera y es atraído por los álabes en dirección del centro hacia afuera en forma radial. Toda la energía que aumenta un fluido en la bomba es contribuida principalmente por el rodete es evidente que el tamaño y su geometría determinan las características funcionales de la máquina, la energía que se genera es estática ya que el incremento de la energía cinética en el rodete se transforma en energía de presión por medio de difusores. (Heras, 2018 pág.131)

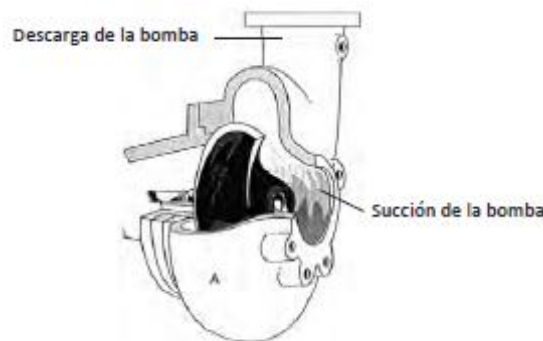


Figura 8. Partes de una bomba centrífuga

Fuente: Copyright © Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, 2018

4.4.2. Bombas de flujo axial.

En este tipo de bombas, sus vectores de velocidad absoluta del fluido en la entrada y la salida del rotor su componente no es radial, las bombas de tipo axial son especialmente para elevar un caudal grande a una altura mínima, la altura máxima para el funcionamiento es de 10 metros, se puede comparar su rendimiento con el tipo de bomba centrífuga. El tipo de rodete de estas bombas es abierto ya que su forma tiene similitud a un ventilador, donde el fluido entra en dirección del eje y logra un componente de giro por su paso por el rodete. (Heras, 2018 pág.132)

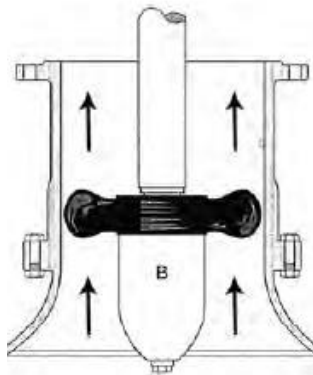


Figura 9. Dirección de flujo de bomba axial

Fuente: Copyright © Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, 2018

4.4.3. Bombas de flujo mixto.

Heras, Salvador (2018 pág. 132) explica que la bomba de flujo mixto tiene una posición intermedia entre la bomba radial y la bomba de flujo axial. La dirección de circulación del fluido a la salida del rotor no es necesariamente radial ni axial, ya que el desplazamiento dentro del rotor se acerca a una hélice cónica. La altura que se consigue con este tipo de bombas puede llegar a ser de 25 metros por rodete y la curva de potencia es casi siempre horizontal.

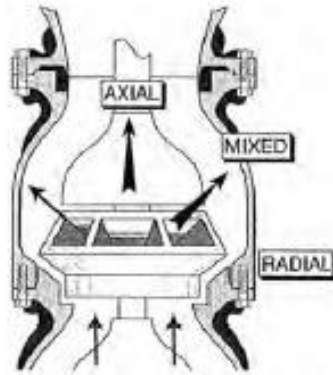


Figura 10. Impulsor de una bomba de flujo mixto

Fuente: Copyright © Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, 2018

Ariete hidráulico

4.5. Golpe de ariete

Meza González (2019 pág. 7) explica que el golpe de ariete se produce en las paredes de un conducto que es forzado cuando se modifica el movimiento repentinamente del líquido dicho en otras palabras es la sobrepresión que recibe la tubería cuando se cierra o se abre bruscamente la válvula. Un golpe de ariete hidráulico puede llegar a ser positivo o negativo esto se define de acuerdo como se produzca, cuando se cierra de repente la válvula es donde se produce el golpe de ariete positivo, cuando se abre bruscamente la válvula es donde se produce el golpe de ariete negativo.

En el fenómeno de golpe de ariete hidráulico se manifiestan ondas en forma oscilatoria que fluye en toda la longitud de la tubería esto origina un primer pico donde se registra una onda que marca una altura superior que obtiene la misma magnitud para el golpe de ariete positivo y negativo.

4.6. Teoría del golpe de ariete hidráulico

Según afirma Collazos Castro (2018 pág.22) este fenómeno se debe considerar en la sección transversal del conducto como el espesor y otros valores constantes como el eje horizontal como la longitud (L) para posibilitar el estudio de dicho fenómeno, la dirección del flujo será controlado por una válvula ubicada en la parte de abajo del sistema que se alimentara desde un dispositivo que mantendrá un desnivel constante esto permite que exista una variación de velocidad.

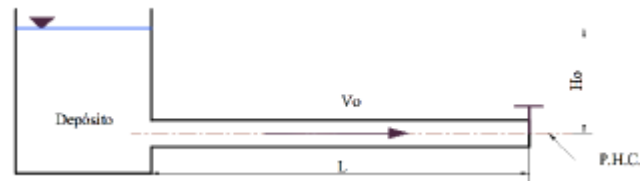


Figura 11. Conducto horizontal con valores constantes

Fuente: Collazos Castro, 2018

Al momento de realizar un cierre momentáneo en la parte de la válvula de control la que obstaculiza el paso total, la energía cinética que ejerce el movimiento del agua se convierte en energía potencial esto origina una deformación en todas las partes internas de la tubería llamadas paredes ya que el agua sufrirá un cambio elástico esto debido a una de presión que fluye en toda la tubería con una celeridad aguas arriba esto lo realiza en un periodo de tiempo L/a .

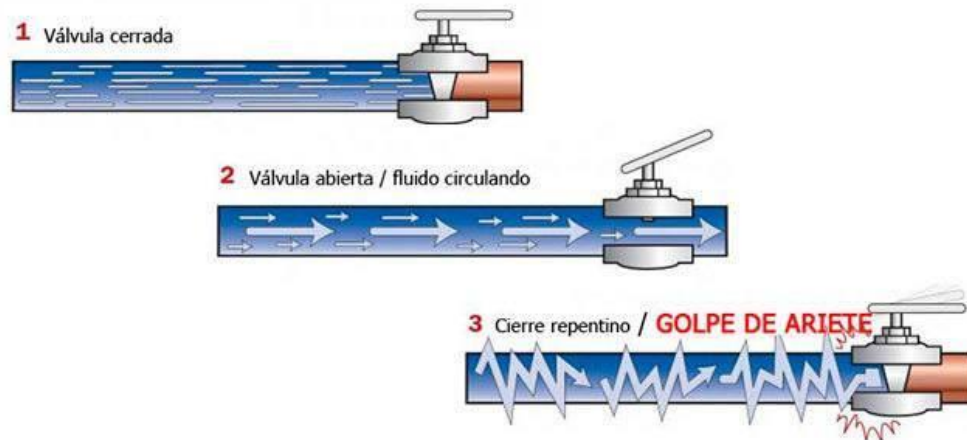


Figura 12. Representación del golpe de ariete en la tubería

Fuente: Meza González, 2019

La inactividad natural que existe en el interior de un líquido a través de la tubería es siempre equitativo al peso y a la velocidad, el agua se conduce por una tubería con una velocidad determinada y de repente se le corta el paso mediante la válvula, mientras que el agua que circula por el resto de la tubería se desplaza a la misma velocidad a la del inicio el agua es algo comprensible de modo que el aumento de la presión que se da en la válvula accionada se traslada agua arriba a medida que frena el fluido. Cuando esta onda de compresión alcanza el origen toda la energía cinética del agua en la tubería se ha agotado, toda la instalación se presuriza y el conducto se dilata.

4.7. Tiempos de cierre de una válvula

Zambrano Vera (2020) indica que para determinar un cálculo de las sobrepresiones justamente del cierre de una válvula, estudios realizados demuestran que las sobrepresiones máximas se logran a una maniobra de cierre menor al tiempo que tarda la onda en recorrer tanto en la ida como el regreso a la válvula que se encarga de cortar el paso a un fluido, a este tiempo se le conoce como tiempo crítico (T_c) y su fórmula se representa:

$$T_c = 2T_o = 2 \frac{L}{c}$$

Cuando se encuentre el tiempo crítico se podrá encontrar los tiempos de cierre para la válvula que a continuación se explicaran:

Tiempo de cierre rápido: Este tipo de tiempo de cierre para una válvula será menor al tiempo crítico ($T < T_c$). El tiempo de cierre rápido para la válvula es cuando la onda de presión no tiene un periodo para desplazarse hasta el origen y regresar nuevamente a la válvula antes que termine el medio ciclo.

Tiempo de cierre lento: Este tipo de tiempo de cierre para una válvula será mayor al tiempo crítico ($T > T_c$) porque la máxima presión será menor al caso anterior esto se debe a la depresión que emite la onda que llega hasta la válvula completando el medio ciclo y así impedir que aumente la presión. (Zambrano Vera, 2020, pág. 6)

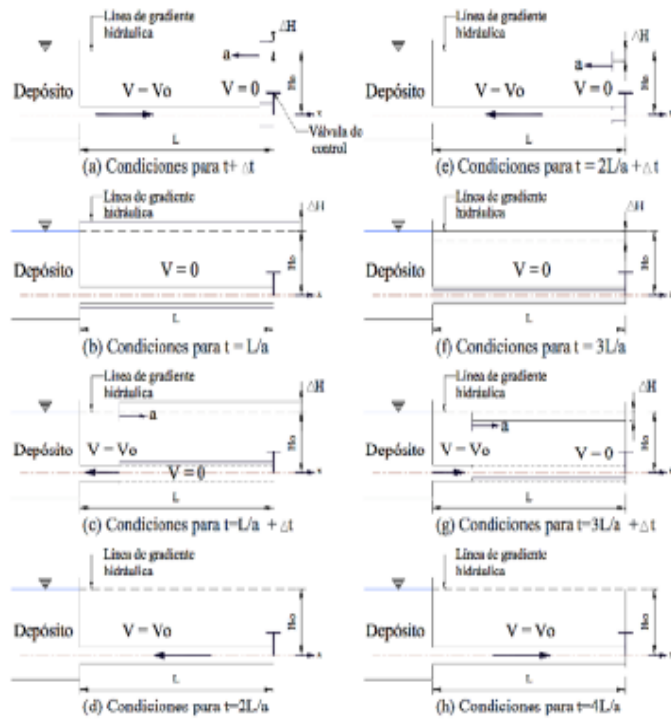


Figura 13. Representación gráfica de la propagación de una onda de presión en la tubería debido a un cierre instantáneo

Fuente: Collazos Castro, 2018

4.8. Configuración del ariete hidráulico

Lizana Chero (2018) menciona que el tipo de configuración para un ariete hidráulico va a depender del diseño, pero su funcionamiento no se verá afectado seguirá siendo el mismo.

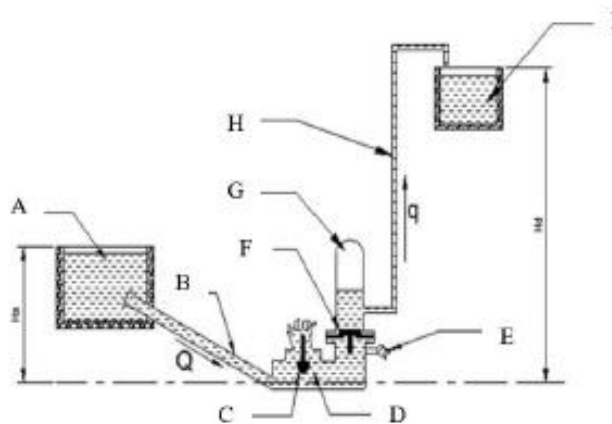


Figura 14. Configuración de un ariete hidráulico

Fuente: Lizana Chero, 2018

Símbolo	Descripción
Ha	Altura disponible entre la toma de agua y el punto más bajo del ariete
Hd	Altura a la que se eleva el agua
A	Tanque de captación
B	Tubería de suministro
C	Válvula de impulsión
D	Caja de válvulas
E	Válvula de aire
F	Válvula de retención
G	Cámara de aire
H	Tubería de descarga
I	Depósito de descarga

Tabla 2. Componentes de una bomba de ariete hidráulico

Fuente: Elaboración propia

4.9. Funcionamiento del ariete hidráulico

Según Meza González (2019 pág.17) señala que el funcionamiento inicia desde la captación de agua trabaja de la siguiente forma: su válvula de impulsión se mantendrá abierta por la misma inercia de su peso, y se cierra por el empuje del agua que se consigue desde la tubería de impulsión. Toda la columna de agua pasara por la válvula de impulsión hacia la válvula de aire que está ubicada en la parte baja de la cámara de aire y así buscar el tubo de descarga. Si en un momento se agotara el agua toda la columna de agua de esta se interrumpirá y se cerrara la válvula de aire, toda el agua que quede rezagada se descargara por medio de la válvula de retención al momento que esto suceda todo el ciclo se repetirá sucesivamente. Cualquier ariete de acción simple el agua puede ser proveniente de un depósito y trasladada por una tubería que esto permitirá el descenso del flujo que se dirige hacia el ariete, el flujo se libera por medio de la válvula retención el impulso que lleva el agua hace que se cierre provocando una sobrepresión lo que se conoce como ariete hidráulico este proceso se repite periódicamente trasladando el flujo por toda la tubería de descarga hacia el depósito o abastecer otros sistemas para cualquier uso final.

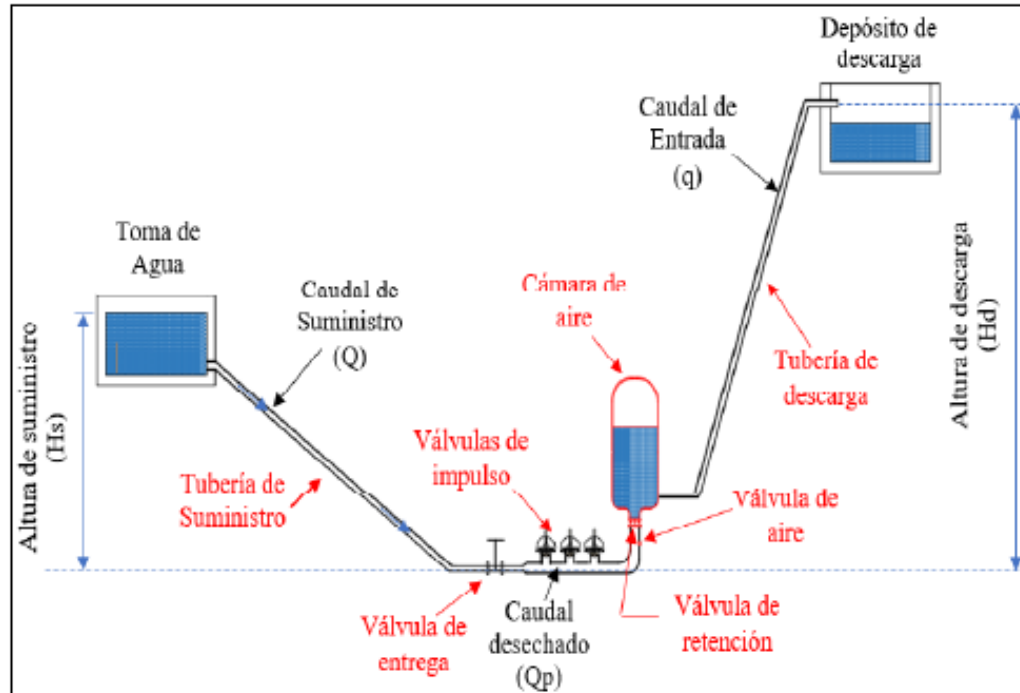


Figura 15. Esquema del funcionamiento de una bomba de ariete hidráulico

Fuente: Lizana Chero, 2018

4.10. Ciclo de un ariete hidráulico

Se toma como punto de partida cuando las válvulas estén llenas de agua, seguidamente las válvulas de impulso se cierran a causa de la presión dinámica inicial que se genera, esto hace que la válvula de retención abra y permita el paso de agua en la tubería de descarga y suba a una cierta altura. Seguidamente al primer paso se acciona la válvula de impulso manualmente para extraer el aire en la tubería para que el ariete funcione automáticamente.

4.10.1. Periodo 1: tiempo de aceleración.

El periodo 1 inicia al momento que la energía cinética del agua es nula, las válvulas de impulso estarán abiertas y la de retención cerrada. Cuando el agua empieza a bajar por toda la tubería de suministro por medio de la gravedad generada por el desnivel, las válvulas de impulso se cerrarán por la sobrepresión que se generó en el cuerpo de válvulas. (Chero, 2018, pág. 17)

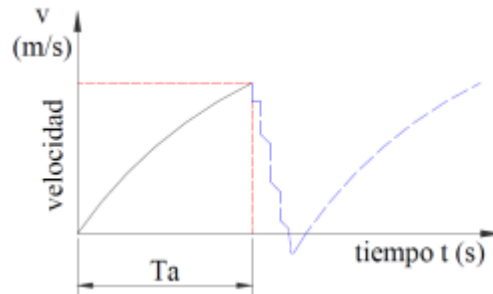


Figura 16. Periodo de aceleración

Fuente: Chero, 2018

4.10.2. Periodo 2: tiempo de entrega o bombeo.

El periodo 2 inicia en el instante en que se cierran las válvulas de impulso y al momento que esto genera una desaceleración del agua dentro de la cámara de aire. Al momento que toda la columna de agua en la tubería de descarga es frenada se producirá una sobrepresión en las válvulas que será amortiguada en la cama de aire. (Chero, 2018, pág. 17)

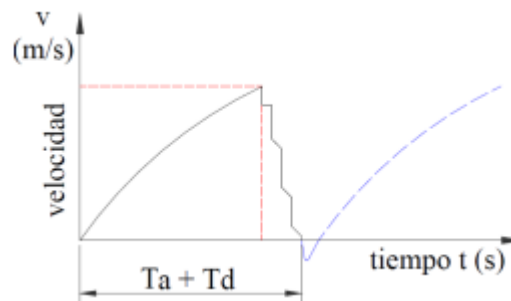


Figura 17. Periodo de entrega o bombeo

Fuente: Chero, 2018

4.10.3. Periodo 3: tiempo de retroceso.

En el periodo 3 se incluye el tiempo que tardar la válvula de retención en cerrar esto produce una caída de presión en el cuerpo de ariete hidráulico. En este periodo todo el aire que hay en la cámara de aire produce una presión en la válvula de retención haciendo que el agua fluya por la tubería de descarga y no retorne por la tubería de suministro. El aire que estaba retenido en la cámara de aire se generara automáticamente empezando un nuevo ciclo de trabajo. (Chero, 2018, pág. 18)

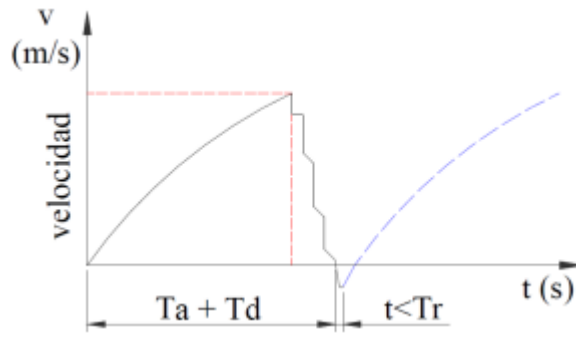


Figura 18. Periodo de retroceso

Fuente: Chero, 2018

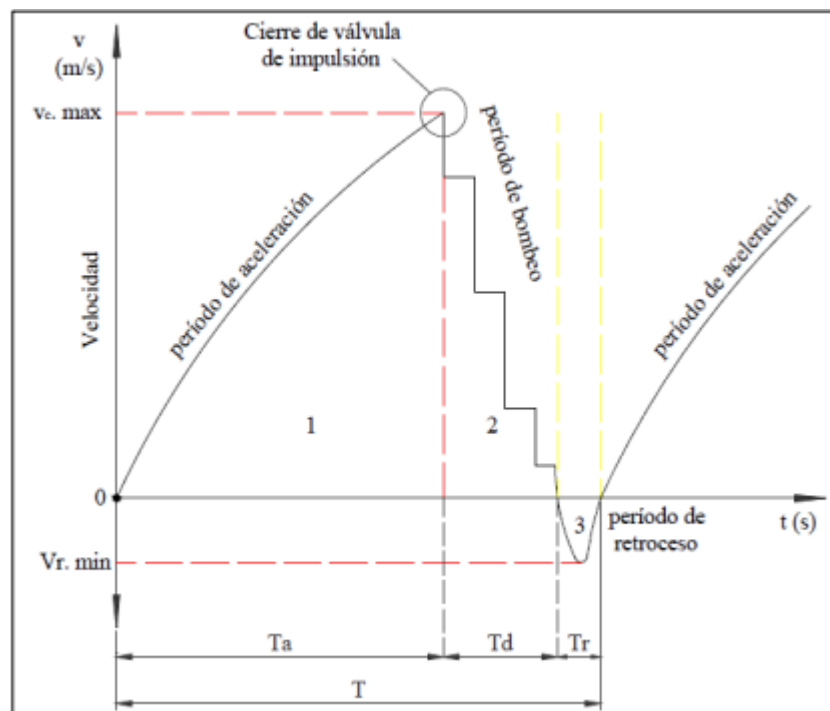


Figura 19. Representación de los 3 periodos de tiempos

Fuente: Chero, 2018

$$T = T_a + T_b + T_r$$

En donde:

T= Tiempo de duración del ciclo [s].

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].

4.11. Bomba de golpe de ariete

Para Meza González (2019), este tipo de bomba se caracteriza en aprovechar la energía hidráulica que la ocasiona un desnivel para producir el golpe de ariete y así elevar el fluido a otra altura superior, todo esto se lograra sin utilizar electricidad o algún tipo de combustible fósil. Para la bomba de empuje, su toma de agua es un depósito o río que este situado a una altura superior para producir energía cinética que genera particularmente el fluido que transcurre por toda la tubería hasta la bomba de ariete que produce las sobrepresiones producidas por la apertura y cierre brusco de la válvula.

4.12. Características de la bomba de ariete hidráulico

Meza González (2019), explica las principales características generales para este tipo de bomba, no necesita cualquier tipo de combustible fósil, no es necesario que se cuente con electricidad para que sirva de impulsor al fluido, no es necesario un mantenimiento programado con frecuencia. Este tipo de sistemas es económico en comparación a un sistema convencional, no es contaminante para el medio ambiente, la operación es fácil y muy segura, no es necesario la mano de obra para su funcionamiento, este sistema está diseñado para que su funcionamiento sean las 24 horas del día, es diseñado para terrenos con pendientes su funcionamiento tiene como finalidades agropecuarias como también necesidades que comúnmente tienen las comunidades.

Descripción	Bomba-Motor	Bomba-Eléctrica	Ariete
Inversión inicial	Alto	Bajo	Medio
Energía externa	Sí	Sí	No
Mantenimiento	Sí	Sí	No
Lubricantes	Sí	Sí	No
Duración de vida	Duradero	Duradero	Duradero
Eficiencia	Alto	Alto	Media
Confiabilidad	Alto	Medio	Alto
Contaminación	Sí	Sí	No
Ruidos	Medio	Medio	Medio

Tabla 3. Comparaciones de la bomba de ariete hidráulico con otras bombas hidráulicas

Fuente: Elaboración propia

4.13. Conceptos y propiedades de los fluidos

4.13.1. Densidad específica.

Para Ortiz, (2021) este tipo de magnitud se refiere a la masa contenida en el volumen específico de un fluido, esto dependerá como se encuentra la temperatura y la presión.

$$\rho = \frac{M}{V}$$

$$\rho = \text{Densidad específica } \left[\frac{\text{KG}}{\text{m}^3} \right]$$

$$M = \text{Masa [Kg]}$$

$$V = \text{Volumen [m}^3\text{]}$$

4.13.2. Peso específico.

Para Ortiz (2021), este tipo de magnitud se refiere al peso de un fluido y la relación con su propio volumen, de la misma manera que la densidad dependerá como se encuentre la temperatura y la presión.

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

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

$$W = \text{Magnitud del peso [N]}$$

$$V = \text{Volumen [m}^3\text{]}$$

4.13.3. Viscosidad.

Meza González (2019 pág.3) aborda este tema explicando que la viscosidad que generan los fluidos es mucho mayor a la que los gases. La viscosidad aumenta la velocidad en la deformación de las tensiones en el seno continuo. Con relación a esta propiedad los fluidos viscosos se acercan a los sólidos visco elásticos.

La viscosidad únicamente es visible en los fluidos que su movimiento es constante, se define la viscosidad entre la relación que hay entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad, este tipo de viscosidad se le conoce como absoluta o dinámica.

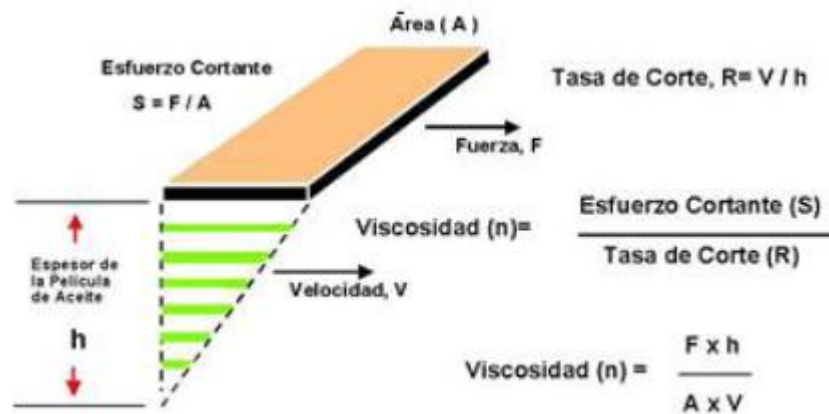


Figura 20. Determinación de viscosidad

Fuente: Meza González, 2019

4.13.4. Compresibilidad.

Meza González (2019 pág.3) menciona que cualquier fluido es comprensible en todo grado, aun así, los líquidos son completamente incompresibles, no obstante, los gases que son totalmente comprensibles. Pero en cambio la comprensibilidad no encuentra diferencias entre los fluidos de los sólidos porque la comprensibilidad de los sólidos y los fluidos son similares en ambos casos.

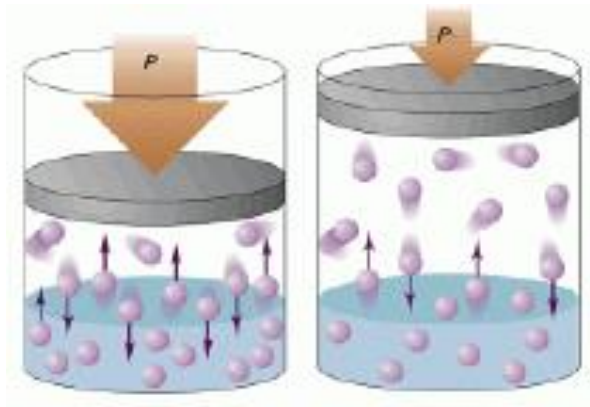


Figura 21. Compresibilidad de un fluido

Fuente: Meza González, 2019

4.13.5. Presión absoluta y relativa.

La presión para diferentes aplicaciones se puede expresar como la presión absoluta entonces se tomará como referencia al vacío, la presión relativa también conocida como manométrica se tomará como referencia a la atmósfera el uso de manómetros miden la presión relativa. Para obtener la presión absoluta se tendrá que sumar la presión manométrica y la presión atmosférica. (Mataix, 1986, pág. 39)

$$P_{abs} = P_e + P_{atm}$$

P_{abs} = Presión absoluta

P_e = Presión manométrica

P_{atm} = Presión atmosférica

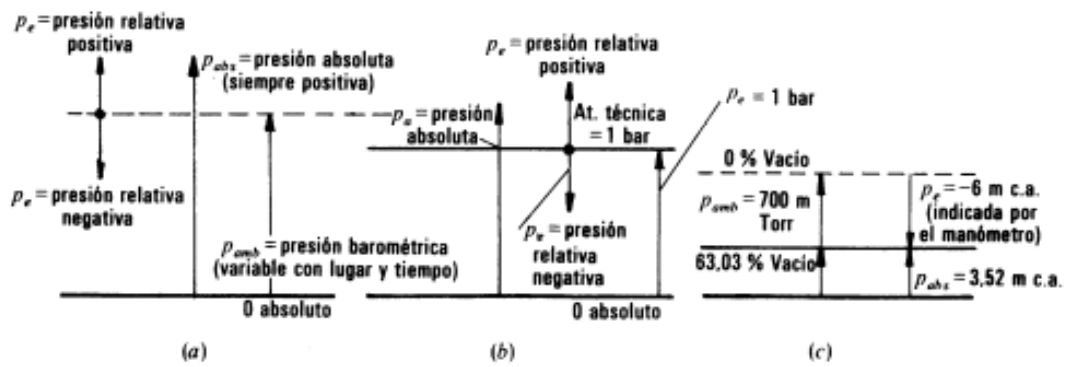


Figura 22. Explicación de la fórmula $P_{abs} = P_e + P_{atm}$.

Fuente: Mataix, 1986

5. METODOLOGÍA

FUNDAMENTO TEÓRICO PARA EL DISEÑO

5.1. Ubicación geográfica de la zona

La Universidad del Valle Campus Sur está ubicada en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla, km 92.5 carretera a Mazatenango. En la entrada para acceder a la universidad pasa la carretera hacia Mazatenango, es de terracería para el acceso de vehículos que también colinda con el centro de investigación y capacitación de la caña de azúcar CENGICAÑA, las instalaciones de la Universidad del Valle campus sur cuenta con un terreno con pendientes pronunciadas.

La siguiente imagen muestra la ubicación geográfica de la Universidad del Valle Campus Sur.

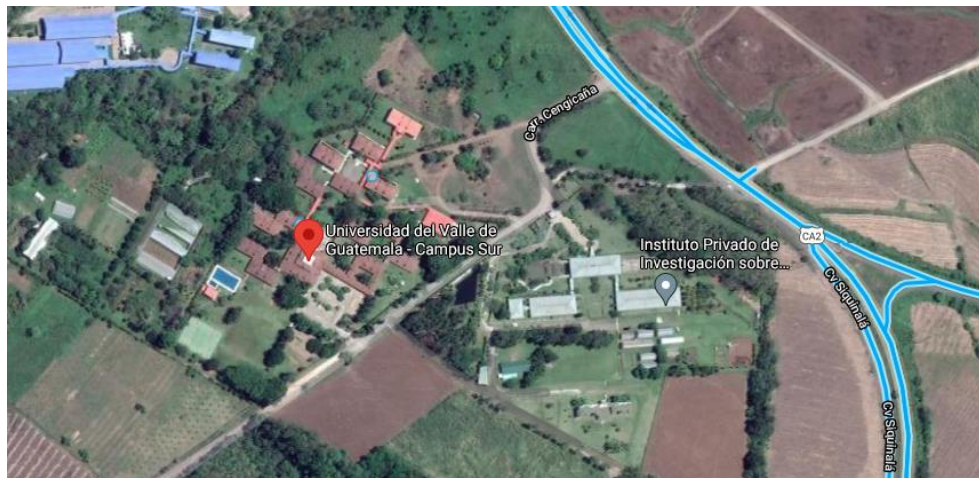


Figura 23. Ubicación geográfica de la Universidad del Valle Campus Sur

Fuente: www.google.com/maps

5.2. Recursos disponibles

Se cuenta con un río como fuente hídrica que está ubicado a un costado de la universidad, el agua será tomada directamente del río por medio de tubería hacia la bomba de ariete hidráulico que se encargará de bombear el agua hacia la parte alta del tanque de captación que estará ubicado en el área agrícola de la universidad para el uso de riego de las plantaciones de los estudiantes. Las condiciones que se presentan en las instalaciones favorecen ya que cuenta con pendientes y un caudal disponible.



Figura 24. Fuente hídrica para abastecimiento de la bomba de ariete

Fuente: Elaboración propia

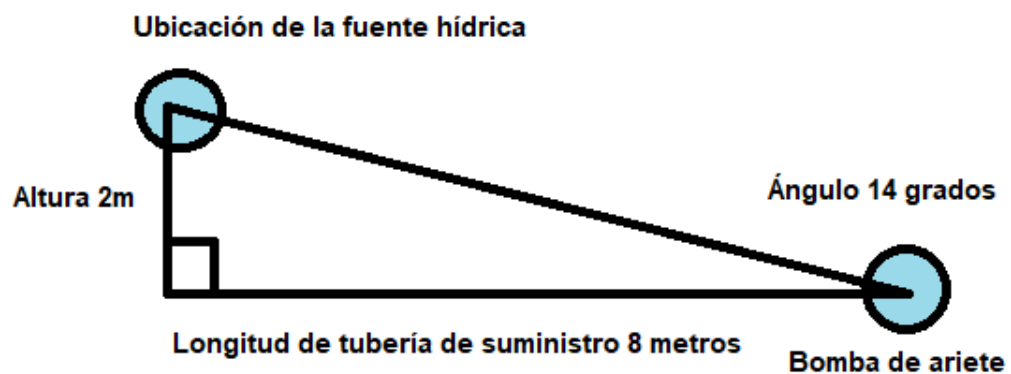


Figura 25. Análisis de altura de caída

Fuente: Elaboración propia

5.3. Determinar la altura disponible y la altura de descarga

La altura disponible se determinará midiendo donde encuentra el nacimiento de agua hasta donde estará ubicado el ariete hidráulico. Esto se desarrollará con equipo topográfico o nivel de ingeniero para realizar un levantamiento de terreno, con este tipo de equipo también se obtendrá hasta 1mm de precisión más no la exactitud, el alquiler del mismo es fácil de ubicarlo y su costo es bajo.



Figura 26. Uso de equipo topográfico para medir niveles

Fuente: Rincón Mario, 2017

Para determinar la altura de descarga se considerará la altura que sea conveniente para la ubicación del tanque de captación y la ubicación de la bomba de ariete hidráulico para que la distribución del agua sea de una manera fluida hacia el tanque. La distancia se obtendrá desde el punto donde se tendrá la ubicación del ariete hidráulico hasta el tanque de captación para todo esto se tendrá que utilizar un nivel de ingeniero o un equipo topográfico para que las medidas sean más precisas ya que la altura será considerable.

5.4. Tanque de captación

El tanque de captación para su diseño y ubicación se tendrá que estimar la distancia vertical que habrá entre el punto de referencia donde estará ubicada la bomba de ariete hidráulico, un volumen de agua que sea mínimo y constante, asimismo se deberá considerar una mínima distancia que tendrá el espejo de agua del tanque con el ingreso de la tubería de alimentación, estos parámetros se consideran para evitar que dentro de la tubería de alimentación se adentre aire y el mismo forme pequeños torbellinos.

Para el estudio se estimó un tanque de capacidad de 2500 litros con medidas de 1.55 m de diámetro y una altura de 1.76 m, el tanque se instalará en una base de cuadrada de concreto de 3 x 3 metros con una altura de 2.50 metros con cuatro bases cuadras de 0.30 metros.

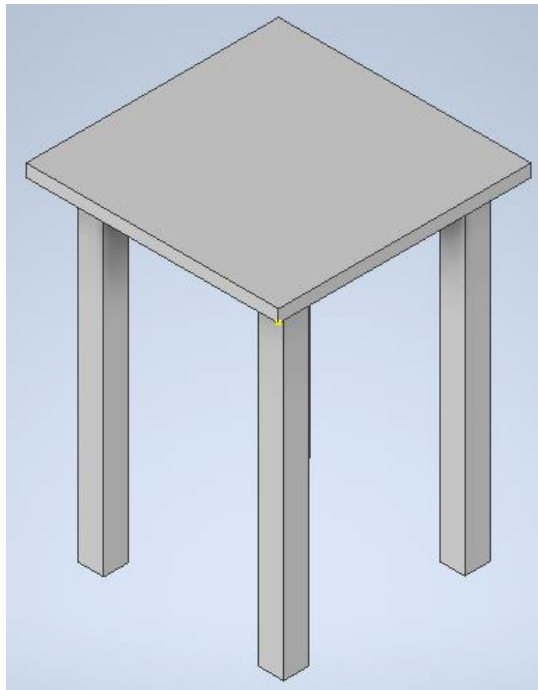


Figura 27. Diseño de la base donde estará instalado el tanque de suministro

Fuente: Elaboración propia



Figura 28. Tanque de suministro

Fuente: Elaboración propia

5.5. Ubicación de la bomba de ariete hidráulico

Para la ubicación de la bomba de ariete hidráulico se debe seleccionar una parte del terreno suficiente grande para ubicar dos puntos: donde el primer punto será la referencia de la ubicación del nacimiento o río y el segundo servirá de referencia de la ubicación de nuestra bomba de ariete hidráulico. La referencia de la distancia entre estos dos puntos va a depender de la altura o presión que deseamos que la bomba impulse.

Para ubicar el área del terreno donde se realizará la instalación de la bomba de ariete hidráulico se debe tomar en cuenta las siguientes características:

- a. El terreno debe disponer con una pendiente pronunciada para la instalación de la tubería que alimentará la bomba de ariete hidráulico, que vendrá desde el nacimiento de agua, de igual manera el conducto tendrá que quedar perfectamente instalado.
- b. El nacimiento debe de fluir un volumen constante de agua para que exista un flujo idóneo de agua y el sistema sea eficiente.
- c. Se debe de considerar una caída de agua desde el suministro de manera que se obtenga una potencia suficiente para la distribución del agua hacia el tanque de captación.

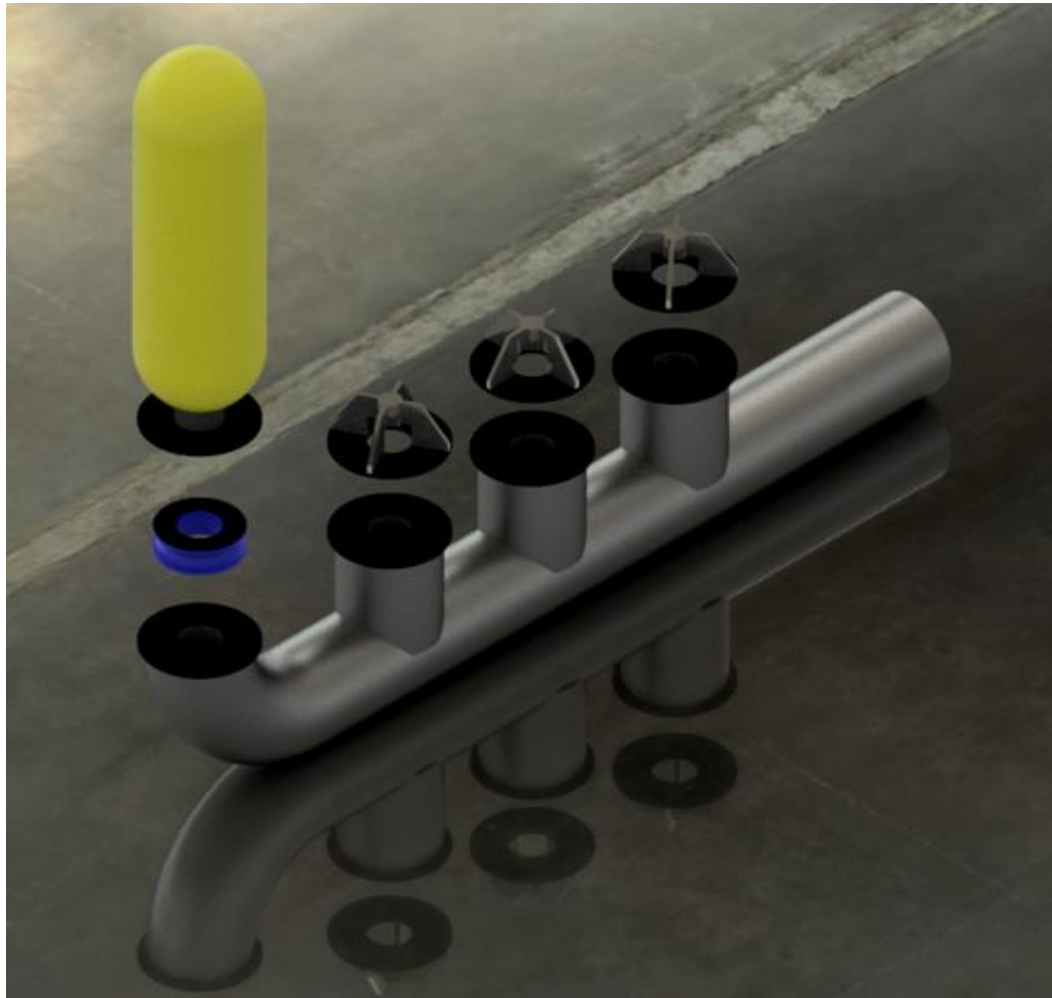


Figura 29. Diseño de bomba de ariete hidráulico

Fuente: Elaboración propia

6. FUNDAMENTO MATEMÁTICO PARA EL DISEÑO

6.1. Parámetros de diseño para bomba de ariete hidráulico

Para el siguiente estudio de factibilidad del diseño y la instalación de una bomba de ariete hidráulico, se deben tomar en cuenta tres pasos importantes para la eficiencia de la bomba:

1. Caudal disponible. (litros/minutos)
2. Pendiente de trabajo (metros)
3. Altura a la que se debe transportarse el agua (metros)

El paso más importante que se debe saber es el caudal con el que se va a contar, ya que con este dato se podrá realizar el cálculo del diámetro de la tubería de alimentación que va conectada hacia la bomba de ariete hidráulico y la tubería de descarga que estará conectada hacia el tanque de captación para obtener eficiencia en el funcionamiento. Para elevar más el fluido con este tipo de funcionamiento se debe aumentar la caída en todo el largo del tubo de alimentación.

6.1.1. Caudal de suministro

Ortiz (2021) explica que la cantidad de fluido que está circulando por la tubería de suministro se medirá en unidad de volumen por unidad de tiempo que pasará a través de una sección transversal a la corriente, el caudal volumétrico se calcula realizando la operación según el producto entre la velocidad del fluido con el área de la sección transversal en donde circulará el fluido. Para el cálculo del caudal de suministro se utiliza la siguiente fórmula.

$$(1) \quad Q = V \times A_s$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal suministro} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right].$$

$$V = \text{Velocidad del fluido} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right].$$

$$A_s = \text{Área de la sección transversal donde pasara el fluido} [\text{m}^2]$$

6.1.2. Caudal de entrega.

Para el cálculo del caudal que llegará al tanque de captación desde la fuente hídrica y pasará por la bomba de ariete hidráulico se utilizará el rendimiento energético del ariete hidráulico el cual representa el porcentaje de agua que bombeará la bomba de ariete en función a la relación de la altura de alimentación y la altura de entrega conforme se aumente el valor resultante, disminuyera el rendimiento energético del ariete.

Hs/He	2	3	4	6	8	9	10	12
R	0.69	0.66	0.62	0.54	0.46	0.38	0.35	0.19

Tabla 4. Rendimiento energético

Fuente: Pérez, 2018

$$\frac{H_s}{H_e} * q = R * Q$$

$$(2) \quad q = \frac{(R * Q * H_s)}{H_e}$$

Donde:

q= Caudal de elevación $\left[\frac{1}{\text{min}} \right]$.

He= Altura de elevación [m].

Hs= Altura de suministro [m].

Q= Caudal de suministro $\left[\frac{1}{\text{m}} \right]$.

R= Rendimiento.

6.1.3. Altura de entrega o descarga.

Según Chero (2018), explica que la altura de entrega o descarga será el trabajo que deberá realizar este tipo de bomba para hacer la función de bombeo del fluido a un nivel específico, y así utilizar el fluido para diferentes funciones como: el almacenamiento de agua, riego, distribución en un sistema de red de agua entre otros, esta altura se establece en metros.

6.1.4. Altura de suministro.

Para Chero (2018), la altura de alimentación es la pendiente que exista entre el espejo de agua que hay en el tanque de captación hasta llegar al lugar de instalación de la bomba de ariete hidráulico, la pendiente servirá al sistema como motor de la instalación, mientras la pendiente sea mayor, el rendimiento será mayor. Por tal motivo se debe obtener una caída pronunciada para que el funcionamiento sea el óptimo en la instalación.

Chero (2018), explica que para determinar la altura de suministro óptima que debe de cumplir para llegar al nivel de la instalación de la bomba de ariete se calcula por medio de la siguiente fórmula matemática.

$$(3) \quad H_s = \frac{1}{10} H_d$$

Donde:

H_s = Altura de suministro [m]

H_d = Altura de descarga [m]

6.1.5. Tubería de suministro.

La tubería de suministro es por donde desciende el fluido que está conectado al depósito de alimentación con la bomba de ariete hidráulico. Para el funcionamiento eficiente de la bomba de ariete hidráulico la tubería de suministro debe de cumplir con ciertos objetivos específicos:

a. Permite el acceso del agua que llega del tanque de alimentación hacia el ariete hidráulico por medio de gravedad que adquiere velocidad y energía cinética. La entrada de la tubería de impulsión se debe expandir en forma de embudo o conducto piramidal, esto ayudara a que en la corriente se formen torbellinos de agua que ayudara a que exista perdida a través de la fricción.

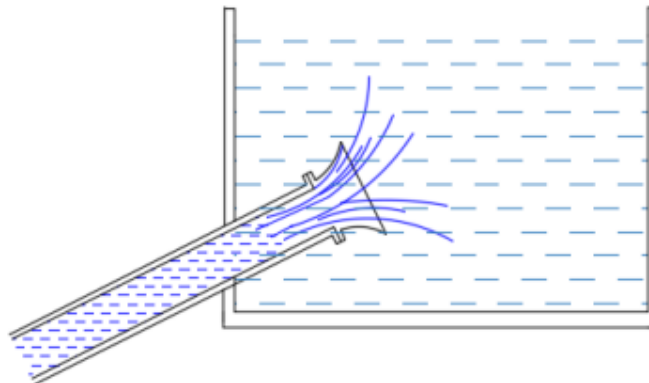


Figura 30. Entrada de la tubería de suministro

Fuente: Chero, 2018

b. La tubería deberá resistir el golpe de presión hidráulica, se recomienda el uso de tubería de acero galvanizado o tubería de hierro negro, el material es más rígido esta característica hace que exista poca resistencia al rozamiento logrando que el efecto del golpe de ariete sea más efectivo.

Se puede utilizar tubería de PVC por ser el material más económico y moldeable. Para el uso de este tipo de tuberías se debe de crear condiciones de rigidez, enterrando la tubería en zanjas bajo tierra así el conducto quedara protegido.

El ángulo de inclinación del tubo de suministro α tendrá que estar en el rango comprendido en los 10° y los 45° con respecto a la horizontal. (Pablo, 2017)

La longitud de la tubería de suministro tendrá que ser 4 veces más que la altura del tanque de alimentación. (Chero, 2018)

$$(4) \quad L = 4H_s$$

Donde:

L= Longitud de la tubería de suministro [m]

H_s= Altura del tanque de alimentación [m]

Se debe considerar que la tubería de suministro su longitud sea de 5 metros a 30 metros, siempre y cuando las condiciones del terreno lo permitan.

La longitud como el diámetro de la tubería de suministro son factores para la eficiencia para el sistema de la bomba de ariete hidráulico.

La bomba de ariete hidráulico funcionara de manera eficiente si existe una relación entre la longitud de la tubería de descarga con los límites del diámetro interno de la tubería. (Chero, 2018)

$$(5) \quad D_s = \frac{L}{150}$$

Donde:

D_s= Diámetro interno [mm]

L= Longitud de suministro [m]

6.1.6. Tubería de descarga.

El objetivo principal de la tubería de descarga es elevar el fluido hasta un tanque de captación, debe ser capaz de soportar la presión que origina el tamaño de la tubería dependerá de la capacidad del diseño del ariete hidráulico.

Se puede utilizar tubería de PVC por ser el material más económico y moldeable. Para el uso de este tipo de tuberías se debe de crear condiciones de rigidez, enterrando la tubería en zanjas bajo tierra así el conducto quedara protegido.

Para el cálculo del diámetro de la tubería de descarga especialistas recomienda que se tome en cuenta la mitad del diámetro de la tubería de suministro.

$$(6) \quad D_d = \frac{D_s}{4}$$

6.1.7. Número de Reynolds.

Para el cálculo de la pérdida de energía debido a la fricción que existe en el sistema, para esto es necesario que se clasifique el movimiento del fluido. Su valor indicará si el fluido es lento y uniforme se clasificará como fluido laminar, ahora si el fluido es rápido se clasificará como fluido turbulento. (Chávez, 2018)

$$(7) \quad R_e = \frac{v D_s}{\nu}$$

Donde:

R_e = Número Reynolds

V = Velocidad del fluido [m/s]

D_s = Diámetro de la tubería de suministro [m]

ν = Viscosidad cinemática del fluido [m/s²]

6.1.8. Rugosidad relativa.

Parámetro que se determina por la relación que existe entre el diámetro de la tubería y la rugosidad de la pared interna de la tubería.

$$(8) \quad R_r = \frac{\epsilon}{D_s}$$

Donde:

R_r = Rugosidad relativa.

ε = Rugosidad absoluta [m].

D_s = Diámetro de la tubería de suministro [m].

6.1.9. Factor de fricción.

Según Mataix (1986), explica que para determinar este valor se tomará en cuenta el tipo de régimen, cuando es laminar el factor de fricción en la tuberías lisas y ásperas se usará la fórmula:

$$(9) \quad \lambda = \frac{64}{R_r}$$

Cuando el tipo de régimen es turbulento el factor de fricción en las tuberías lisas se calcula con la siguiente fórmula:

$$(10) \quad \lambda = \frac{0.316}{R_r^2}$$

Cuando la tubería es áspera el factor de fricción dependerá del número de Reynolds R_r y la rugosidad relativa ε se calculará usando la siguiente fórmula y teniendo en cuenta que el tipo de régimen es turbulento:

$$(11) \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7} + \frac{2.51}{\sqrt{\lambda} R_r} \right)$$

6.1.10. Pérdidas mayores o de fricción.

Un fluido que fluye por un conducto como un tubo existen perdidas de energía que ocurre por la fricción interna en el fluido, las pérdidas o la fricción se calculan con la fórmula de Darcy – Weisbach, la fórmula es útil para el cálculo de pérdidas de fricción para un flujo laminar o turbulento. (Mataix, 1986)

$$(12) \quad h_f = \lambda \frac{L}{D_s} \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

h_f = Pérdida por fricción [m].

λ = Factor de fricción.

D_s = Diámetro de la tubería de suministro [m].

L = Longitud de la tubería de suministro [m].

6.1.11. Velocidad en salida de las válvulas.

Para poder determinar la velocidad de salida en las válvulas de impulso se tendrá que aplicar la fórmula de Bernoulli donde se también se podrá calcular las pérdidas hidráulicas en una corriente Mataix, (986, pág. 107).

$$(13) \quad \frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} - H_{1-2} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Donde:

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

Z_1 , Z_2 = Alturas geodésicas.

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

H_{1-2} = Pérdidas entre 1 y 2.

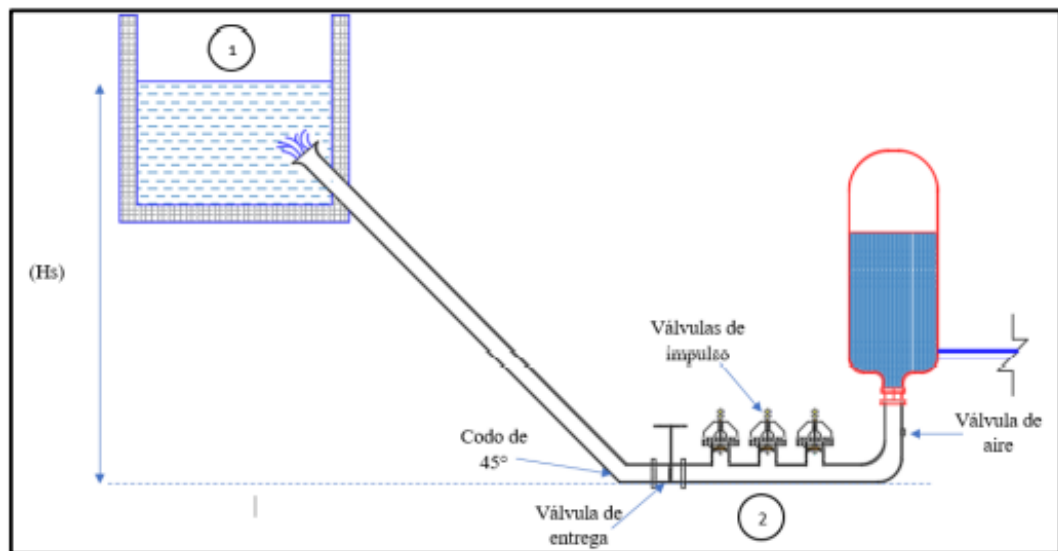


Figura 31. Ubicación de los puntos 1 y 2

Fuente: Chero, 2018

Donde:

$$P_1 = P_2$$

$$Z_1 = H_s$$

$$Z_2 = 0$$

$$V_1 = 0$$

$$V_2 = ?$$

Reemplazando estos datos en la fórmula de Bernoulli se obtiene la fórmula para calcular la velocidad en la salida de las válvulas de impulso.

$$(14) \quad V_2 = \sqrt{\frac{2gH_s}{1 + \lambda \frac{L}{D} + \zeta}}$$

Donde:

V= Velocidad (m/s).

g= Gravedad (m/s²).

H_s= Altura del tanque de captación m.

λ= Factor de fricción.

L= Longitud de la tubería de suministro m.

D= Diámetro del agujero de la salida del agua de la válvula de impulso m.

ζ= Coeficiente de fricción.

6.2. Propiedades de los líquidos

6.2.1. Densidad.

Es una de las características que son propias de los fluidos que se define como la cantidad de masa por la unidad de volumen, la unidad de medida se representa en Kg/m³. (Mataix, 1986)

$$(15) \quad \rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

ρ= Densidad específica [Kg/m³].

b m= Masa [Kg].

V= Volumen [m³].

6.2.2. Peso específico.

Peso por unidad de volumen de un fluido, también se le conoce a la relación que existe entre peso de una sustancia y su propio volumen su unidad de medida es n/m^2 . (Mataix, 1986)

$$(16) \quad \gamma = \frac{W}{V} = \frac{m \times g}{v}$$

Donde:

γ = Peso específico [N/m^3].

w= Magnitud de peso [N].

v= Volumen [m^3].

m= masa [Kg].

g= gravedad [N/m^3].

6.2.3. Volumen específico.

Chero (2018), explica que el volumen que es ocupado por unidad de masa de un fluido en otras palabras se le conoce como lo opuesto a la densidad la unidad de medida es m^3/kg .

$$(17) \quad v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$$

Donde:

V= Volumen del fluido [m^3].

m= Masa [Kg].

ρ = Densidad [Kg/m^3].

6.2.4. Viscosidad.

Según Ortiz (2021), se define cuando un fluido se desplaza con relación a un sólido o a otro fluido se presenta una resistencia al movimiento del fluido o la facilidad de fluir, a dicha propiedad se le conoce con el nombre de viscosidad.

Chero (2018), explica, al fluir un líquido por un conducto, la mayor velocidad se encuentra en el centro del conducto y en las paredes es cero. Conforme a la hipótesis enunciada por Newton en 1686 dice que la tensión tangencial en los líquidos depende del carácter de la corriente y de la

clase de líquido. Si la corriente se efectúa en el régimen laminar, cambia en proporción directa al gradiente transversal de la velocidad. Ley de Newton es:

$$(18) \quad \tau = \mu \frac{dv}{dy}$$

Donde:

τ = Tensión Tangencial [N/m²].

μ = Coeficiente dinámico de viscosidad.

$\frac{dv}{dy}$ = Gradiente de velocidad.

6.3. Cálculo de golpe de ariete

6.3.1. Celeridad.

Se refiere a la rapidez de la propagación de las ondas de presión del fluido que está dentro de la tubería, para determinar el valor de celeridad se utiliza la ecuación de continuidad que dependerá de diferentes características mecánica y geométricas.

Según Mataix (1986) la siguiente fórmula para el cálculo de la celeridad la propuso el matemático Joukowski:

$$(19) \quad a = \sqrt{\frac{\frac{E_o}{\rho}}{1 + \frac{E_o D}{E S}}}$$

Donde:

a = Celeridad del fluido en la tubería [m/s].

E_o = Módulo de elasticidad del volumen del fluido [N/m²].

ρ = Densidad del fluido [Kg/m³].

D = Diámetro de la tubería [m].

E = Módulo de elasticidad del material de la tubería.

δ = Espesor de la tubería [mm].

De la expresión $\sqrt{\frac{E_o}{\rho}}$ la celeridad de la onda elástica del fluido que este caso es agua su valor

de obtiene:

$$\sqrt{\frac{2.03 \cdot 10^9}{1000}} = 1425 \text{ m/s}$$

Al momento de reemplazar los valores en la fórmula de Joukowski se obtiene la siguiente expresión:

$$(20) \quad a = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{E_0 D}{E S}}}$$

6.3.2. Tiempo de cierre de la válvula.

Tiempo crítico en que tarda la onda de presión en recorrer la distancia que existe entre la válvula que obstruye el paso del fluido al otro extremo de la tubería. (Chero, 2018)

$$(21) \quad T = \frac{2L}{a}$$

Donde:

T= Periodo de la tubería

L= Longitud de la tubería [m].

a= Celeridad del fluido en la tubería [m/s].

El cálculo de sobrepresiones va a depender del tiempo de cierre de la válvula, la teoría y la práctica nos demuestran que las sobrepresiones máximas.

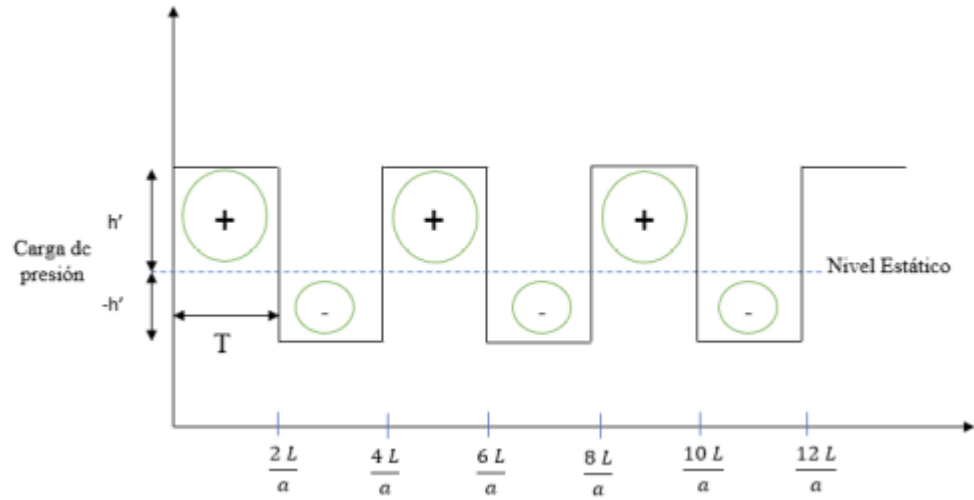


Figura 32. Variación teórica de la presión en la válvula, donde no se considera pérdidas de fricción de fricción

Fuente: Chero, 2018

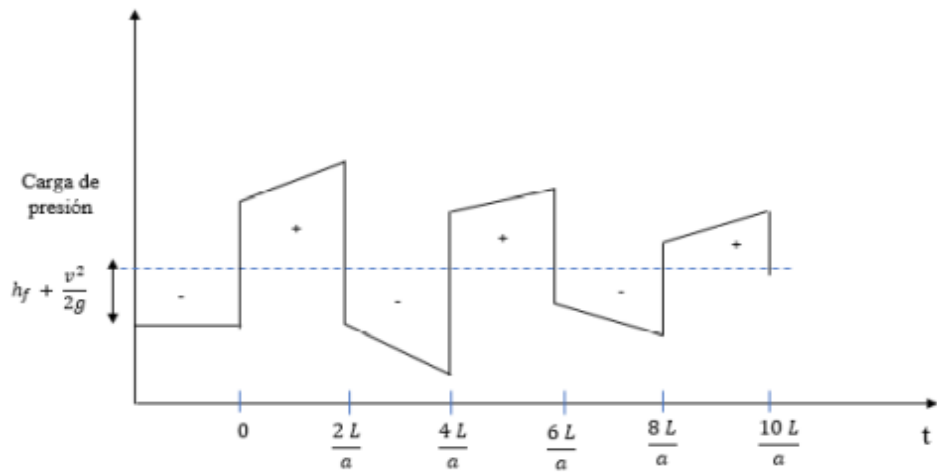


Figura 33. Variación práctica de la presión en la válvula, donde no se considera pérdidas de fricción de fricción

Fuente: Chero, 2018

6.3.3. Cierre brusco de la válvula.

Chero (2018), explica que se da al momento que el tiempo de propagación sea mayor al tiempo de cierre de la válvula que controla el flujo este fenómeno se da si la tubería de suministro es demasiada larga.

$$(22) \quad T_c < \frac{2L}{a}$$

Para este tipo de casos existe la formula expuesta por Allievi, con la cual se obtiene la magnitud de la sobrepresión producida por el fenómeno del golpe de ariete según Chero (2018).

$$(23) \quad \Delta P = \frac{v * a}{g}$$

Donde:

ΔP = Sobrepresión en metros de columna de agua [m.c.a].

a = Celeridad del fluido en la tubería [m/s].

v = Velocidad del fluido [m/s].

g = Gravedad [m/s²].

6.3.4. Cierre lento de la válvula.

Según Chero (2018) se produce cuando es menor el tiempo de propagación con respecto al tiempo de cierre de la válvula que controla el flujo del fluido, esto ocurre cuando la longitud de la tubería de suministro es corta.

$$(24) \quad T_c > \frac{2L}{a}$$

Chero (2018) afirma que para este tipo de casos existe la formula expuesta por Michaud-Vensano con la cual se obtiene el cálculo de la sobrepresión producida por el fenómeno del golpe de ariete.

$$(25) \quad \Delta P = \frac{2 * L * v}{g * t}$$

Donde:

ΔP = Sobrepresión en metros de columna de agua [m.c.a].

L = Longitud de la tubería [m].

v = Velocidad del fluido [m/s].

g = Gravedad [m/s^2].

t = Tiempo de cierre de la válvula [s]

6.3.5. Presión dinámica.

Se estima que cuando un fluido que se mueve por un conducto, la inercia del propio movimiento origina un incremento suplementario a la presión estática al momento de chocar con el área perpendicular con respecto al movimiento, esto provoca la presión dinámica, tal cual dependerá de la velocidad y densidad del fluido. Este tipo de presión es suficiente para cerrar la válvula de impulso sin importar el peso de la válvula.

$$(26) \quad P = \frac{\rho V^2}{2}$$

Donde:

ρ = Densidad del fluido [Kg/m^3]

V : velocidad del fluido [m/s]

6.3.6. Presión máxima y mínima en la instalación.

Según Chero (2018), la presión máxima y mínima que es generado por el fenómeno del golpe de ariete en las tuberías de la instalación se expresa por las siguientes ecuaciones:

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

$$(27) \quad P_{max} = \rho * g * H_{max}$$

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

$$(28) \quad P_{min} = \rho * g * H_{min}$$

Donde:

H_s = Altura de suministro [m].

ΔP = Presión que se genera por el golpe de ariete.

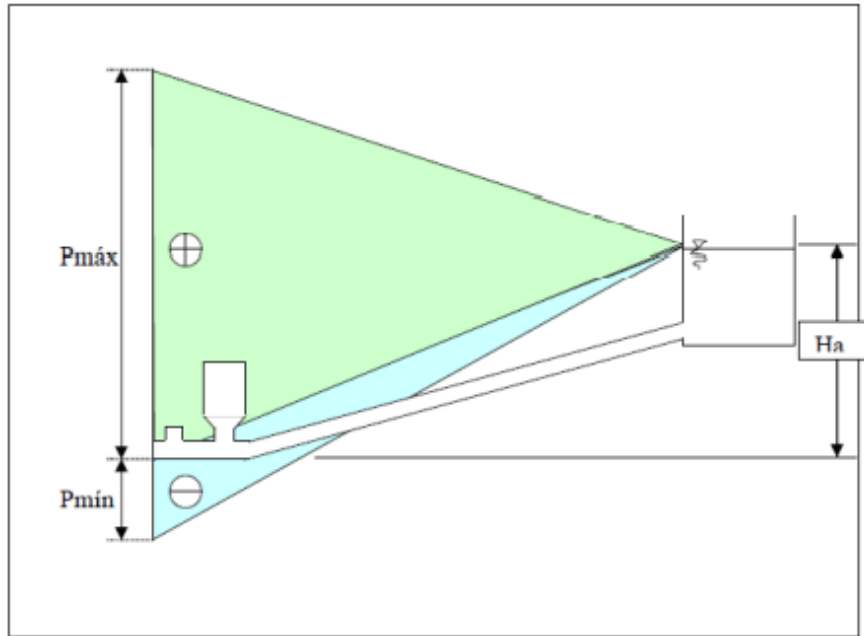


Figura 34. Presión máxima y mínima que se genera por el fenómeno del golpe de ariete hidráulico

Fuente: Chero, 2018

7. DISEÑO MATEMÁTICO DEL PROTOTIPO

7.1. Diseño de bomba de ariete hidráulico

El siguiente diseño se ha realizado con la finalidad de agregarle presión a la instalación de agua dentro de la Universidad del Valle de Guatemala para satisfacer las necesidades de sus instalaciones. Este diseño es confiable, económico y fácil de construir.

En el siguiente capítulo se garantizará el funcionamiento en base a la selección correcta de los materiales que cumplan con los cálculos realizados.

Fases preliminares.

7.2. Cálculo de altura de entrega o descarga

Para el cálculo de la altura de la caída de agua, se estimó una altura máxima de descarga de 50 metros y una mínima de 20 metros, la altura recomendada para la ubicación del tanque de descarga deberá ser tres veces la altura de la caída de agua.

H_{e1}	H_{e2}	H_{e3}
50 m	25 m	20 m

Tabla 5. Alturas de descarga

Fuente: Pérez, 2018

7.3. Cálculo de la altura de suministro

Para obtener la altura de donde estará la fuente hídrica a la instalación de la bomba de ariete se hará uso de la fórmula 3:

$$H_s = \frac{1}{10} H_d$$

$$H_s = \frac{1}{10} (20\text{m})$$

$$H_s = 2 \text{ m}$$

Este dato dependerá de las condiciones del terreno donde se ubicará el tanque de suministro. Según Chero (2018), existen límites establecidos para elevar el tanque de captación: $1\text{ m} \leq 1.5\text{ m} \leq 20\text{ m}$.

7.4. Cálculo de la longitud de la tubería de suministro

Se ha considerado una altura para el tanque de captación de 2 metros con este dato se podrá realizar el cálculo aproximado de la longitud de la tubería de suministro con la fórmula 4.

$$L = 4H_s$$

$$L = 4 (2\text{ m})$$

$$L = 8 \text{ m}$$

Para este estudio de factibilidad se tomará este dato de la longitud de la tubería de suministro de 10 metros de referencia como la longitud mínima todo esto dependerá de las condiciones del terreno, la longitud esta entre los límites establecidos.

$$L = 8 \text{ m}$$

$$10\text{ m} \leq 25\text{ m} \leq 30\text{ m}$$

Chero (2018) afirma que, a través de diversas investigaciones determino que el ángulo de la instalación de la tubería debe estar en los límites entre 10° y 45° , para determinar el cálculo del ángulo que se formara con la instalación de la tubería de suministro con respecto al terreno se utilizara la siguiente fórmula:

$$\sin \theta = \frac{H_s}{L}$$

$$\sin \theta = \frac{2 \text{ m}}{8 \text{ m}}$$

$$\sin \theta = 14^\circ$$

7.5. Selección de tubería de suministro

Para la selección de la tubería se debe calcular la longitud para así establecer el diámetro de la misma con el que debe de contar la tubería será un factor importante para garantizar el funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico, ya que será el conducto del agua desde el tanque

de captación a la bomba y a la vez retener la onda de presión que se produce por el fenómeno del golpe de ariete.

El material para la tubería de suministro por temas de costo para optimizar gastos y fácil mantenimiento es recomendable la de PVC es necesario enterrarla para darle una mayor rigidez a la tubería, la tubería de acero galvanizado es más costosa.

El diámetro se obtendrá entre la relación de la longitud y el diámetro por medio de la siguiente fórmula 5:

$$D_s = \frac{l}{150}$$

$$D_s = \frac{8 \text{ m}}{150}$$

$$D_s = 0.0533 \text{ m}$$

El diámetro que se utilizará para el estudio de factibilidad será de 2 pulgadas (0.0508 m) es un valor que está entre los límites.

7.6. Selección de tubería de descarga

Esta tubería será la encargada de conducir el fluido hacia la red de tubería existente en las instalaciones de la universidad para abastecer el sector alto para las diferentes necesidades tanto de los estudiantes y colaboradores de la universidad. Normalmente el diámetro de la tubería de descarga se calculará con la relación de la mitad de la tubería de suministro aplicando la fórmula 6:

$$D_d = \frac{D_s}{4}$$

$$D_d = \frac{0.0508 \text{ m}}{4}$$

$$D_d = 0.0127 \text{ m}$$

El diámetro que se utilizará para el estudio de factibilidad será de 1/2 pulgadas (0.0127 m) es un valor que está entre los límites.

7.7. Cálculo del caudal de suministro

Para la medición del caudal de suministro se utilizó un recipiente con un volumen conocido, se colocó dónde estará instalada la bomba de ariete hidráulico con un tubo de la medida que se calculó, en 15 segundos se llenó un recipiente de 20 litros de agua el tiempo fue medido con un cronometro.

$$Q = 80 \text{ litros/ minutos}$$

7.8. Cálculo del caudal de entrega

Para el cálculo del caudal que la bomba de ariete bombea al tanque de captación es necesario obtener el caudal que se está suministrando a la bomba y relacionar la altura de entrega entre la altura de suministro.

Para el cálculo del caudal de entrega se aplica la fórmula 2:

$$\frac{H_e}{H_s} = \frac{4.0 \text{ m}}{2.0 \text{ m}}$$

$$\frac{H_e}{H_s} = 2$$

El resultado de la relación de las alturas se ubicará en la siguiente tabla para obtener el rendimiento R.

He/Hs	2	3	4	6	8	9	10	12
R	0.69	0.66	0.62	0.54	0.46	0.38	0.35	0.19

Ya con los datos anteriores se calcula el caudal de entrega sustituyendo los valores en la siguiente fórmula:

$$q = Q * R * \frac{H_s}{H_e}$$

$$q = 28 \text{ l/m} * 0.69 * \frac{2 \text{ m}}{4 \text{ m}}$$

$$q = 9.66 \text{ litros/ minutos}$$

7.9. Cálculo del tipo de régimen

Para determinar el tipo de régimen se asumirá que la velocidad del fluido es de 1.5 m/s y la temperatura del municipio de Santa Lucia Cotzumalguapa donde se encuentra ubicada la universidad es de 20°C, por lo que la viscosidad cinemática es de $1.001 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$.

Al sustituir los valores en la fórmula 7 se obtendrá:

$$R_e = \frac{v D_s}{\nu}$$
$$R_e = \frac{1.5 \text{ m/s} \times 0.0508 \text{ m}}{1.001 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2}$$
$$R_e = 76,123.87 \text{ m/s}$$

Para Chávez, 2018 que para determinar el tipo de flujo se utiliza la siguiente relación:

$$N_{RE} < 2000 \text{ flujo laminar}$$
$$N_{RE} > 4000 \text{ flujo turbulento}$$
$$2000 < N_{RE} < 4000 \text{ Flujo Impredecible}$$

7.10. Cálculo de la rugosidad relativa

Para realizar el cálculo de la rugosidad relativa se tomará el valor de la rugosidad absoluta una tubería de material PVC 0.0000015m.

Al sustituir los valores en la fórmula 8 se obtendrá:

$$R_r = \frac{\varepsilon}{D_s}$$
$$R_r = \frac{0.0000015 \text{ m}}{0.0508 \text{ m}}$$
$$R_r = 2.95 \times 10^{-5}$$

7.11. Cálculo de pérdidas de fricción en la tubería de suministro

Según Lizana Chero (2018), para realizar el cálculo del valor de las pérdidas de fricción que existe en la tubería de alimentación o suministro se aplicara una velocidad de 1.6 m/s que fue demostrada por M. Hadzich en unas instalaciones experimentales.

Sustituyendo los valores en la siguiente fórmula 12:

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

$$h_f = 0.017 * \frac{8 \text{ m}}{0.0508 \text{ m}} * \frac{(1.6 \text{ m/s})^2}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_f = 0.34 \text{ m}$$

7.12. Determinación de coeficientes de resistencias locales

Para establecer los coeficientes de resistencia se tendrá que analizar desde el ingreso de la tubería de alimentación o suministro hasta las válvulas de impulso del ariete, para saber en dónde se producirán las perdidas locales. En este caso las válvulas de impulso serán iguales por lo mismo tendrán una misma perdida por la resistencia, esto se debe a que la perdida se distribuye proporcionalmente.

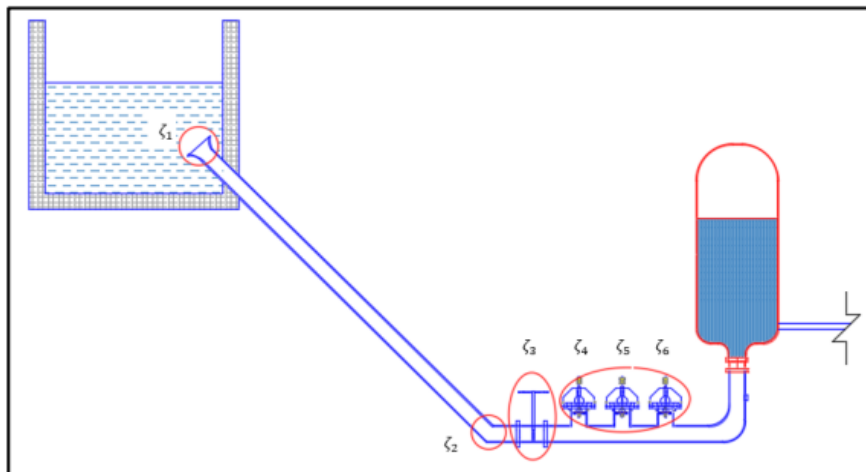


Figura 35. Representación donde se producirán las pérdidas locales en la instalación

Fuente: (Chero, 2018)

Los coeficientes de resistencia de cada punto señalado en la Figura 35 se determinarán con base en el anexo A y B.

$$\zeta_1 = 0.03$$

$$\zeta_2 = 0.29$$

$$\zeta_3 = 5.7$$

$$\zeta_4 = \zeta_5 = \zeta_6 = 5.17$$

$$\Sigma\zeta = 11.19$$

7.13. Cálculo de la velocidad en la válvula de impulso

Para realizar el cálculo de la velocidad máxima en las válvulas de impulso se procederá a reemplazar los datos en la fórmula 14.

$$V_2 = \sqrt{\frac{2gH_s}{1 + \lambda \frac{L}{D} \Sigma\zeta}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 * 9.81 * 2.0 \text{ m}}{1 + 0.017 * \frac{8.0\text{m}}{0.0508\text{m}} * 11.19}}$$

$V_2 = 1.12 \text{ m/s}$ velocidad de apertura de la válvula de impulso.

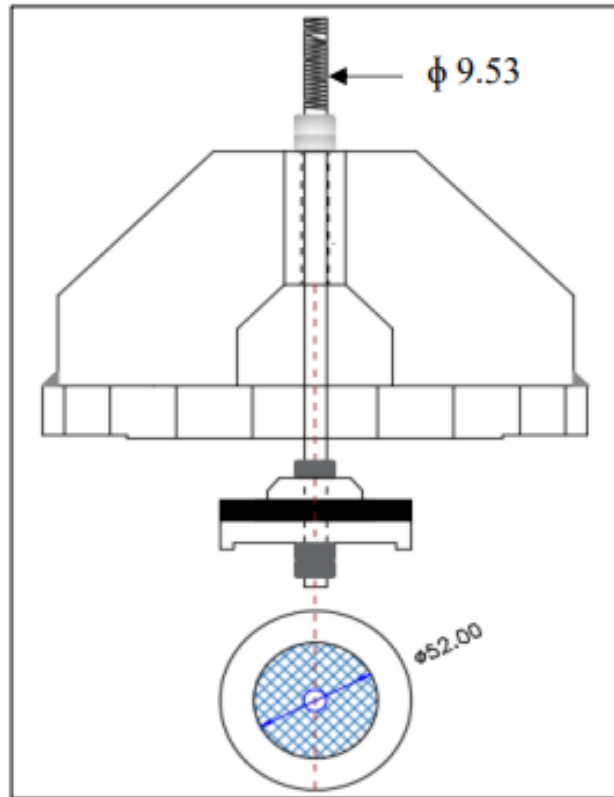


Figura 36. Diámetro del agujero de salida de la válvula de impulso

Fuente: Chero, 2018

7.14. Tiempo de duración de un periodo

Para realizar el cálculo del tiempo de duración de un periodo se utilizó datos de tiempos realizados en prácticas por J. A. Eytelwein, para el tiempo de aceleración se tomó el dato de 0.9 segundos, para el tiempo de bombeo se tomó el dato de 0.052 segundos y para el tiempo de retroceso se tomó el dato de 0.048 segundos.

Para realizar el cálculo del tiempo de duración se reemplazarán los datos en la fórmula:

$$T = T_a + T_b + T_r$$

$$T = 0.9s + 0.052s + 0.048s$$

$$T = 1 \text{ segundo.}$$

7.15. Cálculo de la presión dinámica

Para realizar el cálculo de la presión dinámica que ejerce el cierre de las válvulas de impulso se utilizara la fórmula 26.

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

$$\rho = \frac{997 \text{ Kg/m}^3 * (1.12 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$P = 625.31 \text{ Pas.}$$

7.16. Cálculo de la energía cinética

La energía cinética es igual a la energía que posee un cuerpo en movimiento, cuanto mayor es la cantidad de agua que fluye por la tubería de suministro mayor será la energía de choque o cinética.

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

$$E_c = \frac{0.000161 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 997 \text{ Kg/m}^3 * (1.12 \text{ m/s}^2)}{2}$$

$$E_c = 0.1006 \text{ KJ}$$

8. FENÓMENOS FÍSICOS IMPLICADOS EN EL FUNCIONAMIENTO DEL ARIETE HIDRÁULICO

8.1. Cálculo de la celeridad de la onda de presión

La celeridad de la onda de presión se calcula sustituyendo los valores mediante la fórmula 20:

$$a = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{2.03 \cdot 10^9 \times 0.0508 \text{m}}{200 \cdot 10^9 \times 0.00391 \text{m}}}}$$

$$a = 1339.41 \text{ m/s}$$

a= Celeridad del fluido en la tubería [m/s].

Eo= Módulo de elasticidad del volumen del fluido [N/m²].

ρ= Densidad del fluido [Kg/m³].

D= Diámetro de la tubería [m].

E= Módulo de elasticidad del material de la tubería.

δ= Espesor de la tubería [mm].

8.2. Cálculo del tiempo de cierre de la válvula

Para el cálculo de este dato se remplazará los datos en la fórmula 21.

$$T = \frac{2L}{a}$$

$$T = \frac{2 \cdot 10 \text{m}}{1339.41 \text{ m/s}}$$

$$T = 0.014 \text{ segundos.}$$

Este resultado nos indica que el cierre de la válvula es rápido y brusco este es el tiempo que tardara el cierre de la válvula.

8.3. Cálculo de sobrepresión

Para realizar el cálculo de la sobrepresión que existe dentro del cuerpo de la bomba de ariete hidráulico se utilizara la siguiente fórmula:

$$\Delta P = \rho * a * v$$

$$\Delta P = 997 \text{ Kg/m}^3 * 1339.41 \text{ m/s} * 1.12 \text{ m/s}$$

$$\Delta P = 1,495,638.78 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 1.4956 \text{ MPa.}$$

Ya se determinó que el cierre de las válvulas es rápido calcularemos la sobrepresión que existirá ocasionada por el golpe de ariete hidráulico, se utilizará la fórmula 23 propuesta por Allievi.

$$\Delta H = \frac{v * a}{g}$$

$$\Delta H = \frac{1.12 \text{ m/s} * 1339.41 \text{ m/s}}{9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$\Delta H = 152.91 \text{ m}$$

Con el dato de la sobrepresión calcularemos la carga máxima de la instalación del ariete hidráulico, luego se calculará la presión máxima del ariete.

Para el cálculo de la presión máxima se utilizará la fórmula 27.

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

$$H_{\text{max}} = 2 \text{ m} + 152.91 \text{ m}$$

$$H_{\text{max}} = 154.91 \text{ m}$$

Para el cálculo de la presión máxima se utilizará la fórmula 27.

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

$$P_{\text{max}} = 997 \text{ Kg/m}^3 * 9.81 \text{ m/m}^2 * 154.91 \text{ m}$$

$$P_{\text{max}} = 1,515,108.09 \text{ Pa}$$

$$P_{\max} = 1.51 \text{ MPa}$$

También se podrá calcular la presión mínima de la instalación del ariete hidráulico siempre antes se deberá calcular la carga mínima de la instalación.

Para el cálculo de la presión máxima se utilizará la fórmula 28.

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

$$H_{\min} = 2\text{m} - 152.91\text{m}$$

$$H_{\min} = -150.91\text{m}$$

Para el cálculo de la presión mínima se utilizará la fórmula 28.

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

$$P_{\min} = 997 \text{ Kg/m}^3 * 9.81 \text{ m/m}^2 * -150.91 \text{ m}$$

$$P_{\min} = -1,475,985.81 \text{ Pa}$$

$$P_{\min} = -1.47 \text{ MPa}$$

9. SELECCIÓN Y DISEÑO DE COMPONENTES DEL CUERPO DEL ARIETE HIDRÁULICO

9.1. Cuerpo del ariete hidráulico

El cuerpo de ariete es la parte de la bomba donde se producen las presiones internas producidas por el fenómeno del golpe de ariete hidráulico. Los componentes internos que lo constituye son la cámara de aire, válvulas de impulso, válvula de alimentación de aire, tubería de descarga.

El diseño de esta parte y el material que se utilizara debe ser seleccionada correctamente, es recomendable el uso de pvc para lograr que se consiga una celeridad en la onda de presión.



Figura 37. Componentes del diseño del cuerpo del ariete hidráulico

Fuente: Chero, 2018.

9.2. Cámara de aire

Esta parte es la que regulará la cantidad de agua que circula dentro de la tubería de descarga, además de ajustar la presión comprimiendo y amortiguando el golpe de ariete hidráulico, para impulsar el agua en la tubería de descarga y así se producirá un flujo constante, la cámara de aire se sitúa encima de la válvula de entrega.

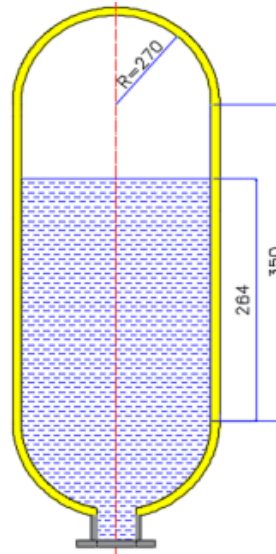


Figura 38. Diseño de cámara de aire

Fuente: Elaboración propia

9.3. Válvula de impulso

Este componente es el más importante para que el funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico sea eficiente, por medio de este se producirá el golpe de ariete en el cierre repentino por el aumento de la velocidad del fluido.

Este tipo de válvula es la encargada de ajustar la cantidad de agua que ingresa a la cámara de aire, es una pieza sensible debido al número de golpes que se producirán por minuto.

Diseño de la válvula de impulso:

9.3.1. Diámetro del pie de la válvula.

Considerando que el cuerpo de ariete tendrá un diámetro de 0.0508 m en relación a este dato el diámetro del pie de la válvula de impulso es de 0.0254 mm, con este diámetro se obtiene la holgura necesaria para producir el movimiento necesario de la misma.

9.3.2. Agujero de salida de la válvula de impulso.

Para el estudio se determinó que el diámetro del agujero de salida de agua será de 0.0127 m para lograr una mayor eficiencia en el cierre de la válvula.

9.3.3. Grosor del pie de la válvula de impulso.

Se recomienda utilizar un disco de acero inoxidable el grosor será de 9.52 mm.

9.3.4. Grosor del pie de la válvula de impulso.

Se determinó que la longitud será de 282 mm esto permitirá tener un mayor espacio para colocar la tuerca que servirá como pesa, el diámetro será de 9.53 mm.

Es recomendable insertar un tapón de caucho suficientemente amplio para que cuando el vástago sea empujado hacia arriba cerrando la válvula de impulso, la orientación de la válvula de impulso deberá ser verticalmente.

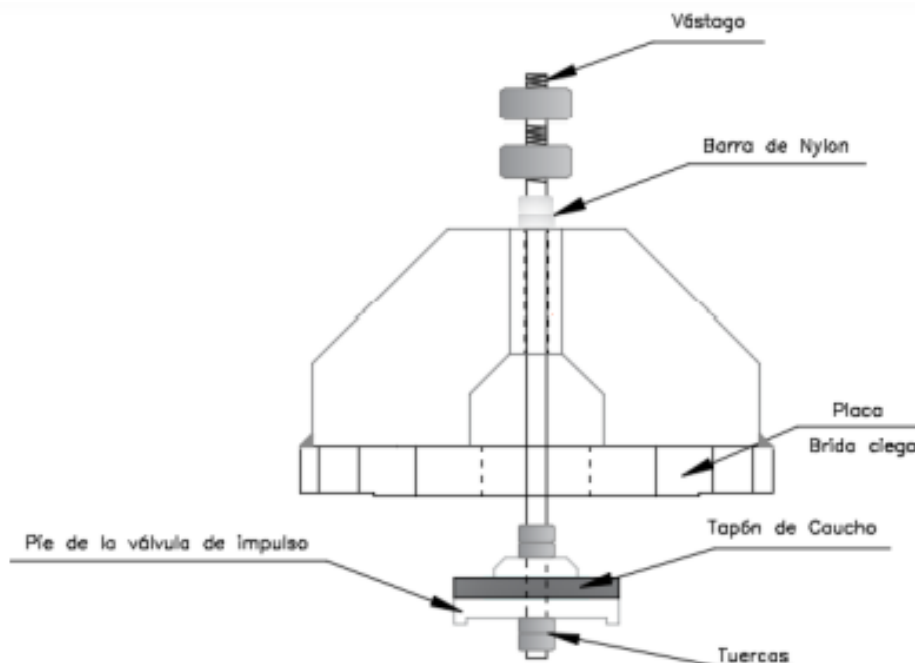


Figura 39. Diseño de la válvula de impulso

Fuente: Elaboración propia

9.4. Diseño de la válvula de alimentación de aire

La función de la válvula de alimentación de aire es que permanezca la cantidad necesaria de aire dentro de la cámara de aire, una parte de este aire se absorbe por la turbulencia del agua la otra se absorbe o se pierde al momento de ser bombeada por la tubería de descarga. Al momento que se pierde el aire la válvula de alimentación de aire vuelve a introducirlo a la cámara.

La válvula es un agujero que se ubicara debajo de la válvula de suministro del cuerpo de ariete, es un agujero simple de realizar con un barreno, se debe tomar en cuenta que si el agujero es demasiado grande absorberá demasiado aire en la cámara nuestro ariete no bombeara agua sino solo aire, y si es demasiado pequeño no absorberá el aire necesario para circular en el ariete lo que ocasionara que las válvulas de impulso realicen un esfuerzo extra y pueda existir roturas en el cuerpo de ariete hidráulico.



Figura 40. Diseño de válvula de

Fuente: Elaboración propia

10. CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

10.1. Consideraciones generales

Para el proceso de construcción del equipo de la bomba de ariete hidráulico se necesitarán accesorios que cumplan con los datos que anteriormente se calcularon, estos deberán soportar la sobrepresión y presión que existirá en el cuerpo de la bomba de ariete todo esto tiene como propósito de asegurar el buen funcionamiento de la misma y una vida útil larga.

Para nuestro estudio se ha tomado la decisión que el cuerpo del ariete este constituido de pvc, es un material que es muy utilizado en el medio de la industria, tiene capacidades de soportar presiones altas, resistente a los golpes durante la instalación, previene la corrosión de los fluidos. Para la instalación de la tubería de alimentación y descarga se utilizará el material de PVC.

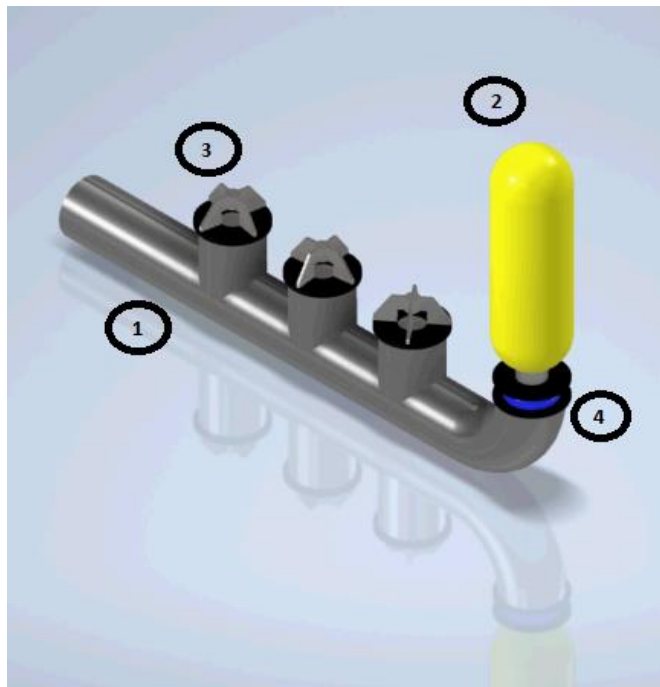


Figura 41. Partes para la construcción de la bomba de ariete

Fuente: Elaboración propia

Partes para la construcción de la bomba de ariete hidráulico.

1. Cuerpo de la bomba de ariete hidráulico.
2. Cámara de aire.
3. Válvulas de impulso.
4. Válvula de entrega.

10.2. Construcción del cuerpo de la bomba de ariete hidráulico

Esta parte de la bomba es la que encargada de soportar la sobrepresión que generara el cierre rápido y brusco de las válvulas de impulso, por tal motivo el material que recomienda utilizar un material resistente, el material recomendado para este estudio de factibilidad es el acero galvanizado ya que cumple con todas las especificaciones del diseño propuesto.

Material	Descripción
Tee	Diámetro Ø 2"
Codo a 90°	Diámetro Ø 2"
Flange	Diámetro Ø 2"
Niple	De 2" Diámetro Ø 2"
Niple	De 2" Diámetro Ø 2"

Tabla 6. . Accesorios que se utilizarán para la construcción del cuerpo del ariete

Fuente: Elaboración propia

Lo primero que se debe realizar es colocarle teflón a ambos lados de los niples que unirán las tee para evitar fugas en el cuerpo del ariete, teflón se deberá colocar en sentido contrario a la rosca ya realizado este paso se unen las tee con los niples se realiza manualmente girando el niple, así se unirán las tres tee con los tres niples y el codo a 90° que se colocara al final, la unión de estos materiales deberá ser linealmente a lo largo del cuerpo del ariete, para finalizar el proceso ya unidas las tres tee con los niples, se unen las tee con los tres flange esta unión también se realiza con niples.



Figura 42. Cuerpo de bomba de ariete hidráulico

Fuente: Elaboración propia

10.3. Construcción de cámara de aire

Esta parte de la bomba del ariete hidráulico es fundamental ya que en su interior contiene una parte de agua y la otra de aire, cuando el aire se comprime con el golpe de ariete es cuando el fluido se desplaza por toda la tubería de descarga, por tal motivo es importante que se garantice la hermeticidad para que resista la presión que se generara en su interior.

Material	Descripción
Tanque de aire	Para capacidad de 60 a 80 galones
Flange	Diámetro \varnothing 2"
Unión	Diámetro \varnothing 2" acero negro

Tabla 7. Accesorios que se utilizarán para la construcción de cámara de aire

Fuente: Elaboración propia

El primer paso es perforar el tanque de aire en la parte inferior, el diámetro del agujero deberá ser de \varnothing 2", esto servirá para ensamblar la unión de acero negro con soldadura. Ya terminado este

proceso seguidamente se une con soldadura la otra parte de la unión de acero negro con el flange de $\varnothing 2''$.



Figura 43. Construcción de cámara de aire

Fuente: Elaboración propia

10.4. Construcción de válvulas de impulso

Esta parte de la bomba de ariete es la que se encarga de generar el cierre rápido y brusco y al mismo tiempo una sobrepresión que existirá en el cuerpo del ariete.

Material	Descripción
Plancha de acero	Espesor 1/4"
Plancha de acero inoxidable	Con orificio de 9.70 mm
Flange ciego	Diámetro $\varnothing 2''$
Perno inoxidable	Diámetro 3/8" ambos extremos roscados
Disco de acero inoxidable	Diámetro $\varnothing 80$ mm
Caucho	Espesor 3/8"
Tuercas y arandela	Diámetro $\varnothing 3/8''$

Tabla 8. Accesorios que se utilizarán para la construcción de la válvula de impulso

Fuente: Elaboración propia

Lo primero será hacer una perforación de ϕ 0.0127 mm en el centro de la flange ciego, orificio por el cual saldrá el agua desechada durante el cierre de la válvula. Para la construcción del pie del vástago de la válvula se toma el disco de acero, se le realiza una perforación en el centro de ϕ 3/8" para luego soldar el eje (perno de ϕ 3/8"), una vez centrado y soldado el vástago se coloca encima del disco caucho, el cual será el encargado que haya una mejor hermeticidad durante el cierre de la válvula.

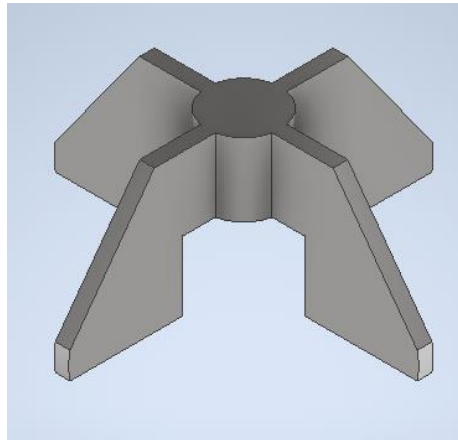


Figura 44. Diseño de para la construcción de la válvula de impulso

Fuente: Elaboración propia

10.5. Construcción de válvula de entrega o cheque

El objetivo principal es mantener cerrado por completo el paso de agua para que no se regrese hacia el cuerpo del ariete, con ello se pretende que se mantenga la presión en la cámara de aire esa misma presión servirá para que fluya el agua en la tubería de descarga.

Para el estudio de bombeo se utilizará una válvula de retención dúo check diámetro ϕ 2" para la válvula de entrega.

Material	Descripción
Válvula de retención dúo check	Diámetro ϕ 2"

Tabla 9. Accesorios que se utilizarán para la construcción de la válvula de entrega

Fuente: Elaboración propia

Se recomienda para este estudio de factibilidad del sistema de bombeo utilizar una válvula de retención dúo check para la válvula de entrega.



Figura 45. Válvula de retención dúo check para válvula de entrega

Fuente: Elaboración propia

10.6. Instalación de la tubería de suministro y descarga

Para la instalación de la tubería de descarga se calculó una longitud de 10 m y el tipo de material será de PVC que es capaz de soportar la sobrepresión que genera el golpe de ariete. Se estima la utilización de 3 tubos de diámetro de 2" pulgadas y longitud de 6 m, que serán unidos de extremo a extremo con pegamento especial para tubería de PVC. Se deberá excavar desde donde estará instalado el tanque de suministro hasta el punto donde estará la bomba de ariete hidráulico ahí ira enterrada la tubería para hacerla rígida y evitar fugas por golpes, el ángulo de la instalación deberá ser de 14°.

Para la tubería de descarga se utilizará de material de PVC de diámetro de 1/2" pulgada la tubería ira conectada de la bomba de ariete hacia la instalación donde estará el tanque de captación para el uso de las diferentes necesidades en las instalaciones de la universidad para evitar escases, al igual que la tubería de suministro la tubería de descarga ira enterrada para hacerla más rígida.

11. VALOR TOTAL DEL ESTUDIO PARA EL SISTEMA DE BOMBEO

En este capítulo del estudio de factibilidad para el sistema de bombeo se detallan los precios de la mano de obra y materiales que estarán involucrados.

11.1. Costo de materiales en la instalación de la tubería de suministro

En la siguiente tabla se detallan los costos de los materiales que se necesitan para la instalación de la tubería de suministro hacia la bomba de arete hidráulico.

Material	Cantidad (Unidad)	Valor Unitario (Q)	Valor Total (Q)
Tubo de pvc 125 PSI diámetro Ø2" pulgadas	2	Q 91.82	Q 183.64
Copla de pvc diámetro Ø2" pulgadas	1	Q 6.94	Q 6.94
Codo de 45° diámetro Ø2" pulgadas	1	Q 9.56	Q 9.56
Llave de paso diámetro Ø2" pulgadas	1	Q 35.00	Q 35.00
Cinta de teflón	6	Q 4.65	Q 27.90
Costo total de materiales para la instalación de tubería de suministro			Q 263.04

Tabla 10. Accesorios que se utilizarán para la instalación de la válvula de la tubería de suministro

Fuente: Elaboración propia

11.2. Costo de fabricación y materiales de la bomba de ariete hidráulico

En esta parte se detallan los costos de la fabricación del ariete hidráulico, en la siguiente tabla se incluye los materiales que se necesitan y la mano de obra.

Material	Cantidad (unidad)	Valor unitario (Q)	Valor total (Q)
Flange con rosca diámetro de $\varnothing 2$ " pulgadas	4	Q 35.00	Q 140.00
Flange ciego de diámetro de $\varnothing 2$ " pulgadas	4	Q 55.00	Q 220.00
Tanque de aire aproximadamente de 20 galones fabricado	1	Q 150.00	Q 150.00
Válvula de retención duo check de diámetro $\varnothing 2$ " pulgadas	1	Q 350.00	Q 350.00
Tee de diámetro $\varnothing 2$ " pulgadas	3	Q 55.00	Q 165.00
Niple de acero galvanizada de 2" x 2" pulgadas	8	Q 18.00	Q 144.00
Plancha de caucho	1	Q 35.00	Q 35.00
Perno inoxidable de 3/8" con rosca en ambos lados	20	Q 8.00	Q 160.00
Arandela plana de 5/8"	20	Q 3.00	Q 60.00
Arandela plana de 3/8"	50	Q 1.80	Q 90.00
Tuerca hexagonal de 5/8"	20	Q 2.45	Q 49.00
Tuerca hexagonal de 3/8"	8	Q 3.49	Q 27.92
Cuadrado de lámina HN de 1/8"	1	Q 50.00	Q 50.00
Cinta de teflón	10	Q 4.65	Q 46.50
		Total	Q 1687.42

Tabla 11. Descripción de costos de materiales para la elaboración de ariete hidráulico

Fuente: Elaboración propia

Descripción	Valor Total (Q)
Fabricación de las válvulas de impulso (torneado y soldadura)	Q75.00
Soldadura de tanque y cuerpo de ariete	Q 100.00
Total	Q 175.00

Tabla 12. Costos de fabricación de las válvulas y cámara de aire

Fuente: Elaboración propia

Descripción	Valor Total (Q)
Costos de materiales para fabricación de bomba de ariete	Q 1,8624.42
Costo de fabricación (mano de obra)	Q 200.00
Total	Q 2062.42

Tabla 13. Costos de fabricación de la bomba de ariete

Fuente: Elaboración propia

11.3. Costo de materiales en la instalación de la tubería de descarga

En la siguiente tabla se detallan los costos de los materiales que se necesitan para la instalación de la tubería de descarga que seguidamente ira conectada a la instalación de agua que existe actualmente en las instalaciones de la universidad.

Material	Cantidad (Unidad)	Valor Unitario (Q)	Valor Total (Q)
Tubo de PVC 125 PSI diámetro \varnothing 1/2" pulgadas	2	Q 23.84	Q 47.68
Codo de 90° diámetro \varnothing 1/2" pulgadas	2	Q 1.15	Q 2.30
Válvula de globo de bronce de \varnothing 1/2"	1	Q 54.99	Q 54.99
Válvula check vertical de \varnothing 1/2"	1	Q 60.00	Q 60.00
Cinta de teflón	3	Q 4.65	Q 13.95
Costo total de materiales para la instalación de tubería de descarga			Q 178.92

Tabla 14. Costos de instalación de la tubería de descarga

Fuente: Elaboración propia

11.4. Costo del proyecto

En esta parte del estudio se detallan los costos totales para determinar el costo total para la implementación de un sistema de bombeo mediante una bomba de ariete hidráulico.

Descripción	Valor Total (Q)
Costo total de materiales para la instalación de tubería de suministro	Q 263.04
Costo de fabricación y materiales de la bomba de ariete hidráulico	Q 2,062.42
Costo total de materiales para la instalación de tubería de descarga	Q 178.92
Costo de fabricación de válvulas de impulso y cámara de aire	Q 175.00
TOTAL	Q 2,679.38

Tabla 15. Costos de total del proyecto

Fuente: Elaboración propia

12. SOLUCIÓN DE FALLAS EN EL FUNCIONAMIENTO DEL ARIETE HIDRÁULICO

12.1. Diagnóstico y resolución de las fallas

El ariete hidráulico es fácil de operar, de instalar y el mantenimiento no es costoso, pero puede llegar a presentar problemas en algún momento, es por eso que en nuestro estudio se encontrara un listado de las fallas o problemas que se pueden presentar cuando esté en funcionamiento la bomba de ariete hidráulico al igual que las soluciones de los distintos problemas.

Problema	Causas	Solución
Válvula de impulso no abre ni cierra automáticamente.	<ol style="list-style-type: none"> 1. El nivel de agua del tanque de suministro es demasiado bajo. 2. Presencia de arena o lodo que están bloqueando el paso de agua. 3. Fuga en la tubería de descarga. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mantener el nivel de agua en el tanque de suministro. 2. Realizar una limpieza periódicamente para evitar la obstrucción del agua. 3. Identificar la fuga y realizar la reparación
El agua no fluye con la presión esperada por la tubería de descarga	<ol style="list-style-type: none"> 1. No hay el suficiente aire en la cámara de aire. 2. Fugas en la tubería de descarga. 3. Ruptura del caucho de la válvula de impulso. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reducir el nivel de agua en la descarga. 2. Identificar la fuga y realizar la reparación. 3. Reemplazarlo por un sello nuevo de caucho.
Vibración en el cuerpo del ariete	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tuercas flojas que fijan el ariete hidráulico con la base de los pernos. 2. Tornillos que fijan la base del ariete y la cámara de aire mal apretados. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Apretar correctamente las tuercas a la base de los pernos. 2. Colocar correctamente los tornillos a la brida que une la base del ariete a la cámara de aire.

Tabla 16. Problemas en el funcionamiento y soluciones en la bomba de ariete hidráulico

Fuente: Elaboración propia

12.2. Precisión del funcionamiento del ariete hidráulico

Para que el funcionamiento del ariete hidráulico sea eficiente para bombear la suficiente agua hacia el punto de descarga se debe afinar. El procedimiento es rápido y sencillo de realizar que no es necesario de un manual. Cuando está en funcionamiento la bomba de ariete hidráulico se visualiza que está bombeando cierta cantidad de agua aun no estando calibradas las válvulas de impulso.

Para lograr obtener la mayor cantidad de agua hacia el punto de descarga es preciso ajustar la simetría de los golpes que produce el fenómeno del golpe de ariete, esto se realiza variando el peso en la válvula de impulso hasta lograr que bombee la cantidad de agua el cual fue diseñada la bomba de ariete hidráulico.

12.3. Mantenimiento de la bomba de ariete hidráulico

El mantenimiento para la bomba de ariete es sencillo y no es de alto costo es importante realizarlo periódicamente para mantener el flujo de agua en la tubería de descarga, en muchas ocasiones las impurezas que se escapan del tanque de suministro pueden obstruir el funcionamiento correcto de las válvulas de impulso.

- Tareas de mantenimiento importantes en una bomba de ariete hidráulico:
- Ajustar las tuercas de las válvulas de impulso que se aflojen.
- Limpiar y extraer las impurezas que acumulen las válvulas de impulso.
- Reemplazar el caucho roto de las válvulas de impulso.
- Remover el óxido producido por el agua en el vástago de la válvula de impulso para que pueda tener movimiento.
- Ajustar o apretar los tornillos de las bridas que unen el cuerpo del ariete con la cámara de aire.

Revisión semanal o quincenalmente para ver que todos los componentes estén trabajando adecuadamente.

13. EVALUACIONES Y RESULTADOS

En el estudio de factibilidad para un sistema de bombeo se diseñó un ariete, en donde en base al caudal y la altura de descarga se calcularon las dimensiones del ariete. Los datos obtenidos teóricamente en los capítulos anteriores se podrán relacionar cuando la bomba de ariete esté en funcionamiento.

13.1. Análisis teórico matemático de la bomba de ariete hidráulico

En el estudio de factibilidad de un sistema de bombeo se diseñó un ariete, en donde en base al caudal y a la presión de descarga se calcularon las dimensiones.

En la siguiente tabla se detallan los parámetros calculados del diseño para el funcionamiento correcto de la bomba de ariete hidráulico.

Parámetros	Valores	Unidad de medida
Altura de entrega	4	M
Altura de suministro	2	M
Caudal de suministro	9.66	l/m.
Rendimiento energético	69	%

Tabla 17. Parámetros de diseño

Fuente: Elaboración propia

El rendimiento energético de la bomba de ariete hidráulico diseñado para el sistema de bombeo de la Universidad del Valle de Guatemala Campus Sur según la relación entre la altura de suministro y la altura de entrega esta entre los parámetros.

He/Hs	2	3	4	6	8	9	10	12
R	0.69	0.66	0.62	0.54	0.46	0.38	0.35	0.19

Según la tabla de rendimiento energético, el diseño del ariete hidráulico está en los rangos aceptables para que el funcionamiento sea eficiente.

13.2. Análisis matemático de la bomba de ariete hidráulico

Para la comprobación de nuestro modelo matemático del diseño del ariete hidráulico es importante recalcar que al momento del cierre de la válvula de impulso en un segundo todo el sistema pasa de ser régimen laminar a ser un régimen turbulento esto se debe a que se producen cambios de energía cinética en el sistema de así mismo se verá reflejado en la oscilación del caudal y la presión en la tubería. Las presiones máximas producen serios daños a la tubería como fisuras, fugas etc. Las sobrepresiones se generan al momento que sobre pasa el límite de la presión atmosférica.

El fenómeno del golpe de ariete hidráulico que se produce dentro de la tubería puede colapsar cuando el diámetro de la tubería de suministro es demasiado pequeño.

13.3. Análisis del caudal de entrega en relación con la altura

Se realizaron cálculos para el análisis del caudal de entrega comparando varias alturas de entrega de los siguientes datos se obtuvieron los resultados que a continuación se describen en la tabla.

Altura de descarga (He)	Caudal de entrega (L/m)
2 m	19.32 l/m
3 m	12.88 l/m
4 m	9.66 l/m
5 m	7.72 l/m
6 m	6.44 l/m
7 m	5.52 l/m
8 m	4.83 l/m
9 m	4.29 l/m
10 m	3.86 l/m

Tabla 18. Análisis de caudal de entrega

Fuente: Elaboración propia

13.4. Análisis de costos de fabricación de una bomba de ariete

Los costos de fabricación dependerán del lugar donde se instale también de los precios que manejan las diferentes ferreterías, los precios que se detallaron servirán como referencia de un aproximado para la comparación entre la instalación de una bomba de ariete y una bomba periférica eléctrica.

Entre los costos de fabricación están todas las piezas y mano de obra para la fabricación de la bomba de ariete, también se detallan los costos de la fabricación de las válvulas de impulso y cámara de aire.

Descripción de los costos de la fabricación de una bomba de ariete	Valor total (Q)
Costo de fabricación y materiales de la bomba de ariete hidráulico	Q 2,062.42
Costo de fabricación de válvulas de impulso y cámara de aire	Q 175.00
TOTAL	Q 2,237.38

Tabla 19. Análisis de costo de fabricación

Fuente: Elaboración propia

El análisis económico con respecto al precio de una bomba periférica de 1 Hp más el costo mensual de energía eléctrica se puede afirmar que la bomba de ariete es más rentable, aunque existe en el costo una variación, pero este tipo de sistema de abastecimiento no necesita el consumo de energía eléctrica tampoco otro tipo de combustible esto hace que la bomba sea ecológica y rentable para más proyectos de carácter social ya que evita la contaminación, la fabricación es sencilla y los materiales para su fabricación son fáciles de encontrarlos en cualquier ferretería.

14. CONCLUSIONES

1. Este tipo de sistema de bombeo de agua es práctico su funcionamiento no necesita electricidad ni combustible, trabaja con energía limpia, no contamina el medio ambiente esto lo hace un sistema de energía renovable se obtiene del aprovechamiento de la energía hidráulica, cinética y potencial.
2. La bomba de ariete es una alternativa diseñada para abastecer la red de agua potable en las instalaciones de la universidad donde las condiciones son idóneas donde existe una fuente hídrica para el abastecimiento del ariete que ayudará a mantener un flujo constante para la utilización de las diferentes necesidades de los estudiantes y docentes.
3. Se realizaron cálculos específicos para el diseño de la bomba de ariete hidráulico, para garantizar el funcionamiento, fácil construcción, montaje e instalación donde se eligieron materiales de bajo costo con durabilidad y resistencia según para lo que sea utilizado.
4. Se elaboró un plan de mantenimiento para garantizar el funcionamiento y duración de vida de este tipo de bomba dependerá del cumplimiento de las tareas de mantenimiento preventivo que se le da al ariete hidráulico, mantener libre de impurezas que puedan impedir el paso de agua en las válvulas de impulso, las piezas que se propusieron son fáciles de cambiar.
5. El estudio que se realizó para la implementación de la bomba de ariete, no es comparable para las bombas de ariete comerciales que existen en el mercado que son diseñados para un uso en específico y el rendimiento no es comparable.
6. Se calculó la capacidad del tanque de suministro deberá de cumplir con el caudal calculado para abastecer la bomba de ariete hidráulico durante el tiempo que estará en funcionamiento, el tanque deberá de contar con un filtro en la entrada de la tubería para evitar que ingrese arena o lodo a las válvulas de impulso.
7. Este tipo de proyecto es rentable para diferentes usos con ello se busca dar a conocer sus beneficios, la inversión inicial no es alta en comparación a la instalación de una bomba eléctrica o gasolina, de tal forma el aprovechamiento de este tipo de sistema de bombeo ayudara a incentivar la aplicación del mismo en la población.
8. Este tipo de bombas no son muy conocidas en el mercado por lo que no es un paso atrás tecnológicamente este tipo de bombas son un paso hacia adelante en el tema de economía y eficiencia ya que pueden utilizarse para diferentes usos comerciales e industriales.

15. RECOMENDACIONES

1. Durante el funcionamiento se debe proteger toda la instalación de la tubería de suministro de sólidos que puedan ingresar al tanque de suministro y posteriormente a la tubería de alimentación o suministro, estos pueden obstruir las válvulas de impulso, es recomendable colocarle filtro a la parte de la tubería instalada en la fuente hídrica.
2. La bomba de ariete tendrá que instalarse en una superficie plana de manera horizontal, se deberá sujetar a la base lo que evitará que el ariete se deslice por las vibraciones que produce el golpe de ariete, para que no existan fallos en el funcionamiento.
3. Es recomendable realizar pruebas cuando se ponga en funcionamiento la bomba calibrando la carrera del vástago de las válvulas de impulso para lograr obtener el mayor rendimiento con respecto al caudal de entrega.
4. Aplicar pintura anticorrosiva a las partes de ariete para evitar la corrosión de esta manera se extenderá la vida útil de las diferentes partes del cuerpo de la bomba de ariete hidráulico.
5. Es recomendable darle mantenimiento preventivo cada 15 días y un correctivo cada mes esto como medida de seguridad de todas las partes que componen la bomba y cumplir con el tiempo de vida de la bomba de ariete.
6. Tener cuidado con la tubería de suministro y descarga ya que es de material de PVC este tipo de material se deberá tratar con mucho cuidado ya que son frágiles a los golpes, por lo que se recomienda que la tubería pase por debajo de la tierra esto la volverá más rígida y se evitara fugas.

16. BIBLIOGRAFÍA

- Chávez, P. (2018). Diseño de Bomba de Ariete Hidráulico, en la Asociación San Miguel. *Título Profesional de Ingeniero Mecánico*. Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua, Perú. 159 págs.
- Collazos Castro, A. S. (2018). Diseño y construcción de una almenara (Dispositivo de protección para disparar el golpe de ariete). *Trabajo de grado de modalidad investigación (Facultad de Ingeniería)*. Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia. 94 págs.
- Copyright © Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. (2018). *Manula de optimizacion de sistemas de bombeo*. Colombia. : programa 5828 GEF/UPME/ONUDI para la “Promoción de la Eficiencia Energetica Industrial en las industrias colombianas” 183 págs.
- Heras, S. d. (2011). *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas* (Primera edición ed.). Barcelona, España. 413 págs.: Service Point.
- Lizana Chero, A. (2018). Diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico. *Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil*. Universidad de Piura, Piura, Perú. 117 págs.
- Mataix, C. (1986). *Mecanica de fluidos y maquinas hidraulicas* (Vol. Segunda Edición). Madrid, España. 660 págs.: Ediciones del castillo, S.A.
- Meza González, G. I. (2019). Análisis del funcionamiento de una bomba de ariete hidráulico artesanal con diámetro de una pulgada. (*Trabajo de graduación para el titulo de Ingeniero Civil*). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. 115 págs.
- Ortiz, M. (2021). Diseño de un banco de pruebas para bombas hidráulicas centrífugas en configuración en serie, paralelo e individual. (*Trabajo de grado Facultad de Ingeniería*). Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 93 págs.
- Pablo, O. I. (2017). Ariete hidraulico para riego. Diseño, construcción y montaje. *Trabajo fin de carrera para acceder al titulo de Ingeniero Industrial*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Indsutriales y de Telecomunicación, Universidad de Cantabria, Cantabria, Colombia. 100 págs.
- Pérez, M. A. (Febrero de 2018). *Bomba de ariete hidraulico*. Obtenido de <https://bombariete.blogspot.com/2018/05/calculo-de-caudal-de-elevacion-de-la.html>
- Pulido, J. S. (2017). Frabricación y caracterización de una bomba reciprocante diferencial accionada manualmente. *Proyecto de grado*. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. 57 págs.
- Rincón Mario, V. W. (2017). *Topografía conceptos y aplicaciones*. Bogotá, Colombia. 404 págs.: Ecoe Ediciones.

Zambrano Vera, F. A. (2020). Determinación del golpe de arite en tuberías a presión mediante un modelo hidráulico de laboratorio. *Proyecto de investigación*. Universidad Estatal del sur de Manabí, Manabí, Ecuador. 40 págs.