

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**Diseño de una bomba de ariete que recolecta agua de lluvia para consumo  
doméstico en viviendas periféricas de Chachapoyas**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

**AUTOR**

**Alex Leonardo Culqui Alvarado**

**ASESOR**

**William Fernando Villareal Albritres**

<https://orcid.org/0000-0003-1743-6014>

**Chiclayo, 2024**

**Diseño de una bomba de ariete que recolecta agua de lluvia para  
consumo doméstico en viviendas periféricas de Chachapoyas**

PRESENTADA POR

**Alex Leonardo Culqui Alvarado**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

APROBADA POR

Wilson Jiménez Zuloeta

PRESIDENTE

Jony Villalobos Cabrera

SECRETARIO

William Fernando Villareal Albitres

VOCAL

## **Dedicatoria**

Este trabajo de investigación se lo dedico a mi madre por confiar en mí y ser mi mayor motivo de buscar el éxito para que sepa que su esfuerzo, su lucha y entrega se lo devuelvo de la misma manera, asimismo a Dios por nunca faltarme y bendecirme con la dicha de compartir mi vida con mis familiares, amigos y excelentes maestros.

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por la salud y la vida, a mi madre y mis amigos que de forma económica o moral siempre cuento con su apoyo, de la misma manera a mis maestros que día a día llenan de conocimientos a todos sus alumnos, además agradezco a mi padre que desde la otra vida sé que siempre está para apoyarme en esos momentos de ahogo y siendo siempre mi parámetro de grandeza.

# Diseño de una bomba de ariete que recolecta agua de lluvia para consumo doméstico en viviendas periféricas de Chachapoyas

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>17%</b>	<b>16%</b>	<b>1%</b>	<b>5%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>2</b>	<b>vsip.info</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>pirhua.udep.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>1library.co</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>tesis.usat.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>Submitted to Universidad Santo Tomas</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.unap.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>larepublica.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>repositorio.upn.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

## ÍNDICE

RESUMEN .....	14
ABSTRACT .....	15
1. INTRODUCCIÓN .....	16
1.1 Situación problemática .....	18
1.2 Objetivos.....	18
1.2.1 Objetivo general.....	18
1.2.2 Objetivos específicos .....	18
2. MARCO TEÓRICO .....	20
2.1 Antecedentes empíricos .....	20
2.2 Bases Teóricas-Científicas.....	21
2.2.1 Abastecimiento de agua .....	21
2.2.2 Consumo total mínimo por habitante.....	21
2.2.3 ¿Cómo Se Utiliza El Agua En El Hogar? .....	22
2.2.4 Golpe de ariete: .....	23
2.2.4.2. Ilustración del fenómeno. ....	24
2.2.5 Bomba de ariete .....	26
2.2.5.2. Partes para la instalación de una bomba de ariete .....	27
2.2.5.2.1. Fuente de alimentación (1) .....	27
2.2.5.2.2. Ducto de alimentación (2) .....	27
2.2.5.2.3. Tubería de salida o de elevación (3).....	28
2.2.5.2.4. Bomba de ariete (4) .....	28
2.2.5.3. Componentes del ariete hidráulico .....	28
2.2.5.3.1. Cuerpo del ariete hidráulico.....	28
2.2.5.3.2. Válvula de impulso.....	28
2.2.5.3.3. Válvula de retención.....	29
2.2.5.3.4. Cámara de aire .....	29
2.2.5.3.5. Válvula de aire.....	29
2.2.6 Funcionamiento de la bomba de ariete .....	29
2.2.7 Ciclo hidráulico del ariete hidráulico.....	30
2.2.7.1. Periodo 1: aceleración ( $Ta$ ).....	30
2.2.7.2. Período 2: Bombeo o Entrega ( $Td$ ).....	31
2.2.7.3. Periodo 3: retroceso ( $Tr$ ).....	31

2.2.8	Parámetros para el diseño de las bombas de ariete .....	33
2.2.9	Tipos de bombas de arietes .....	34
2.2.9.1.	Ariete hidráulico de caudal fijo y arranque automático.....	34
2.2.9.2.	Ariete hidráulico de caudal variable y arranque automático .....	35
2.2.9.3.	Ariete hidráulico de caudal variable y arranque automático. ....	36
2.2.9.4.	Ariete hidráulico multiválvulas de caudal variable y arranque automático.....	37
2.2.9.5.	Ariete hidráulico multiválvulas de caudal variable. ....	37
2.2.9.6.	Ariete hidráulico básico empotrable. ....	38
2.2.10	Requisitos de instalación.....	39
2.2.11	Desabastecimiento de agua potable en la ciudad de Chachapoyas .....	40
2.2.12	Herramientas computacionales de diseño .....	40
2.2.13	Ecuaciones que definen el comportamiento de la bomba de ariete .....	41
2.2.13.2.	Pérdidas menores .....	41
2.2.13.3.	Pérdidas mayores .....	42
2.2.13.4.	Coefficiente de fricción.....	42
2.2.13.5.	Número de Reynolds .....	42
2.2.13.6.	Rugosidad relativa .....	43
2.2.13.7.	Rapidez de cierre de la válvula de impulso .....	43
2.2.13.8.	Coefficiente de descarga .....	43
2.2.13.9.	Caudal de descarga .....	44
2.2.13.10.	Rendimiento de la bomba de ariete .....	44
2.2.13.11.	Potencia de la bomba .....	45
2.2.13.12.	Peso máximo de la válvula de impulso .....	45
2.2.13.13.	Celeridad (velocidad de propagación de la onda de presión).....	46
2.2.13.14.	Sobrepresión por cierre de una válvula .....	46
2.2.13.15.	Rendimiento volumétrico .....	46
2.2.13.16.	Presión necesaria para subir el fluido .....	47
3.	METODOLOGÍA.....	48
3.1	Diagrama de flujo .....	48
3.2	Formulación de hipótesis operación de variables .....	50
4.	RESULTADOS .....	53
4.1	Indicar las precipitaciones en Chachapoyas y especificar los datos de las viviendas periféricas de la ciudad.....	53
4.1.1	Información climatológica de Chachapoyas .....	53

4.1.2	Datos métricos de las viviendas periféricas de Chachapoyas.....	53
4.1.3	Cantidad de agua recolectada.....	54
4.1.4	Cantidad de agua requerida para satisfacer la demanda .....	55
4.2	Cuantificar los principales factores que determinan el diseño de bombas de ariete que permitan su dimensionamiento y selección de componentes.....	56
4.2.1	Cálculo del diámetro interior de la tubería. ....	57
4.2.2	Calculo de la rugosidad absoluta .....	57
4.2.3	Calculo de la velocidad máxima.....	57
4.2.4	Calculo del número de Reynolds .....	57
4.2.5	Calculo del factor de fricción.....	58
4.2.6	Calculo de la velocidad a la salida.....	58
4.2.7	Calculo de perdidas menores .....	58
4.2.8	Calculo del caudal libre .....	59
4.2.9	Calculo de la rapidez de cierre de la válvula de impulso.....	59
4.2.10	Calculo del coeficiente de descarga.....	59
4.2.11	Calculo del caudal de entrega .....	60
4.2.12	Calculo del caudal de servicio .....	60
4.2.13	Calculo de la eficiencia volumétrica.....	60
4.2.14	Calculo de la celeridad.....	61
4.2.15	Tiempo de propagación de las ondas de presión .....	61
4.2.16	Peso máximo de la válvula de impulso.....	61
4.2.17	Cálculo de la potencia de la bomba .....	62
4.2.18	Cálculo de la sobrepresión por cierre de válvula .....	62
4.2.19	Presión necesaria para subir el fluido .....	62
4.2.20	Resumen de resultados:.....	63
4.2.21	Descripción para los posibles casos variando parámetros del sistema .....	63
4.3	Diseñar el sistema hidráulico de bombas de ariete empleando la matriz morfológica. ....	67
4.3.1	Definición del problema .....	67
4.3.2	Identificación y caracterización de parámetros:.....	67
4.3.3	Construcción de la matriz morfológica.....	67
4.3.4	Combinaciones incluyen las soluciones posibles.....	68
4.3.5	Combinar posibilidades: .....	69
4.3.5.1.	Control del sistema .....	69
4.3.5.2.	Fuente de alimentación .....	69

4.3.5.3.	Fuente de agua no bombeada.....	69
4.3.5.4.	Ubicación del filtro.....	70
4.3.5.5.	Relación de diámetros en pulgadas .....	70
4.3.5.6.	Material de la tubería de alimentación.....	71
4.3.5.7.	Material de la tubería de descarga .....	71
4.3.5.8.	Material del cuerpo del ariete hidráulico .....	71
4.3.5.9.	Tipo de válvula de impulso .....	72
4.3.5.10.	Tipo de válvula de retención .....	72
4.3.5.11.	Uniones.....	73
4.3.5.12.	Fuente de descarga.....	73
4.3.5.13.	Como potabilizar el agua.....	73
4.3.6	Diseño morfológico final .....	74
4.4	Hacer un Análisis estático de la resistencia de la estructura y modelar la estructura de la bomba de ariete en SolidWorks. ....	77
4.4.1	Estructura del cuerpo del ariete.....	77
4.4.2	Seccionar la bomba para el análisis estático .....	78
4.4.3	Esfuerzos de Von Mises.....	79
4.4.4	Desplazamientos .....	79
4.4.5	Factor de seguridad .....	80
4.5	Ejecutar el diseño de la bomba de ariete. ....	80
4.5.1	Montaje .....	80
4.5.2	Pruebas y resultados.....	81
4.5.3	Comparación con los cálculos .....	84
4.5.4	Validación de los resultados experimental de prueba experimental con teoría .....	84
4.6	Realizar la evaluación económica del proyecto. ....	86
4.7	Costo de elementos en la sección de suministro.....	86
4.7.1	Costo de la bomba de ariete .....	87
4.7.2	Costo de elementos de la descarga.....	87
4.7.3	Costo de los elementos para el agua de desecho.....	87
4.7.4	Costos de fabricación .....	88
4.7.5	Costo Total.....	89
4.7.6	Evaluación económica .....	89
4.7.7	Comparación de costos de la bomba.....	89
5.	CONCLUSIONES .....	91

6.	RECOMENDACIONES.....	93
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	94
8.	ANEXOS.....	98

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Climograma Chachapoyas.....	13
Figura 2 esquema de funcionamiento de la bomba de ariete.....	14
Figura 3 Tipo de Consumo de agua por persona.....	19
Figura 4 Uso del agua en el hogar.....	19
Figura 5 Distribución del uso del agua en un hogar.....	20
Figura 6 Conducto de espesor $\delta$ , diámetro interior D y longitud L, donde transita agua descendiente de la fuente de alimentación y que finaliza con la válvula.....	21
Figura 7 periodos de un ciclo de golpe de ariete.....	22
Figura 8 Esquema de funcionamiento de la bomba de ariete.....	24
Figura 9 Esquema de funcionamiento de la bomba de ariete.....	27
Figura 10 periodo de aceleración.....	28
Figura 11 Periodo de bombeo o entrega.....	28
Figura 12 periodo de retroceso.....	29
Figura 13 Períodos del Ciclo de Trabajo del Ariete Hidráulico.....	29
Figura 14 Ariete hidráulico de caudal fijo y arranque automático.....	31
Figura 15 Ariete hidráulico de caudal variable y arranque automático.....	32
Figura 16 Ariete hidráulico de caudal variable y arranque automático.....	33
Figura 17 Ariete hidráulico multiválvulas de caudal variable y arranque automático.....	34
Figura 18 Ariete hidráulico multiválvulas de caudal variable.....	34
Figura 19 Ariete hidráulico básico empotrable.....	35
Figura 20 Valores de coeficientes de escurrimiento.....	36
Figura 20 Diagrama de flujo.....	45
Figura 21 Climograma Chachapoyas.....	50
Figura 22 Valor del coeficiente de escurrimiento de los techados.....	52
Figura 23 Relación del volumen de agua recolectada al año con el tipo de consumo.....	53
Figura 24 Esquema de funcionamiento del sistema de bomba de ariete.....	53
Figura 25 Diagrama de Moody.....	55
Figura 26 Perdidas menores en accesorios para el ducto de alimentación.....	56
Figura 27 Altura de elevación vs caudal de descarga.....	60
Figura 28 peso máximo para la válvula de impulso vs tamaño de la bomba de ariete.....	61
Figura 29 Caudal de descarga vs tamaño de la bomba de ariete.....	61

Figura 30 Potencia vs tamaño de la bomba de ariete .....	62
Figura 31 Eficiencia volumétrica.....	62
Figura 32 sobrepresión vs presión necesaria .....	63
Figura 33 Celeridad vs tamaño de la bomba de ariete.....	63
Figura 34 Diseño morfológico final .....	71
Figura 35 Estructura de la Bomba de Ariete modelada en SolidWorks .....	75
Figura 36 Ubicación de la presión para el análisis estático en SolidWorks .....	75
Figura 37 Resultado de los esfuerzos de Von Mises del análisis estático para la bomba de ariete .....	76
Figura 38 Resultado de desplazamientos del análisis estático para la bomba de ariete .....	76
Figura 39 Resultado del factor de seguridad del análisis estático para la bomba de ariete .....	77
Figura 40 Montaje del cuerpo de la bomba de ariete .....	78
Figura 41 Montaje de la bomba de ariete con ducto de alimentación y descarga .....	78
Figura 42 sistema de alimentación de la bomba de ariete .....	79
Figura 43 bomba de ariete en funcionamiento.....	79
Figura 44 Prueba de funcionamiento de la bomba de ariete a una altura de descarga de 8 metros .....	80
Figura 45 Caudal de descarga real y teórico a diferentes alturas de descarga.....	82
Figura 46 eficiencia volumétrica teórico y real a diferentes alturas de trabajo .....	82
Figura 47 Comparación económica de diferentes bombas hidráulicas.....	87

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Rendimiento de la bomba de ariete en función de la relación de altura de trabajo y descarga.....	42
Tabla 2 Formulación de hipótesis.....	46
Tabla 3 Operación de Variables, variable independiente .....	47
Tabla 4 Operación de Variables, variable dependiente .....	47
Tabla 5 Rendimiento de la bomba de ariete .....	57
Tabla 6 Parámetros de la bomba de ariete calculados .....	60
Tabla 7 Matriz morfológica de la bomba de ariete.....	64
Tabla 8 Ponderación de las consideraciones de elección .....	65
Tabla 9 Ponderación para selección del control del sistema .....	66
Tabla 10 Ponderación para selección de la fuente de alimentación .....	66
Tabla 11 Ponderación para selección de la fuente de agua no bombeada.....	66
Tabla 12 Ponderación para selección de la ubicación del filtro .....	67
Tabla 13 Ponderación para selección de relaciones de diámetros.....	67
Tabla 14 Ponderación para selección del material de la tubería de alimentación .....	68
Tabla 15 Ponderación para selección del material de la tubería de descarga.....	68
Tabla 16 Ponderación para selección del material del cuerpo del ariete hidráulico.....	68
Tabla 17 Ponderación para selección del tipo de válvula de impulso .....	69
Tabla 18 Ponderación para selección del tipo de válvula de retención .....	69
Tabla 19 Ponderación para selección del tipo de unión .....	70
Tabla 20 Ponderación para selección de la Fuente de descarga .....	70
Tabla 21 Ponderación para selección de como potabilizar del agua .....	70
Tabla 22 Diseño morfológico final.....	71
Tabla 23 Mediciones de las pruebas para el caudal de descarga.....	80
Tabla 24 Mediciones de las pruebas para el caudal de servicio .....	81
Tabla 25 Comparación de los cálculos teóricos con resultados de las pruebas.....	81
Tabla 26 Costos de elementos en la sección de suministro .....	83
Tabla 27 Costos de la bomba de ariete .....	84
Tabla 28 Costos de los elementos de la descarga.....	84
Tabla 29 Costo de los elementos para el agua de desecho .....	85
Tabla 30 Trabajos a realizar .....	85

Tabla 31 Herramientas utilizadas en la elaboración del sistema .....	85
Tabla 32 Mano de obra empleada para la elaboración del sistema .....	85
Tabla 33 Costo Total del sistema .....	86
Tabla 34 Ingresos por ahorro del sistema .....	86

## RESUMEN

El agua es un líquido vital que nos da la naturaleza para satisfacer nuestras necesidades, tanto de alimentación, salud, higiene, entre muchos usos que se le puede dar. Pero en casos como el de la ciudad de Chachapoyas, que por causa del crecimiento poblacional en algunas áreas que por lo general son las extensiones periféricas, no cuentan con el servicio de agua potable ni de energía eléctrica, por lo que se buscan medios para obtener agua para satisfacer sus necesidades, entre tales medios tenemos a la captación de agua de lluvia, siendo esta una opción exclusiva para las ciudades con alta frecuencia de lluvias como lo es Chachapoyas. Entonces como resultados del estudio, se muestra la proposición metodológica para echar de ver un sistema que aprovecha las aguas de las lluvias en Chachapoyas y posiblemente su implementación en los lugares donde sea escaso el recurso de Agua, tal propuesta es el diseño de un sistema de bombas de ariete para recolectar el agua de lluvia, este equipo está diseñado para un funcionamiento continuo y utilizan únicamente la energía cinética del fluido para suministrar agua a una altura superior a la captada. Utiliza el fenómeno hidráulico llamado golpe de ariete, que convierte la energía cinética de los fluidos en energía de presión sin consumir electricidad ni combustibles fósiles. Pudiendo trabajar así las 24 horas del día y los 365 días del año con cero costos de operación.

**Palabras clave:** sistema de bombas de ariete, escasez de agua, recolectar agua de lluvia.

## ABSTRACT

Water is a vital liquid that nature gives us to satisfy our needs for food, health, hygiene, among many uses that can be given. But in cases such as the city of Chachapoyas, due to population growth, some areas that are usually peripheral extensions do not have drinking water or electricity service, so they seek means to obtain water to meet their needs, among such means we have the collection of rainwater, this being an exclusive option for cities with high frequency of rainfall as is Chachapoyas. Then as results of the study, the methodological proposal is shown to see a system that takes advantage of rainwater in Chachapoyas and possibly its implementation in places where the water resource is scarce, such proposal is the design of a system of ram pumps to collect rainwater, this equipment is designed for continuous operation and use only the kinetic energy of the fluid to supply water to a height above the captured. It uses a hydraulic phenomenon called water hammer, which converts the kinetic energy of fluids into pressure energy without consuming electricity or fossil fuels. Thus, it can work 24 hours a day and 365 days a year with zero operating costs.

**Key words:** ram pump system, water scarcity, rainwater harvesting.

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua es el líquido más trascendental y vital de la naturaleza, por ser esencial para la alimentación, salud, higiene y para regadío de cultivos, Sin embargo, su escasez es uno de los grandes problemas del mundo. Alrededor de 1000 millones de personas viven en áreas con escasez de agua y 3500 millones podrían verse afectadas para 2025, según datos del Instituto de Recursos Mundiales (WRI). Cerca de un cuarto de la población mundial, afrontan escenarios de cadencia económica de agua. En Perú este problema no es una excepción, ya que en el ranking mundial de estrés hídrico está ubicado en el puesto 66, teniendo un total de entre 7 a 8 millones de peruanos que adolecen del vital líquido. [1] [2]

Por mucho tiempo especialistas e investigadores han desarrollado medios y dispositivos de recolección de agua desde los más sencillos como abastecimiento de agua a través de camiones cisterna, compra de agua embotellada, hasta los más tecnológicos como la captación de agua proveniente del aire, captación de agua por escurrimiento, desalinización de aguas de mar. Entre otros medios tenemos a la captación de agua de lluvia, siendo esta una opción exclusiva para las ciudades con alta frecuencia de lluvias. Ciudades como Chachapoyas-Amazonas, que según data del Senamhi, en el año la ciudad de Chachapoyas tiene una cantidad significativa de lluvias como se muestra en la Fig 1; La temperatura promedio es de 15,2°C y la precipitación media anual es de 778 mm. El mes más cálido es noviembre (21 °C). Baja temperatura en agosto (7,5°C); alta precipitación en marzo (136,7 mm/mes). [3]

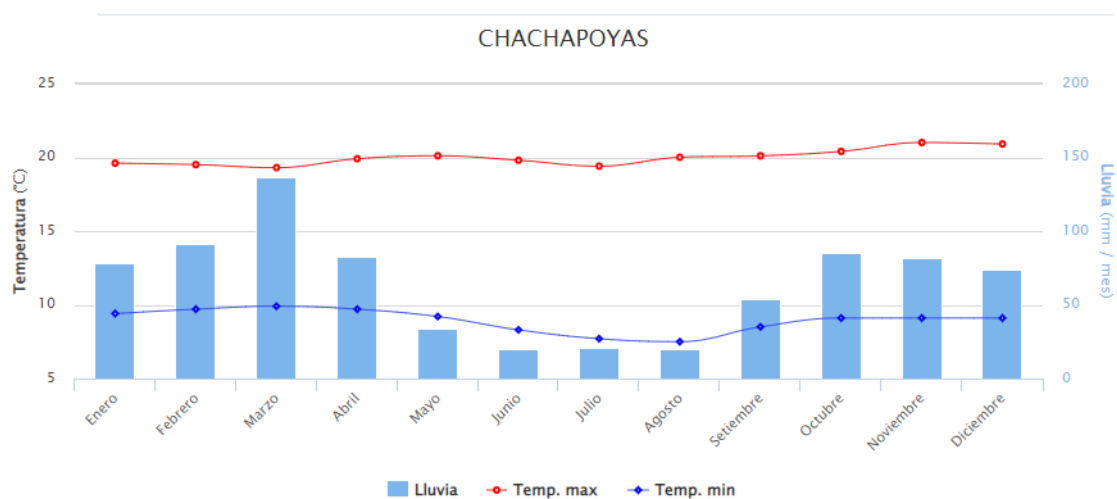


Figura 1 Climograma Chachapoyas

Fuente: Extraído de [3]

Sin embargo, a pesar de la gran cantidad de agua de lluvia, la ciudad de Chachapoyas cuenta con una planta de tratamiento de agua (EMUSAP) que brinda una capacidad baja de

procesamiento de 30 litros por segundo, por ello Chachapoyas sufre insuficiencia del servicio de agua potable ya que en promedio cada persona por día consume 180 litros, se predice un déficit de 2120 conexiones domiciliarias, lo cual representa el 23.29% del total. También, en cuanto a las conexiones eléctricas domiciliarias existe un déficit del 26.11% según José Manuel Cáteda en su análisis urbano de la ciudad de Chachapoyas. [4]

Entonces como resultados del estudio, se muestra la proposición metodológica para echar de ver un sistema que aprovecha las aguas de las lluvias en Chachapoyas y posiblemente su implementación en los lugares donde sea escaso el recurso de Agua, y así crear una alternativa para que aquellas personas puedan tener el abastecimiento de agua potable, para satisfacer sus necesidades cotidianas utilizando las bombas de ariete para recolectar el agua de lluvia.

El ariete hidráulico viene a ser un equipo diseñado para un funcionamiento continuo y utilizan únicamente la energía cinética del fluido para suministrar agua. Utiliza un fenómeno hidráulico llamado golpe de ariete, que convierte la energía cinética de los fluidos en energía de presión sin consumir electricidad ni combustibles fósiles. Pudiendo trabajar así las 24 horas del día y los 365 días del año con cero costos de operación. Las bombas son de fácil operación, regulación, mantenimiento y solución de fallas si son fabricadas con materiales resistentes que aseguran largos periodos de vida útil.

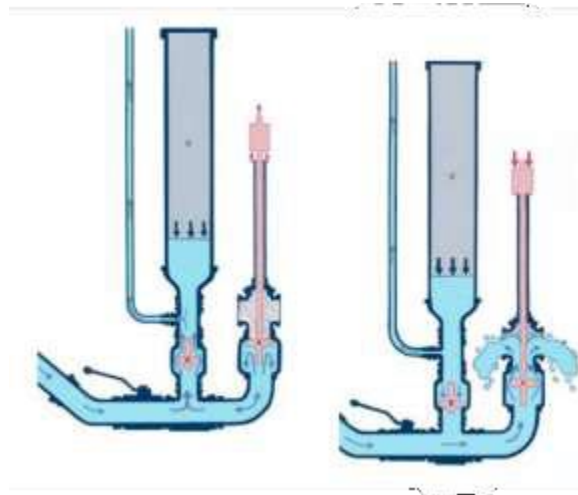


Figura 2 esquema de funcionamiento de la bomba de ariete

Fuente: Extraído de [5]

Utilizar este tipo de infraestructura verde en los diseños de espacios urbanos permite utilizar lo que la naturaleza nos aporta, aumentando la velocidad de infiltración y retención de agua. Solucionando el problema de la escasez de agua e inundaciones, dotando servicios a la población, al aprovechar el agua de la lluvia en lugar de desperdiciarla o contaminarla.

## **1.1 Situación problemática**

Hasta donde se conoce, a pesar de que en los últimos 10 años se investigó el uso de bombas de ariete y de modos de cómo se recolecta agua de lluvia, su uso está enfocado principalmente en regadíos agrícolas con uso de arroyos y ríos, tales métodos de recolección de aguas pluviales se han centrado en su almacenamiento. Pero muy poco se sabe de su uso como bomba para recolectar agua de lluvia en casas. Entonces como resultados del estudio, se muestra la proposición metodológica para mostrar un nuevo sistema que aprovecha las aguas de las lluvias en Chachapoyas y posiblemente su implementación en los lugares donde sea escaso el recurso de Agua, y así crear una alternativa para que aquellas personas puedan tener el abastecimiento de agua potable, para satisfacer sus necesidades cotidianas utilizando las bombas de ariete para recolectar el agua de lluvia.

Para la presente tesis la siguiente pregunta de investigación se plantea ¿En qué medida el diseño del sistema hidráulico de bombas de ariete permite recolectar agua de lluvia para el consumo doméstico en viviendas de la periferia de la ciudad?

Las justificaciones que da razón para realizar la tesis son:

Justificación académica: genera conocimiento sobre las bombas de ariete y su aplicación en la recolección de agua de lluvia, como conocer los que factores influyen en él diseño y cómo se comportan con diferentes parámetros.

Justificación social: beneficia la economía de los pobladores ya que recolecta agua de una fuente natural y sin contaminar al ambiente, puesto que no utilizar fuentes energéticas contaminantes.

## **1.2 Objetivos**

En el siguiente trabajo de investigación se proponen los siguientes objetivos:

### **1.2.1 Objetivo general**

- Diseñar una bomba de ariete que recolecta agua de lluvia para consumo doméstico en viviendas periféricas de Chachapoyas.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Indicar las precipitaciones en Chachapoyas y especificar los datos de las viviendas periféricas de la ciudad.

- Cuantificar los principales factores que determinan el diseño de bombas de ariete que permitan su dimensionamiento y selección de componentes.
- Diseñar el sistema hidráulico de bombas de ariete empleando la matriz morfológica.
- Hacer un Análisis estático de la resistencia de la estructura y modelar la estructura de la bomba de ariete en SolidWorks.
- Implementar el diseño de la bomba de ariete.
- Realizar la evaluación económica del proyecto.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes empíricos

Marco en el año 2021 investigó el “diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico de 2 pulgadas para el fundo Pachaticgra – Pinaya distrito de santa lucia región Puno, 2020”, buscó verificar que el diseño de la bomba de ariete fuera adecuado para suministrar agua y con el caudal requerido para proveer de agua a la finca Pachaticgra. Haciendo una investigación del tipo experimental, manipulando las variables del proceso en su válvula de impulsión para encontrar la mayor eficiencia volumétrica posible. Calibrando un diseño de bomba de ariete a 50 ciclos/min y un caudal de 7,06 litros/min en una tubería de ½ pulgada, de 50 m de largo y altura de 35 m. [6]

Alexander en el año 2018 en su investigación “diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico”, busco hacer el diseño y construcción una bomba de pistón hidráulica y realizó varias pruebas en las que se podía observar el funcionamiento de la bomba variando una serie de parámetros. Su investigación es tanto teórica como práctica, utilizando los cálculos necesarios para diseñar y construir una bomba de ariete. realizando cálculos para hacer su diseño de bomba de ariete, construye de una forma no tan compleja de montaje, ni construcción. Logrando una muy buena operatividad, teniendo una eficiencia del 78.24% y un rendimiento volumétrico de 7.5%, esto porque se buscaba que con una elevación de alimentación de 5.3 metros se bombee agua a 50 metros de altura. [7]

Sebastián y Juan en el año 2016 en su tesis “diseño y construcción de un sistema de ariete hidráulico para el aprovechamiento de aguas lluvias”, buscó diseñar y fabricar bombas hidráulicas para uso de aguas pluviales en las instalaciones de Kyrios. Utilizando una investigación del tipo teórico-aplicada, en la que se hizo uso de los cálculos necesarios para diseñar y construir la bomba de ariete. Enfocado a una casa de un solo piso, utilizando un coeficiente de escurrimiento de entre 0,75 a 0,95 obtiene un beneficio del techo que equivale de entre 82,836 a 104,926 metros cúbicos de agua por año respectivamente, aprovechando el 50 a 60 % de aguas lluvias. [8]

Pablo en el año 2017 en su tesis “ariete hidráulico para riego. diseño, construcción y montaje”, buscó diseñar y construir un ariete hidráulico para regadío utilizando el caudal del río Aguanaz, para la localidad de Hoznayo. Utilizo una investigación del tipo teórico-aplicada, en la que se hizo uso de cálculos para diseñar, construir e instalar la bomba de ariete. Su diseño de bomba de ariete obtuvo un caudal de descarga de 5.58 litros por minuto con una eficiencia baja de 15.8% esto porque la altura de captación es de 1.15 m la cual es muy baja. [9]

## **2.2 Bases Teóricas-Científicas**

### **2.2.1 Abastecimiento de agua**

Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS): [10]

El agua es un elemento natural necesario para el desarrollo de la vida, la actividad humana; es difícil pensar en alguna actividad que lo use de alguna manera. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), aproximadamente 1.200 millones de personas actualmente no tienen acceso a agua potable segura, es decir, casi 1 de cada 5 en el mundo no tiene la infraestructura para abastecerse de agua. Estas cifras muestran cuánta desigualdad perciben las personas en todo el mundo.

Falta de agua y falta de sistema de saneamiento no sólo conduce a disminuir significativamente los niveles de vida y las terribles consecuencias directas son:

- Muchas enfermedades asociadas con el agua: diarrea, enfermedades de la piel,
- Infecciones oculares, parásitos, insectos, etc.
- Hay 5 millones de muertes relacionadas con el agua por año.
- Dos millones de niños mueren cada año como resultado de la contaminación del agua principalmente por diarrea.
- El 80% de las enfermedades en los países pobres están relacionadas con el agua.

Además, a medida que la población mundial continúa creciendo, estos datos

Según estimaciones de la ONU, aumentará para 2025. Está claro que la escasez de agua es una complicación de salud a nivel mundial y esto no debe ser ignorado por los países desarrollados el trabajo internacional es muy importante y necesario en este sentido.

En 2019, solo el 50% de los establecimientos de salud en los países menos desarrollados brindaban servicios básicos de agua. El 37% son servicios básicos de limpieza y el 30% son servicios básicos de gestión de residuos.

### **2.2.2 Consumo total mínimo por habitante**

Sobre la base de las tres categorías anteriores y la variedad de estudios realizados en cada categoría, la OMS ha evaluado 20 litros por persona por día como una ingesta de referencia para garantizar la supervivencia, pero no lo suficiente para garantizar una buena salud. 50 litros por persona. por día como se muestra. También evaluamos volúmenes desde un mínimo recomendado de 75 litros hasta 100 litros, tomando en cuenta otros usos requeridos para el desarrollo como agricultura, industria y protección de ecosistemas. [11]

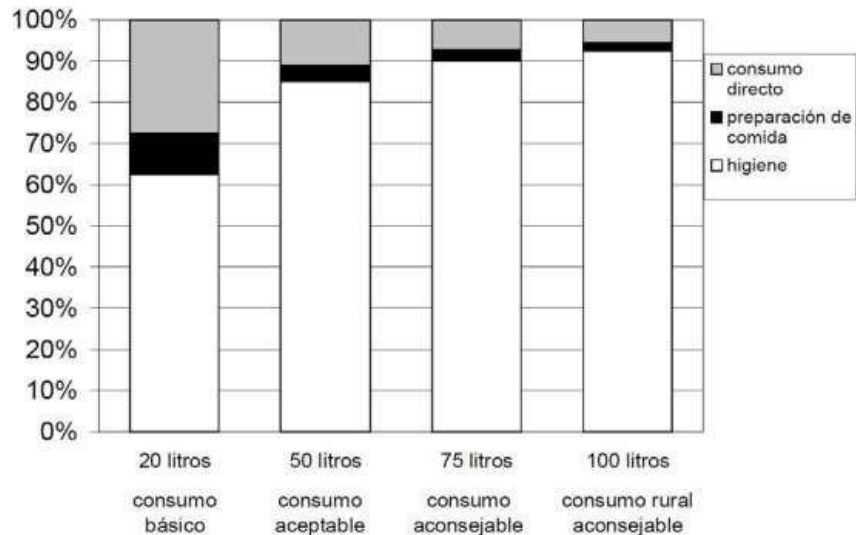


Figura 3 Tipo de Consumo de agua por persona

Fuente: Extraído de [10]

### 2.2.3 ¿Cómo Se Utiliza El Agua En El Hogar?

Según datos publicados por un informe del ministerio de transición económica, para viviendas sin jardín se tiene una distribución de uso como se ve en la figura.



Figura 4 Uso del agua en el hogar

Fuente: Extraído de [12]



Figura 5 Distribución del uso del agua en un hogar

Fuente: Elaboración propia

## 2.2.4 Golpe de ariete:

### 2.2.4.1. Definición

El golpe de ariete es el fenómeno físico que se produce en un conducto tras una brusca disminución del caudal, provocando un brusco cambio de presión. Cuando se cierra o se abre una válvula, como podría ser al encender o apagar una maquina hidráulica. El nombre “Golpe de ariete” es porque este cambio de presión dentro de la tubería viene acompañado de un sonido similar al del golpe de un martillo a la misma tubería. Si la válvula se llega a cerrar ésta bruscamente, por principio de conservación de la energía, disminuye la energía cinética y se convierte en trabajo de compresión del fluido que colma los conductos y en trabajo capaz de expandir este, produciendo un golpe de ariete hidráulicos. De forma inversa, si se abre repentinamente la válvula se producirá una depresión o ariete hidráulicos negativo. Al estudiar este fenómeno se ve de que factores depende, como hacer el cálculo de las sobrepresiones presente en la instalación con la finalidad de elegir el grosor del conducto para poder soportar a dicha sobrepresión y la correcta selección de accesorios en la tubería. [13]

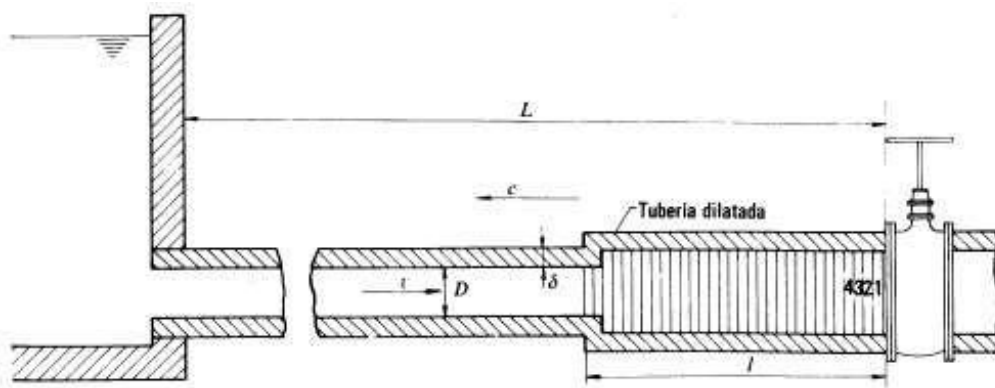


Figura 6 Conducto de espesor  $\delta$ , diámetro interior  $D$  y longitud  $L$ , donde transita agua descendiente de la fuente de alimentación y que finaliza con la válvula.

Fuente: Extraída de [13]

#### 2.2.4.2. Ilustración del fenómeno.

Aunque físicamente no es posible cerrar una válvula instantáneamente, el estudio se realiza asumiendo que dicha válvula se cierra para ayudarnos a realizar un estudio adecuado. Al cerrarse la válvula instantáneamente, el fluido que está inicialmente en reposo tras un corto tiempo, este cierre genera una honda de presión que se propaga en sentido contrario al que va el fluido, con una velocidad  $c$ , se creó una onda elástica que empuja al fluido hasta el embalse y al terminarse de propagarse la onda de presión el fluido tras cierto tiempo regresa a su estado inicial, pero la onda de presión tras su recorrido va generando sobrepresiones y depresiones en el conducto, por ello se va contrayendo o dilatando y se divide en los 10 periodos que se muestran en la figura. [13]

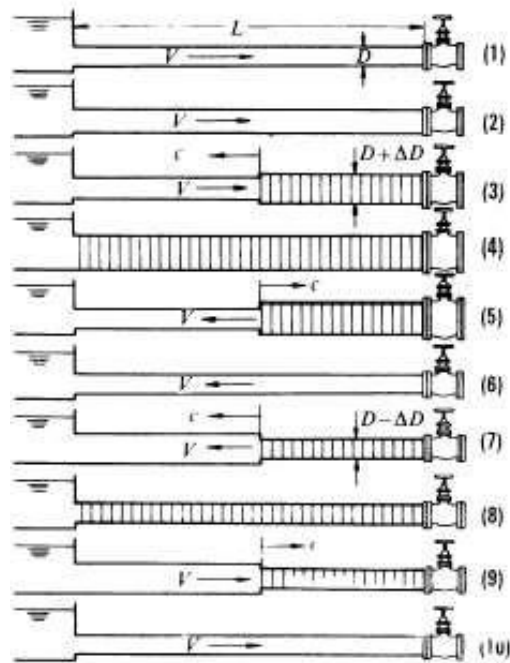


Figura 7 periodos de un ciclo de golpe de ariete

Fuente: Extraída de [13]

En la figura 6,  $c$  es la rapidez de la onda de presión,  $L$  es la longitud del conducto y el tiempo necesario para que la onda se propague si la distancia entre la válvula y el depósito es  $= L/c$ . Después del tiempo  $T = 4 t$ , el ciclo se repite para que los eventos en la tubería ocurran en el tiempo  $T = 4 L/c$

1. Sin perturbaciones. Está en modo constante. El fluido en una tubería de diámetro  $D$  fluye desde el depósito hasta la válvula a una velocidad  $v$ .
2. Tiempo  $0$ . La válvula se cierra repentinamente. El caudal se neutraliza por la acción de la válvula, pero no de repente en toda la tubería.
3. Tiempo  $t_0/2 = 1/2 L/c$  La onda de presión se propaga hacia el yacimiento con velocidad  $c$  y el frente de onda alcanza el medio del conducto. Debido a la presión excesiva, el lado derecho del catéter está abultado. El lado izquierdo no cambia y el agua continúa fluyendo hacia la válvula en  $v$ . A la derecha, la velocidad es cero.
4. Tiempo  $t_0 = L/c$ . La onda de presión llega al depósito. En todo el conducto, estática,  $v = 0$ , pero no equilibrada. Toda la tubería se expande. Como un manantial que se expande, el agua en la tubería comienza a fluir rápidamente, pero en la dirección opuesta. El fluido comienza a moverse desde el disco cerca del estanque.
5. Ha pasado el tiempo  $3/2 t_0$ . Desde el centro hacia la izquierda, el tubo se contrae a su diámetro normal. La onda sigue propagándose hacia la derecha con rapidez  $c$ . En el lado izquierdo del conducto, el líquido fluye con una rapidez  $v$ .

6. ha pasado el tiempo  $2 t_0$ . El diámetro de todo el tubo es normal. Todo el líquido en la tubería fluye de la válvula al depósito a una velocidad  $r$ . No se detectó sobrepresión en ninguna parte de la tubería, pero bajo la influencia de la inercia, la presión continuó disminuyendo y la onda elástica se propagó, pero a medida que disminuía, de válvula al depósito a razón de  $c$ : el diámetro de la tubería cayó por debajo del diámetro estándar.
7. Ha pasado el tiempo  $5/2 t_0$ . La depresión alcanza el centro del tubo. Al igual que la parte real, tiene agua estancada y mucha menor presión. El diámetro de la tubería es más pequeño de lo habitual.
8. ha pasado el tiempo  $3 t_0$ . El agua está en reposo por toda la tubería, pero cuando está desequilibrada se hunde por toda la tubería. Como resultado, el diámetro de toda la tubería es más pequeño de lo habitual y el agua comienza a fluir desde el depósito hasta la válvula.
9. En el tiempo  $7/2 t_0$ , cuando la sobrepresión en la tubería comienza a liberarse, el lado izquierdo de la tubería empuja el líquido hacia la válvula con velocidad  $v$ , mientras que el líquido de la derecha continúa en reposo y cae. Por lo tanto, el diámetro del tubo de la derecha es más pequeño de lo habitual;  $c$  y  $v$  tienen la misma orientación.
10. Tiempo  $4 t_0$ . El diámetro de las tuberías es estándar. Todos los fluidos se mueven hacia la válvula con velocidad  $v$  como si estuvieran en el tiempo 0. Entonces el período es:  $T = 4 a = 4 L/C$ .

## 2.2.5 Bomba de ariete

### 2.2.5.1. Reseña histórica

La llamada bomba de ariete es un tipo de bomba cíclica, la cual aprovecha la energía potencia y cinética del caudal de agua por una tubería y la parada repentina de una válvula. La palabra "RAM", que significa golpe en inglés, dio a las bombas de ariete hidráulico el nombre "Ram Pumps". La potencia de la bomba tiene la función de levantar una cierta parte del fluido por encima de la altura inicial de la toma de agua. Su uso está más enfocado a áreas remotas donde se encuentran diferentes niveles de agua, por no requerir de fuentes externas que provean energía, distinta a la energía que ocasiona una caída de agua. La bomba ariete fue invento realizado en 1796 por el francés Joseph Michel Mungofel para suministrar agua a una fábrica de papel en la ciudad de Woron, y su amigo Matthew Bolton obtuvo el diseño en su nombre en 1797. patente británica. En 1816 se concedió una patente británica para una versión mejorada. Las bombas alternativas conquistaron la historia durante la era de los grandes inventos y

alcanzaron su apogeo en paralelo con la era de los motores de combustión interna y las máquinas de vapor. [14]

### 2.2.5.2. Partes para la instalación de una bomba de ariete

El esquema de instalación de la bomba cuenta con 4 partes definidas que según son: [11]

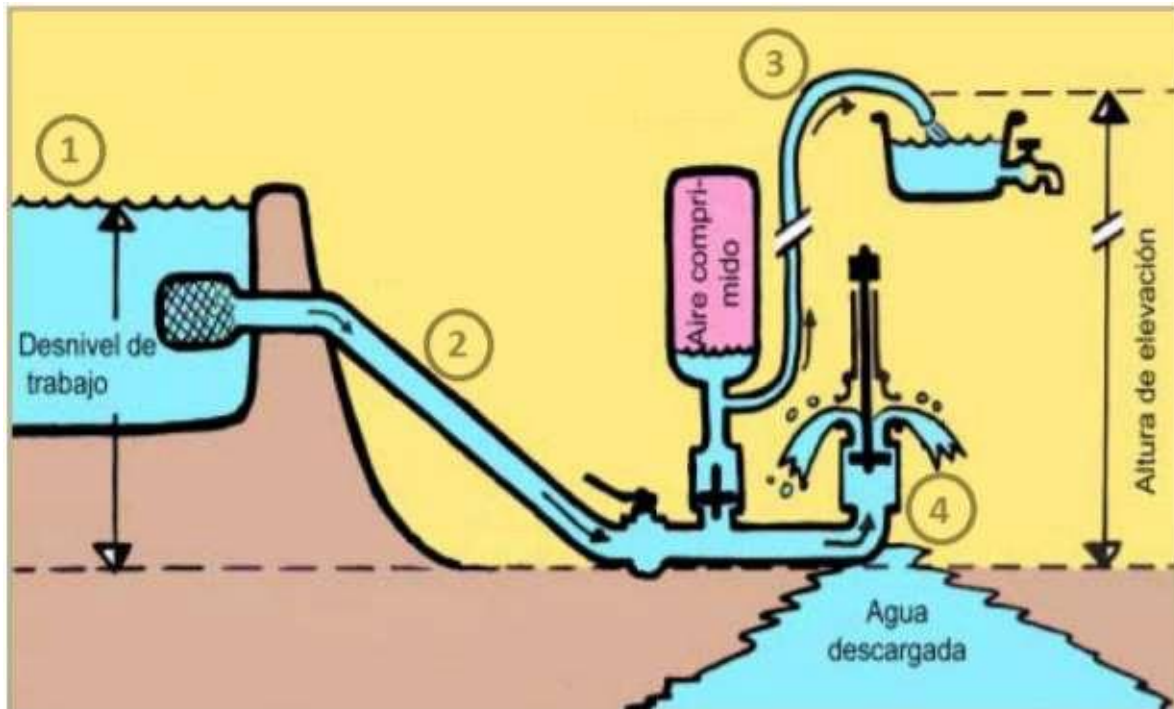


Figura 8 Esquema de funcionamiento de la bomba de ariete

Fuente: Extraído de [15]

#### 2.2.5.2.1. Fuente de alimentación (1)

Tiene que ser una fuente continua de agua, que por lo general es del cauce de un río o quebrada a la cual se le saca una parte de su caudal, como también podría ser de un reservorio de hormigón o plástico, ubicada a una altura superior a donde se encuentra la bomba de ariete, donde esta altura va depender de la altura al que se quiere elevar el fluido y el rendimiento que se quiere obtener, esta altura frecuente es de 2 a 5 metros.

#### 2.2.5.2.2. Ducto de alimentación (2)

Los ductos suelen ser largos y rígidos, es aquel que conecta la fuente de alimentación con la bomba de ariete y efecto de la inclinación que esta presenta el fluido se acelera logrando así cerrar la válvula de impulsión y generando el golpe de ariete que da función a la bomba. Es aconsejable que la tubería se encuentre fija por los cambios de presión a la que estará sometida

y que cuente con la menor cantidad de accesorios que reduzcan reducción de la velocidad del fluido lo cual reduce el caudal de elevación.

#### **2.2.5.2.3. Tubería de salida o de elevación (3)**

Esta tubería es mucho más delgada que la tubería de alimentación ya que es solo una fracción del caudal el que pasará por el ducto de alimentación la que se va elevar, ya que no estará sometido a cambios bruscos de presión, el material puede ser más sencillo como las tuberías de plástico o incluso mangueras. La longitud del conducto depende de la altura a la que se busca elevar el fluido.

#### **2.2.5.2.4. Bomba de ariete (4)**

Es la parte más importante del sistema y es a la que se estudiara más a detalle en la investigación, es la que recibe el fluido de la tubería de alimentación y utiliza la energía de sobrepresión del fluido al cerrar la válvula de impulsión, para elevar parte del fluido recibido, al costo de dejar ir la otra parte del fluido. Esta bomba a su vez está compuesta de ciertos componentes:

#### **2.2.5.3. Componentes del ariete hidráulico**

Entre los componentes del ariete hidráulico tenemos 5 componentes bien diferenciados que según son: [16]

##### **2.2.5.3.1. Cuerpo del ariete hidráulico**

Está conformado por una caja de válvulas tipo check o válvulas de pistón que son las válvulas de impulsión y descarga, está también formada por una o más T y un codo, es una unidad que se encuentra unida por tornillos, pernos, soldaduras o elementos roscados esto según los recursos que se tienen. Aquí es donde se producirán las ondas de presión del denominado golpe de ariete.

##### **2.2.5.3.2. Válvula de impulso**

Una válvula de impulso es una válvula que crea un golpe de ariete cuando se cierra repentinamente debido a un aumento en la rapidez del fluido. La elección correcta y un buen diseño garantizarán la máxima eficiencia del equipo. Al ajustar el peso de esta válvula, se pueden cambiar las carreras por minuto y su correcto funcionamiento.

### **2.2.5.3.3. Válvula de retención**

Después de que la válvula de impulso se cierra, la válvula se abre para liberar el exceso de presión creado por el golpe de ariete, lo que permite que el fluido pase a través de este tubo y nos lleve a la cámara de aire, donde el aire comprimido empuja el agua a través de la cámara de aire para atraparla. eso. Por lo tanto, está diseñado para lograr un buen sellado y evitar la pérdida de rendimiento y eficiencia.

### **2.2.5.3.4. Cámara de aire**

Es el dispositivo regulador del caudal al tubo de salida, actúa como amortiguador de golpes de ariete, absorbe el exceso de presión e impulsa el agua casi continuamente por el tubo de salida, se instala encima de la válvula de retención y funciona a 2 Presiones con aire comprimido El valor máximo se produce cuando se absorbe la sobrepresión del golpe de ariete y el valor mínimo se genera cuando se alivia la presión del aire añadiendo aire al fluido.

### **2.2.5.3.5. Válvula de aire**

Se utiliza para refrescar y regular el aire absorbido por el agua que va saliendo de la cámara. Se encuentra debajo de la válvula de escape y permite que el aire fluya según lo requiera la cámara de aire.

## **2.2.6 Funcionamiento de la bomba de ariete**

El flujo de agua por acción de la gravedad baja a un nivel inferior, desde el tanque de agua a través del conducto de suministro a la bomba de ariete, la cual se encuentra en la parte más baja del sistema, Una parte de este flujo se expulsa cuando llega a la válvula del ariete hasta que alcanza la velocidad requerida para que la presión dinámica cierre la válvula de impulso. Después de que la válvula se cierra repentinamente, ocurre un el denominado golpe de ariete, creándose una sobrepresión en el conducto de suministro de agua, lo que hace que la válvula de retención se abra para aliviar parte de la sobrepresión, de modo que parte del flujo de agua a través del conducto de suministro ingresa al agua. tubería de suministro. una cámara de aire que comprime el aire en la cámara de aire. Al aliviarse esta sobrepresión, la válvula de impulso se vuelve a abrir y la válvula de retención se vuelve a cerrar. Volviendo así al estado inicial, de tal forma que el proceso es cíclico. Además, que al cerrarse la válvula de retención el aire comprimido se alivia y tras estar cerrado el retorno impulsa al fluido de una forma mucho más continua al depósito de descarga a través de la tubería de descarga. Después de bombear el

líquido, se consume el aire de la cámara, por lo que se coloca una válvula de aire para mantener el nivel de aire y evitar que la cámara de aire se llene con agua [7].

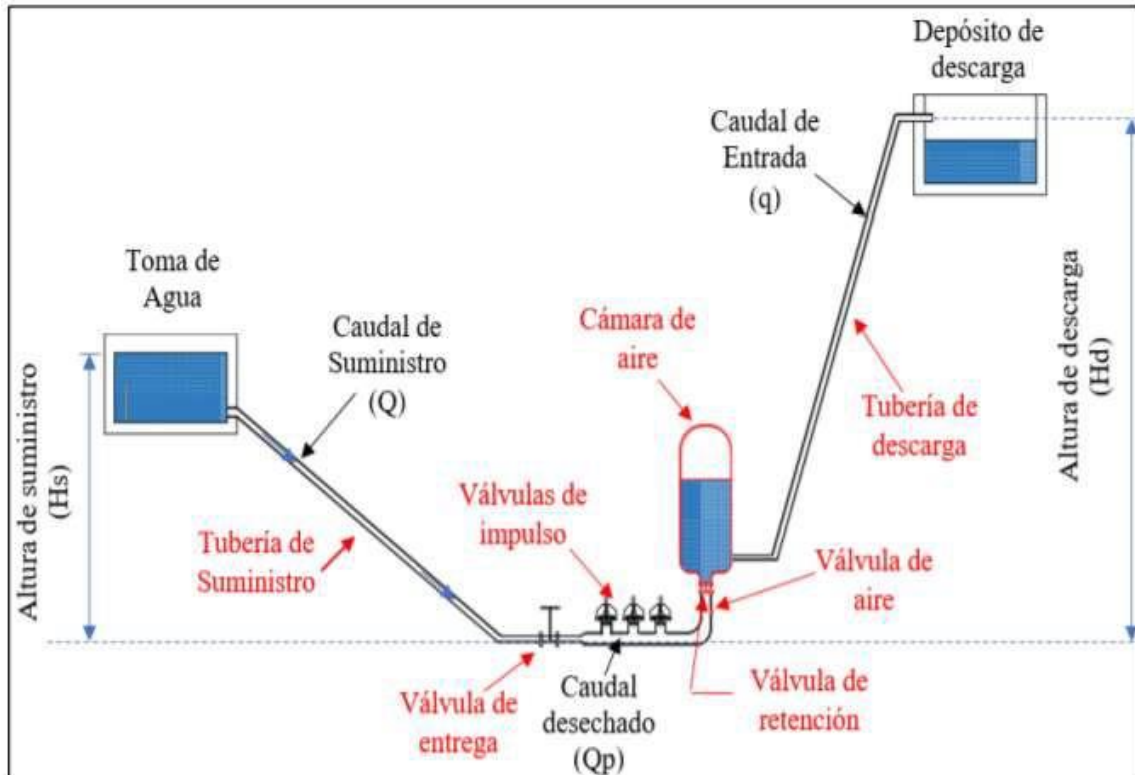


Figura 9 Esquema de funcionamiento de la bomba de ariete

Fuente: Extraído de [7]

### 2.2.7 Ciclo hidráulico del ariete hidráulico

Cuando la circulación comienza con el accionamiento de la válvula del tanque a baja altura, toda la presión dinámica generada provoca que la válvula de impulso se cierre y abrirá la válvula de retención, provocando que el fluido en la tubería de descarga se nivele con el tanque a baja altura por la ley de vasos comunicantes, luego manualmente, se maniobra la válvula de impulso, activando así el funcionamiento automático de la bomba de ariete. [7]

Se dan tres periodos para el ciclo de operación en que la bomba de ariete utiliza el fenómeno denominado golpe de ariete: [17]

#### 2.2.7.1. Periodo 1: aceleración ( $T_a$ ).

Este periodo comienza cuando la rapidez del fluido en el ducto de suministro es cero y la válvula de impulso está abierta, y por efecto de la gravedad en el desnivel, el fluido se empieza a acelerar hasta provocar un cierre brusco en la válvula de impulso generando así una sobrepresión, dando inicio al periodo dos.

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

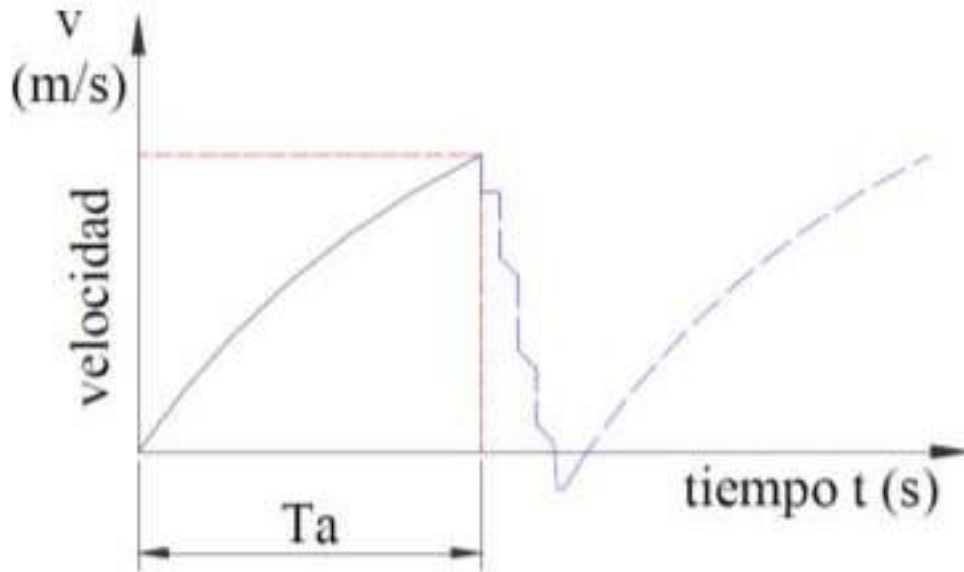


Figura 10 período de aceleración

Fuentes: Extraída de [17]

### 2.2.7.2. Período 2: Bombeo o Entrega ( $T_d$ ).

Este período comienza cuando la válvula de pulso se cierra y se ralentiza en la cámara de aire, el flujo del tubo de descarga se va frenando y producto de ello se genera mucha más presión en la válvula de retención y se va amortiguando en la cámara de aire.

$$(T_a < t < T_a + T_d); (0 < V < V_c)$$

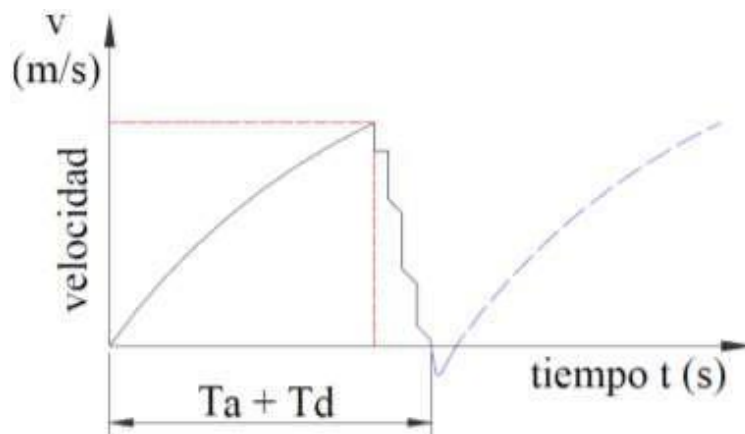


Figura 11 Período de bombeo o entrega

Fuentes: Extraída de [17]

### 2.2.7.3. Período 3: retroceso ( $T_r$ ).

El último período cuenta el tiempo que tarda en cerrarse la válvula de retención, lo que también crea una gran caída de presión en el cuerpo de la bomba y abre la válvula de impulsión nuevamente a velocidad de fluido cero, comenzando nuevamente el ciclo. El aire comprimido en la cámara de aire de la válvula de retención también cierra la válvula de retención aplicando presión a la válvula de retención, lo que hace que el agua fluya a través de la tubería de salida

en lugar de regresar a la tubería de suministro. Esto hace que la carcasa de la bomba caiga en presión, lo que hace que la válvula de aire restaure el aire a la cámara neumática, lo que abre la válvula de impulso nuevamente y comienza otro ciclo.

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

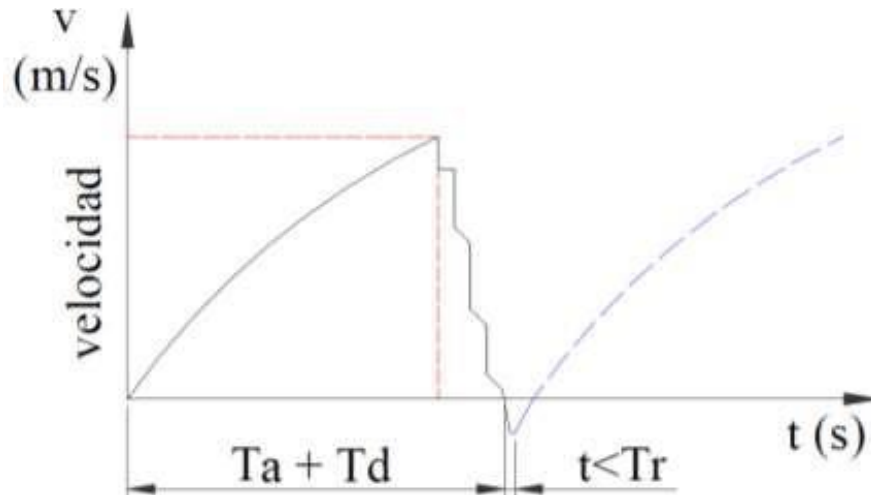


Figura 12 periodo de retroceso

Fuentes: Extraída de [17]

Entonces el ciclo completo del ariete hidráulico es el siguiente:

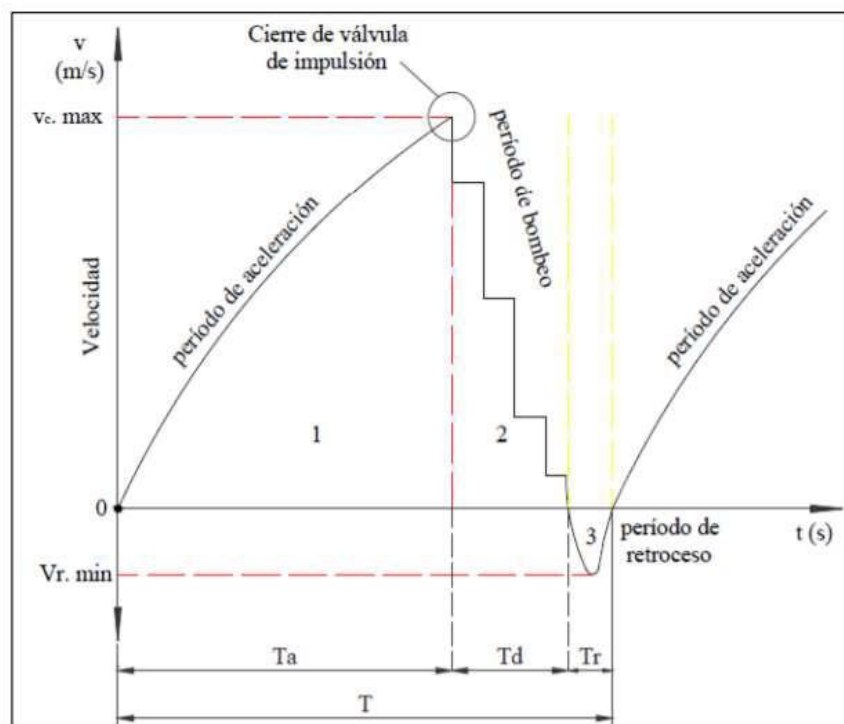


Figura 13 Períodos del Ciclo de Trabajo del Ariete Hidráulico

Fuentes: Extraída de [17]

En donde:

- $T_a$  = periodo de aceleración (s).

- $T_b$  = periodo de bombeo (s).
- $T_r$  = periodo de retroceso (s).
- $T$  = duración del ciclo (s).
- $T = T_a + T_d + T_r$  (1.1)
- $V_c$  = Rapidez del agua en el ducto de suministro en el instante del cierre de la válvula de impulsión (m/s).
- $V_r$  = Rapidez del fluido en el periodo de flujo invertido (m/s).
- $V(t)$  = Rapidez del fluido en el ducto de suministro en los diferentes instantes (m/s).

### 2.2.8 Parámetros para el diseño de las bombas de ariete

- Altura de Suministro
- Tubería de suministro
- Tubería de entrega
- Caudal de entrega
- Velocidad de cierre de la válvula de impulso
- Coeficiente de descarga
- Caudal libre
- Pérdidas mayores
- Pérdidas menores
- Factor de Fricción
- Número de Reynolds
- Rugosidad Relativa
- Caudal de suministro
- Caudal desechado
- Rendimiento Volumétrico
- Potencia de la bomba de ariete
- Fuerza de arrastre para la válvula de impulso
- Peso máximo para la válvula de impulso

## 2.2.9 Tipos de bombas de arietes

Entre los tipos de ariete hidráulico tenemos los siguientes según [18].

### 2.2.9.1. Ariete hidráulico de caudal fijo y arranque automático.



Figura 14 Ariete hidráulico de caudal fijo y arranque automático

Fuentes: Extraída de [18]

El cuerpo del J.C.P. está hecho de accesorios de plomería de acero galvanizado de 1 pulgada. Equipado con una válvula resistente a los golpes con un caudal fijo, pero se puede ajustar aumentando el peso del cuerpo de la válvula. Está fabricado íntegramente en acero inoxidable y es resistente al golpe de ariete de alta presión y a la corrosión que puede provocar oxidación y sales y minerales solubles en agua. Un tanque de expansión de acero inoxidable de alta presión puede elevar el agua a alturas de más de 150 metros. Cuando el ariete se detiene por falta de agua, la válvula de choque permanece cerrada y el suministro del ariete al tanque está lleno, eliminando la necesidad de saber que el ariete se ha detenido por falta de agua durante los tiempos de escasez de agua. Sistema de arranque automático. El tanque de alimentación tiene un desbordamiento que se usa para accionar el brazo de manivela y reiniciar el ariete. En este caso, también está equipado con una válvula de seguridad o válvula de alivio para evitar la sobrepresión, ya que la salida de agua bombeada puede estar cerrada en algún momento. La barrera se colocará sobre una plataforma de hormigón para recoger el agua, que luego se

bombeará al almacén contiguo con un depósito subterráneo de 15.000 litros y una electrobomba y así se puede aprovechar el agua de desecho de la bomba de ariete.

### 2.2.9.2. Ariete hidráulico de caudal variable y arranque automático



Figura 15 Ariete hidráulico de caudal variable y arranque automático

Fuentes: Extraída de [18]

El cuerpo J.C.P. es de 1" 1/4 ya que está hecho de accesorios de plomería de acero galvanizado de 1" 1/4. Equipado con una válvula de choque mixto de flujo variable. Los llamamos compuestos porque la parte inferior de la válvula o cilindro es de acero inoxidable y la parte superior o superior que alberga el sistema de drenaje y control de flujo es de cobre. Esta válvula es altamente resistente al golpe de ariete de alta presión y a la corrosión que puede causar oxidación y sales y minerales que pueden disolverse en el agua. Un tanque de expansión de acero inoxidable de alta presión puede elevar el agua a alturas de más de 150 metros. El sistema de arranque automático mantiene la válvula de choque cerrada cuando se queda sin agua y llena el ariete en el tanque de agua para que no sepa cuándo se ha quedado sin agua. El tanque de alimentación tiene un desbordamiento que se usa para accionar el brazo de manivela y reiniciar el ariete. Este ariete se instala junto a un arroyo, y el agua que se descarga durante la operación se devuelve al arroyo y baja por la montaña.

### 2.2.9.3. Ariete hidráulico de caudal variable y arranque automático.



Figura 16 Ariete hidráulico de caudal variable y arranque automático

Fuentes: Extraída de [18]

El cuerpo del J.C.P. está hecho de accesorios de plomería de acero galvanizado de 1 pulgada, por lo que las dimensiones son de 1 pulgada. Equipado con válvula antichoque de caudal variable fabricada en latón. Esta válvula es adecuada para elevar agua hasta 50-60 metros. Su sistema de cierre es de acero inoxidable y nylon. Vaso de expansión de alta presión fabricado en acero inoxidable. Cuando el ariete se detiene por falta de agua, la válvula de choque permanece cerrada y el suministro del ariete al tanque está lleno, eliminando la necesidad de saber que el ariete se ha detenido por falta de agua durante los períodos de escasez de agua. Sistema de arranque automático. El tanque de alimentación tiene un desbordamiento que se usa para accionar el brazo de manivela y reiniciar el ariete.

#### 2.2.9.4. Ariete hidráulico multiválvulas de caudal variable y arranque automático



Figura 17 Ariete hidráulico multiválvulas de caudal variable y arranque automático

Fuentes: Extraída de [18]

El cuerpo J.C.P. es de 1" 1/4 ya que está hecho de accesorios de plomería de acero galvanizado de 1" 1/4. Está equipado con varias válvulas amortiguadoras. En este caso una versión de 4 válvulas, latón, caudal variable y bombeo de 50-60 metros. Con un desnivel de 60 metros, se conserva perfectamente un vaso de expansión estándar para agua sanitaria.

#### 2.2.9.5. Ariete hidráulico multiválvulas de caudal variable.



Figura 18 Ariete hidráulico multiválvulas de caudal variable

Fuentes: Extraída de [18]

El cuerpo J.C.P. está hecho de accesorios de plomería de acero galvanizado de 2 pulgadas, de ahí la dimensión de 2 pulgadas. Está equipado con varias válvulas de choque, en este caso cuatro válvulas, mixtas y de caudal variable. Los llamamos mixtos porque la parte inferior de la válvula o cilindro es de acero inoxidable y la parte superior o superior que alberga el sistema de drenaje y control de flujo es de cobre. Esta válvula es altamente resistente al golpe de ariete de alta presión y a la corrosión que puede causar oxidación y sales y minerales que pueden disolverse en el agua. Pueden elevar agua a alturas superiores a los 150 metros sin ningún problema. Vasos de expansión de alta presión fabricados en acero inoxidable. 150 metros de altura, perfectamente soportable sin ningún problema.

#### 2.2.9.6. Ariete hidráulico básico empotrable.



Figura 19 Ariete hidráulico básico empotrable

Fuentes: Extraída de [18]

Este ariete hidráulico se instala sin placa base, se empotra directamente en el suelo y el cuerpo inferior se cubre con hormigón. Está equipado con una válvula de retención de flujo fijo. Tanque de expansión de acero inoxidable de alta presión capaz de elevar agua a alturas de más de 150 metros, perfectamente soportable sin ningún problema. En este caso, si el ariete se detiene, debe iniciarse manualmente ya que no hay un arranque automático.

## 2.2.10 Requisitos de instalación

### 2.2.10.1. Cantidad de agua de lluvia captada por el techo

#### 2.2.10.1.1. Precipitación

Por lo general en la medida de precipitación se hace en milímetros, donde cada milímetro de lluvia equivale a un litro de esta por cada metro cuadrado.

Para el cálculo del volumen de agua aprovechada de la lluvia se utiliza la siguiente formula que además utiliza el coeficiente de escurrimiento del techo de la vivienda.

$$Vol = P_{pr} * A_t * K$$

Siendo:

Vol: volumen de agua recolectada al año en litros.

$P_{pr}$ : Precipitación promedio anual en mm.

$A_t$ : Área del techo en  $m^2$ .

K: coeficiente de escurrimiento.

TIPO DE ÁREA DRENADA		COEF. DE ESCURRIMIENTO	
		MÍNIMO	MÁXIMO
ZONAS COMERCIALES	Zona Comercial	0.70	0.95
	Vecindarios	0.50	0.70
ZONAS RESIDENCIALES	Unifamiliares	0.30	0.50
	Multifamiliares, espaciados	0.40	0.60
	Multifamiliares, compactos	0.60	0.75
	Semiurbanas	0.25	0.40
	Casas habitación	0.50	0.70
ZONAS INDUSTRIALES	Espaciada	0.50	0.80
	Compacta	0.60	0.90
CEMENTERIOS, PARQUES		0.10	0.25
CAMPOS DE JUEGO		0.20	0.35
PATIOS DE FERROCARRIL		0.20	0.40
ZONAS SUBURBANAS		0.10	0.30
CALLES	Asfaltadas	0.70	0.95
	De concreto hidráulico	0.70	0.95
ESTACIONAMIENTOS	Adoquinadas	0.70	0.85
		0.75	0.85
TECHADOS		0.75	0.95
PRADERAS	Suelos arenosos planos ( $S \leq 0.02$ )	0.05	0.10
	Suelos arenosos con pendientes medias ( $0.02 < S < 0.07$ )	0.10	0.15
	Suelos arenosos escarpados ( $S \geq 0.07$ )	0.15	0.20
	Suelos arcillosos planos ( $S \leq 0.02$ )	0.13	0.17
	Suelos arcillosos con pendientes medias ( $0.02 < S < 0.07$ )	0.18	0.22
	Suelos arcillosos escarpados ( $S \geq 0.07$ )	0.25	0.35

Figura 20 Valores de coeficientes de escurrimiento

Fuente: Extraído de [8]

### 2.2.11 Desabastecimiento de agua potable en la ciudad de Chachapoyas

Perú Check informa [19] ,En Chachapoyas la Empresa Prestadora Municipal de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Amazonas (Emusap), no provee a los hogares el acceso al agua potable las 24 horas del día. Solo la parte céntrica cuenta con agua potable las 24 horas; la empresa que presta los servicios de saneamiento dijo que las zonas altas de la provincia son atendidas en un horario que puede variar de un día a otro. Los cortes de energía pueden durar desde las 8:00 a. m. hasta el mediodía, las viviendas periféricas de la ciudad suelen permanecer sin agua toda la noche. No tiene una programación fija, pero sucede todos los días. La razón por la cual la compañía explica los cortes de agua es:

- El desabastecimiento de agua
- La antigüedad de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) Pucará y la incapacidad para abastecer a toda la ciudad.
- El crecimiento demográfico de Chachapoyas.
- Las precipitaciones en la cuenca alta de un río o arroyo. La lluvia enturbia el agua, dificultando el proceso de depuración de la planta.

### 2.2.12 Herramientas computacionales de diseño

Varios avances en la ingeniería moderna se deben principalmente al desarrollo de técnicas informáticas, tanto de hardware como de software. Las teorías y modelos matemáticos solo pueden aplicarse y resolverse donde la computadora y su lenguaje lo permitan. Reemplazar las pruebas físicas con modelos de simulación por computadora ha reducido significativamente el tiempo y los costos de las pruebas. La gestión precisa y oportuna de grandes cantidades de información en las computadoras permite una toma de decisiones precisa y oportuna. [20]

- CAM (Fabricación Asistida por Ordenador) es Elaboración Asistida por Computadora. CAM se basa en los datos proporcionados en el diseño del objeto. Partiendo del desarrollo de programas de control numérico y la planificación del proceso productivo, diseñamos el modelo. Son ejecutados por la máquina en la que se desarrolló el programa.
- CAD y CAM están estrechamente relacionados, pero se vuelven más claros con el tiempo. El motivo de esta separación es la necesidad de implementar sistemas que utilicen modelos sólidos en lugar de orto mallas restringidas.
- CAE (Ingeniería Asistida por Computadora) es Ingeniería Asistida por Ordenador. Incluye análisis y simulación. Utilizamos un proceso de análisis matemático para

predecir el mecanismo de reproducción, el comportamiento de los componentes y el rendimiento de las pruebas. Un banco de pruebas teórico.

## 2.2.13 Ecuaciones que definen el comportamiento de la bomba de ariete

### 2.2.13.1. Ecuación de la conservación de energía

Esta ecuación en un flujo se hace de acuerdo al sistema que se está analizando, en el cual cada uno de sus términos tiene su grado de importancia, por lo que esta ecuación se puede simplificar a conveniencia. En la que se facilita el análisis transformando cada magnitud energética en unidades de masa. Al ser un sistema estacionario, sus variaciones de energía serán iguales a la energía que se intercambia con el entorno:

$$\Delta E_o + \Delta E_p + \Delta U + \Delta \left( \frac{P}{\rho} \right) = Q + W \left[ \frac{J}{kg} \right]$$

$$\frac{1}{2} (V_2^2 - V_1^2) + g(z_2 - z_1) + (U_2 - U_1) + \frac{1}{\rho} (P_2 - P_1) = Q + W \left[ \frac{J}{kg} \right]$$

puesto que en la bomba de ariete el sistema es isobárico y si consideramos todos los aportes y pérdidas de energía, la ecuación del balance quedará como:

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

Siendo:

- P: Presión (Pa)
- $\gamma$ : Peso específico (N/m<sup>3</sup>)
- V: Velocidad (m/s)
- g: Gravedad (m/s<sup>2</sup>)
- Z: Altura (m)
- h<sub>A</sub>: Energía agregada (m)
- h<sub>f</sub>: Perdidas mayores (m)
- h<sub>s</sub>: Perdidas menores (m)

### 2.2.13.2. Pérdidas menores

Es la pérdida de carga en los accesorios; donde su grado de significancia aumenta si los accesorios son muchos o si la tubería es corta. Las pérdidas se logran evaluar como longitudes equivalentes. En la ecuación el factor K es adimensional, depende de la peculiaridad y de la rapidez media en el interior de dicho conducto.

$$h_s = k * \frac{V_2^2}{2g}$$

Siendo:

- k: Coeficiente de resistencia al flujo
- V: Velocidad (m/s)
- g: Gravedad (m/s<sup>2</sup>)
- h<sub>s</sub>: Pérdidas menores(m)

### 2.2.13.3. Pérdidas mayores

Esta dada por la ecuación de Darcy-Weisbach, que nos señala las pérdidas de carga hidráulica generadas por la fricción en todo un conducto, dada con la rapidez media del fluido.

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Siendo:

- h<sub>L</sub>: Pérdidas mayores (m).
- f: factor de fricción.
- L: Longitud (m).
- D: Diámetro (m).
- V: Velocidad (m/s).
- g: Gravedad (m/s<sup>2</sup>).

### 2.2.13.4. Coeficiente de fricción

El coeficiente de fricción de Darcy -Weisbach viene a ser adimensional y se usa en una ecuación separada para describir las pérdidas por fricción en conductos o tuberías.

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

Siendo:

- f: factor de fricción.
- R<sub>f</sub>: Rugosidad relativa.
- N<sub>RE</sub>: Número de Reynolds.

### 2.2.13.5. Número de Reynolds

Este número adimensional relaciona la fuerza de inercia con la fuerza viscosa del fluido a estudiar, es muy útil para saber si la condición es de flujo laminar o turbulento.

Si:

N<sub>RE</sub> < 2000 Flujo Laminar

$N_{RE} < 2000$  Flujo Turbulento

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

$$N_{RE} = \frac{VD}{\nu}$$

Siendo:

- V: velocidad (m/s).
- D: Diámetro (m).
- $\nu$ : Viscosidad cinética (m<sup>2</sup>/s).
- $N_{RE}$ : Número de Reynolds.

### 2.2.13.6. Rugosidad relativa

Es un parámetro adimensional que describe la rugosidad de la superficie interior de un conducto, definida como la relación entre el diámetro interior del conducto y la rugosidad absoluta.

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

Siendo:

- $R_r$ : Rugosidad relativa.
- D: Diámetro (m).
- $\varepsilon$ : Rugosidad (m).

### 2.2.13.7. Rapidez de cierre de la válvula de impulso

Es un parámetro importante que permite calcular el caudal de descarga.

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

Siendo:

- $u_c$ : Velocidad de cierre de la válvula de impulso (m/s).
- $C_{vi}$ : Carrera de la válvula de impulso (mm).

### 2.2.13.8. Coeficiente de descarga

Valor adimensional propio de una válvula que permite el calcular el caudal libre con que desembalsa una válvula en relación a la altura a la que se encuentra la toma del fluido.

$$C_d = \frac{Q_l}{\sqrt{2g\Delta h} * A_2}$$

Siendo:

- $Q_l$ : Caudal libre ( $m^3/s$ ).
- $C_d$ : Coeficiente de descarga.
- $\Delta h$ : Diferencia de alturas (m).
- $g$ : Gravedad ( $m/s^2$ ).
- $A$ : Área ( $m^2$ ).

### 2.2.13.9. Caudal de descarga

Este caudal es el valor más importante del diseño. Muchos investigadores utilizaron la siguiente ecuación para determinar este parámetro investigadores como () la cual nos dice la cantidad de agua en unidad de tiempo que va llegando al tanque elevado de la vivienda que se calcula como:

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

Siendo:

- $q$ : Caudal de entrega ( $m^3/s$ ).
- $H_s$ : Altura de suministro (m).
- $H_d$ : altura de entrega (m).
- $D$ : diámetro de la tubería de suministro (m).
- $C_d$ : Coeficiente de descarga.
- $u_c$ : Velocidad de cierre de la válvula de impulso (m/s).

### 2.2.13.10. Rendimiento de la bomba de ariete

El rendimiento energético teórico para la bomba de ariete está definido en la siguiente tabla, en la cual se muestra que disminuye en cuanto aumente la relación de altura de trabajo con altura de descarga, ya que para elevar más el fluido se requiere de más energía.

Tabla 1

Rendimiento de la bomba de ariete en función de la relación de altura de trabajo y descarga

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

Fuente: extraída de [9]

Utilizando este rendimiento teórico del ariete hidráulico se puede obtener el caudal de servicio

$$Q_s = \frac{q * H_d}{H_s * R}$$

#### 2.2.13.11. Potencia de la bomba

Este efecto es la energía suministrada por la bomba para lograr elevar parte del caudal de agua de servicio y es igual al peso específico del agua multiplicado por el producto de la altura de descarga y la tasa de flujo de agua que se eleva.

$$P = \gamma * q * H_d$$

Siendo:

- q: Caudal de entrega (m<sup>3</sup>/s).
- H<sub>d</sub>: altura de entrega (m).
- γ: peso específico del agua (N/m<sup>3</sup>).
- P: Potencia (W).

#### 2.2.13.12. Peso máximo de la válvula de impulso

El peso de la válvula es un parámetro muy importante, ya que, si lo superamos el límite, la válvula permanecerá siempre cerrada y no funcionará en absoluto. Para calcular el peso de la válvula se tiene en cuenta su valor máximo junto con la relación:

$$0 < W_v < \frac{c_a * A_v * \rho * H_s}{M}$$

Siendo:

- W<sub>v</sub>: Peso (kg).
- H<sub>s</sub>: Altura de suministro (m).
- ρ: Densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>).
- M: Sumatorio de pérdidas totales (m).

- $C_a$ : Coeficiente de arrastre para la válvula de impulso.
- $A_v$ : Área de sección transversal de la válvula ( $m^2$ ).

### 2.2.13.13. Celeridad (velocidad de propagación de la onda de presión)

Cuando la válvula de impulso se cierra repentinamente, provocará una interrupción repentina del flujo de fluido, lo que creará una onda de presión y aumentará la tensión de trabajo en la pared de la tubería, la rapidez de propagación de esta onda se calcula:

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

Siendo:

- C: Celeridad (m/s).
- $E_v$ : Módulo de elasticidad volumétrico del agua (MPa).
- $\rho$ : Densidad del agua ( $kg/m^3$ ).
- E: Modulo de elasticidad de Young del material del ducto (GPa).
- D: Diámetro interno del ducto (m).
- e: Espesor del ducto (m).

### 2.2.13.14. Sobrepresión por cierre de una válvula

La sobrepresión es causada por ondas de presión y una caída repentina en la velocidad del fluido, por lo que de acuerdo con estos cálculos la sobrepresión es:

$$p = \rho * C * V_c$$

Siendo:

- C: Celeridad (m/s).
- $\rho$ : Densidad del agua ( $kg/m^3$ ).
- V: velocidad del fluido (m/s).
- p: Sobrepresión máxima (Pa).

### 2.2.13.15. Rendimiento volumétrico

El rendimiento volumétrico para la BA se calcula como la relación entre el caudal que se pudo bombear y el caudal de suministro, teniendo como resultado el porcentaje de agua que se va elevar al tanque elevado de la vivienda del agua almacenada en el tanque bajo.

$$n_v = \frac{q * 100}{Q_s}$$

Siendo:

- q: Caudal de entrega (m<sup>3</sup>/s).
- Q<sub>s</sub>: Caudal de suministro (m<sup>3</sup>/s).
- n<sub>v</sub>: eficiencia volumétrica (m/s).

### 2.2.13.16. Presión necesaria para subir el fluido

La precipitación necesaria para elevar el fluido se obtiene de despejar la misma ecuación de conservación de la energía a la salida de la bomba.

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

Despejando

$$P_n = (Z_2 - (1 - f \frac{L}{D} - \sum k) \frac{V_1^2}{2g}) \gamma$$

Siendo:

- P: Presión (Pa)
- γ: Peso específico (N/m<sup>3</sup>)
- V: Velocidad (m/s)
- g: Gravedad (m/s<sup>2</sup>)
- Z: Altura (m)
- h<sub>A</sub>: Energía agregada (m)
- h<sub>f</sub>: Perdidas mayores (m)
- h<sub>s</sub>: Perdidas menores (m)

### 3. METODOLOGÍA

#### Operacionalización de las variables

#### 3.1 Diagrama de flujo

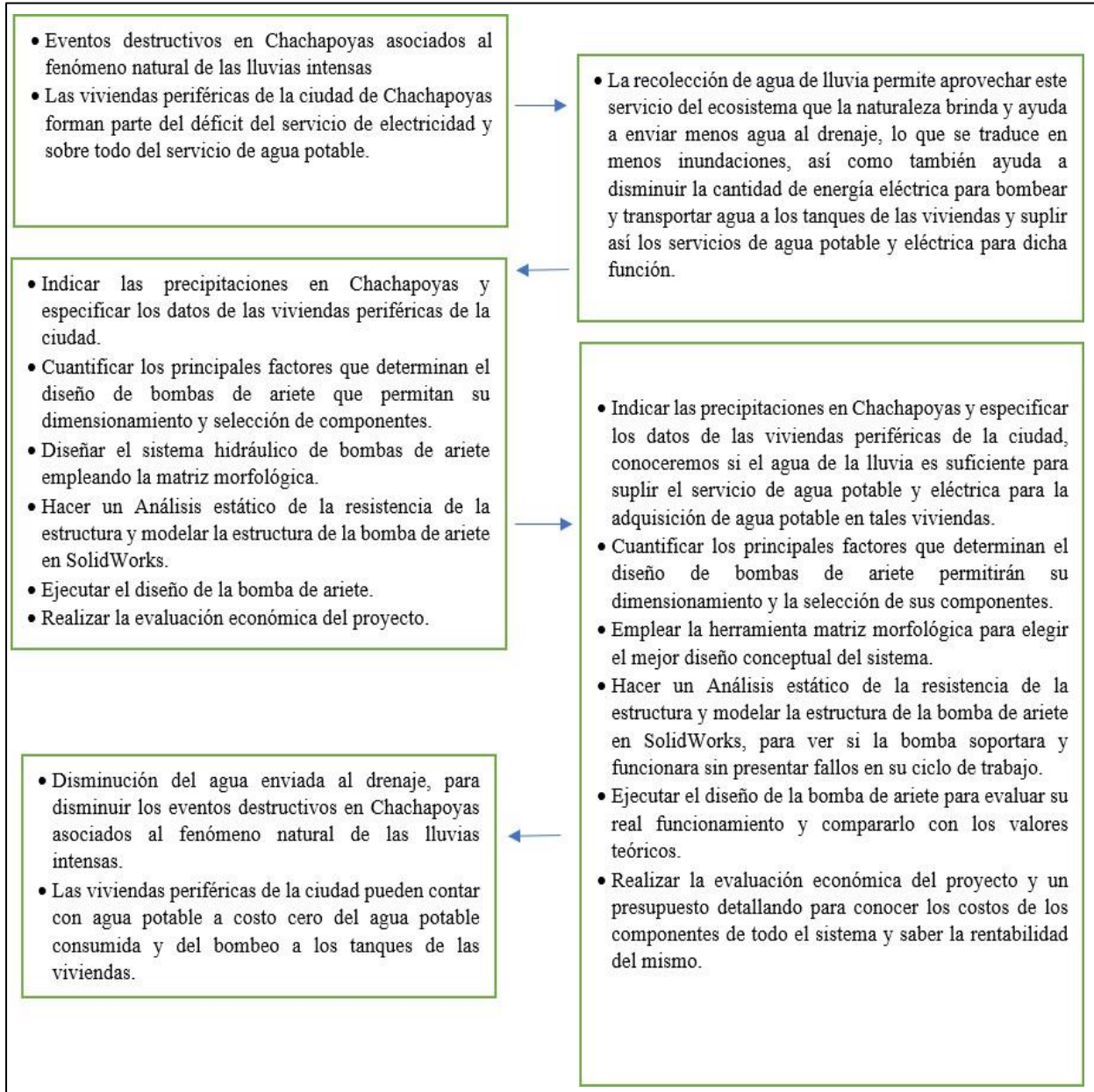


Figura 21 Diagrama de flujo

Tabla 2

## Formulación de hipótesis

<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis general</b>
a) Diseñar un sistema hidráulico de bombas de ariete para la recolección agua de lluvia para el consumo doméstico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las viviendas periféricas de la ciudad pueden contar con agua potable a costo cero del agua potable consumida y del bombeo a los tanques de las viviendas.</li> <li>• Reducir en gran medida los Eventos destructivos en Chachapoyas asociados al fenómeno natural de las lluvias intensas.</li> </ul>
<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>
a) Indicar las precipitaciones en Chachapoyas y especificar los datos de las viviendas periféricas de la ciudad. b) Cuantificar los principales factores que determinan el diseño de bombas de ariete que permitan su dimensionamiento y selección de componentes. c) Diseñar el sistema hidráulico de bombas de ariete empleando la matriz morfológica. d) Hacer un Análisis estático de la resistencia de la estructura y modelar la estructura de la bomba de ariete en SolidWorks. e) Ejecutar el diseño de la bomba de ariete. f) Realizar el presupuesto del proyecto.	a) Si se indican las precipitaciones en Chachapoyas y se especifican los datos de las viviendas periféricas de la ciudad, entonces conoceremos si el agua de la lluvia es suficiente para suplir el servicio de agua potable y eléctrica para la adquisición de agua potable en tales viviendas. b) Si se cuantificar los principales factores que determinan el diseño de bombas de ariete, entonces nos permitirá su correcto dimensionamiento y selección de sus componentes. c) Si se diseña el sistema hidráulico de bombas de ariete empleando la matriz morfológica, entonces se seleccionará el mejor diseño conceptual para este, obteniendo los mayores beneficios del sistema. d) Si se hace un análisis estático de la resistencia de la estructura y se modelar la estructura de la bomba de ariete en SolidWorks, entonces se comprobará que la bomba soportará y funcionará sin presentar fallos en su ciclo de trabajo. e) Si se ejecutar el diseño de la bomba de ariete, se podrá evaluar su real funcionamiento y compararlo con los valores teóricos. f) Si se realiza una evaluación económica, entonces se tendrá un presupuesto detallando los costos de los componentes y se calculará los beneficios del sistema.

Fuente: Elaboración propia

### 3.2 Formulación de hipótesis operación de variables

Tabla 3

Operación de Variables, variable independiente

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems
Variable Independiente	La bomba de ariete trabaja de forma cíclica, la que para su funcionamiento toma la energía producida por el fenómeno llamado golpe de ariete que es la transformación repentina de energía cinética a energía potencial, utilizando esta energía para subir una parte del fluido a una altura superior de la que se capta el fluido. [7]	Aprovechando el recurso natural del agua de lluvia captada por los techos de las viviendas a un tanque a baja altura, se deja fluir hasta la parte más baja de la casa, donde a través del diseño de una bomba de ariete, se logre bombear parte de esta agua hasta el tanque elevado de la vivienda para su posterior uso.	Lluvia captada por los techos de las viviendas	Precipitación promedio	l/m <sup>2</sup>
Diseño De Sistema Hidráulico De Bombas De Ariete			Diseño de un sistema hidráulico de bomba de ariete	Área del techo  Presión  Altura Caudal Rendimiento volumétrico	m <sup>2</sup>  Pa  m l/min Adimensional

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4

Operación de Variables, variable dependiente

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems
Variable Dependiente	Según la Organización	El agua recolectada en el	Agua recolectada en el tanque	Agua para consumo en la ducha	1
Consumo Doméstico De Agua En Viviendas Perifericas De Chachapoyas.	Mundial de la Salud (OMS), se necesitan 100 litros de agua al día para las necesidades humanas diarias como la higiene, la alimentación, la limpieza, el lavado de ropa, etc.	tanque superior de la casa se puede utilizar para satisfacer la necesidad de agua de la casa.	elevado de la vivienda	Agua para consumo en el inodoro Agua para consumo en el lavabo Agua para consumo en la lavadora Agua para consumo en la cocina Agua para consumo en el lavavajillas Agua para consumo en otros	1 1 1 1 1 1

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿Es factible que con el diseño de sistema hidráulico de bombas de ariete se pueda recolectar agua de lluvia para el consumo doméstico en viviendas periféricas de la ciudad?	GENERAL	GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
	Diseñar un sistema hidráulico de bombas de ariete para la recolección agua de lluvia para el consumo doméstico.	Si se realiza un diseño hidráulico de bomba de ariete para recolectar agua de lluvia, entonces las viviendas periféricas de la ciudad pueden contar con agua potable a costo cero del agua potable consumida y del bombeo a los tanques de las viviendas.	DISEÑO DE SISTEMA HIDRÁULICO DE BOMBAS DE ARIETE	Tipo aplicada-experimental
			INDICADORES	TÉCNICA RECOLECCIÓN DE DATOS
	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICAS	Precipitación promedio, Área del techo, Presión, Altura, Caudal, Rendimiento volumétrico	Las fuentes climatológicas de Chachapoyas con datos del SENAMHI y datos del censo del INEI para tener los datos de las medidas de las viviendas.
	Indicar las precipitaciones en Chachapoyas y especificar los datos de las viviendas periféricas de la ciudad.	Si se indican las precipitaciones en Chachapoyas y se especifican los datos de las viviendas periféricas de la ciudad, entonces conoceremos si el agua de la lluvia es suficiente para suplir el servicio de agua potable y eléctrica para la adquisición de agua potable en tales viviendas.	VARIABLE DEPENDIENTE	POBLACIÓN Y MUESTRA
	Cuantificar los principales factores que determinan el diseño de bombas de ariete que permitan su dimensionamiento y selección de componentes.	Si se cuantificar los principales factores que determinan el diseño de bombas de ariete, entonces nos permitirá su correcto dimensionamiento y selección de sus componentes.	CONSUMO DOMÉSTICO DE AGUA EN VIVIENDAS DE CHACHAPOYAS.	La unidad de estudio son los sistemas hidráulicos de bombas de golpe de ariete
	Diseñar el sistema hidráulico de bombas de ariete empleando la matriz morfológica	Si se diseña el sistema hidráulico de bombas de ariete empleando la matriz morfológica, entonces se seleccionará el mejor diseño conceptual para este, obteniendo los mayores beneficios del sistema	INDICADORES	
	Hacer un Análisis estático de la resistencia de la	Si se hace un análisis estático de la resistencia de la	Agua para consumo en la ducha, el inodoro, en el lavabo,	

	estructura y modelar la estructura de la bomba de ariete en SolidWorks	estructura y se modelar la estructura de la bomba de ariete en SolidWorks, entonces se comprobará que la bomba soportará y funcionará sin presentar fallos en su ciclo de trabajo	en la lavadora, en la cocina, en el lavavajillas y en otros.	
	Ejecutar el diseño de la bomba de ariete	Si se ejecuta el diseño de la bomba de ariete, se podrá evaluar su real funcionamiento y compararlo con los valores teóricos		
	Realizar el presupuesto del proyecto	Si se realiza una evaluación económica, entonces se tendrá un presupuesto detallando los costos de los componentes y se calculará los beneficios del sistema.		

Fuente: Elaboración propia

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Indicar las precipitaciones en Chachapoyas y especificar los datos de las viviendas periféricas de la ciudad.

#### 4.1.1 Información climatológica de Chachapoyas

Según data del Senamhi, el año tiene una cantidad significativa de lluvias como se ve en la figura 21; con promedios de temperatura de 15.2 °C. y precipitación promedio anual de 778 mm. El mes más cálido es noviembre (21°C); la temperatura menor se da en agosto (7,5°C); En marzo, la cantidad de precipitación es mayor (136,7 mm/mes) [3].

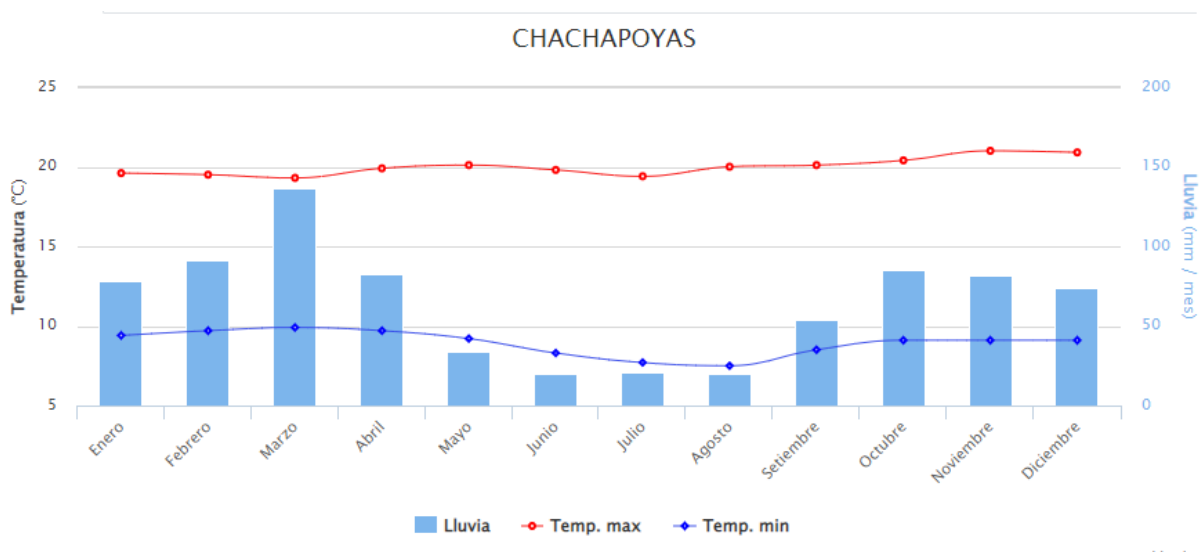


Figura 22 Climograma Chachapoyas

Fuente: Extraído de [3]

#### 4.1.2 Datos métricos de las viviendas periféricas de Chachapoyas.

Para una vivienda de 2 pisos con 3 habitantes que es lo más común según datos del censo del INEI: [21]

- Área de techo.

El promedio de área de vivienda en el Perú es de 86 m<sup>2</sup>, por tanto, el área mínima del techo de la vivienda es 86 m<sup>2</sup>. [22]

- La altura más baja a la que encuentra el techo.

La altura más baja del techo para una vivienda de 2 pisos se podría encontrar en el segundo piso a una altura de 4.2 m.

- La altura del filtro y el almacén 1 con respecto a la parte más baja del techo.

Siendo este ubicado en el segundo piso y al ser 2 tanques de 200 litros, uno como filtro y otro como tanque 1 de servicio, no se encuentran a la misma altura sino con una diferencia de 20 cm, y al ser tanques de 90 cm de alto, la altura del filtro y el almacén 1 con respecto a la parte más baja del techo es de 1m.

- Parte más baja de la vivienda.

Se recoger y trata las aguas residuales de la bomba de ariete, por ello se coloca a 1 m sobre el suelo.

- Altura del tanque de elevación

Se encuentra por encima del segundo piso y añadiendo la altura de este el esquema de funcionamiento quedaría así:

- Altura de trabajo de 2m.
- Altura de elevación de 6m.

#### 4.1.3 Cantidad de agua recolectada

El volumen de agua recolectada es:

$$Vol = P_{pr} * A_t * K$$

Siendo:

- Vol: volumen de agua recolectada al año en litros.
- $P_{pr}$ : Precipitación promedio anual en mm.
- $A_t$ : Área del techo en  $m^2$ .
- K: coeficiente de escurrimiento.

TIPO DE ÁREA DRENADA		COEF. DE ESCURRIMIENTO	
		MÍNIMO	MÁXIMO
ZONAS COMERCIALES	Zona Comercial	0.70	0.95
	Vecindarios	0.50	0.70
ZONAS RESIDENCIALES	Unifamiliares	0.30	0.50
	Multifamiliares, espaciados	0.40	0.60
	Multifamiliares, compactos	0.60	0.75
	Semiurbanas	0.25	0.40
	Casas habitación	0.50	0.70
ZONAS INDUSTRIALES	Espaciada	0.50	0.80
	Compacta	0.60	0.90
CEMENTERIOS, PARQUES		0.10	0.25
CAMPOS DE JUEGO		0.20	0.35
PATIOS DE FERROCARRIL		0.20	0.40
ZONAS SUBURBANAS		0.10	0.30
CALLES	Asfaltadas	0.70	0.95
	De concreto hidráulico	0.70	0.95
ESTACIONAMIENTOS	Adoquinadas	0.70	0.85
		0.75	0.85
		0.75	0.95
TECHADOS		0.75	0.95
PRADERAS	Suelos arenosos planos ( $S \leq 0.02$ )	0.05	0.10
	Suelos arenosos con pendientes medias ( $0.02 < S < 0.07$ )	0.10	0.15
	Suelos arenosos escarpados ( $S \geq 0.07$ )	0.15	0.20
	Suelos arcillosos planos ( $S \leq 0.02$ )	0.13	0.17
	Suelos arcillosos con pendientes medias ( $0.02 < S < 0.07$ )	0.18	0.22
	Suelos arcillosos escarpados ( $S \geq 0.07$ )	0.25	0.35

Figura 23 Valor del coeficiente de escurrimiento de los techados

Fuente: Extraído de [8]

Siendo K igual a 0.95 según la fig.2, el volumen de agua recolectada al año es:

$$Vol = P_{pr} * A_t * K$$

$$Vol = 778 \text{ mm} * 86 \text{ m}^2 * 0,95$$

$$Vol = 63562,6 \text{ l} = 63,563 \text{ m}^3$$

#### 4.1.4 Cantidad de agua requerida para satisfacer la demanda

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), una persona necesita 50 litros de agua al día para cubrir sus necesidades diarias como higiene, alimentación, limpieza, lavado de la ropa, entre otros usos, siendo esto lo aceptable y lo aconsejable de 75 litros, mostrado en la figura 3: [10]

Por lo tanto, los 3 habitantes de la vivienda al año requieren consumir 82,125 m<sup>3</sup> como cantidad de agua aconsejable y 54,75 m<sup>3</sup> como cantidad de agua necesaria.

Por lo tanto, el agua recolectada representa el 77% de las necesidades aconsejable de consumo anuales de una familia y el 116% de las necesidades aceptable de su consumo anual.



Figura 24 Relación del volumen de agua recolectada al año con el tipo de consumo

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2 Cuantificar los principales factores que determinan el diseño de bombas de ariete que permitan su dimensionamiento y selección de componentes.

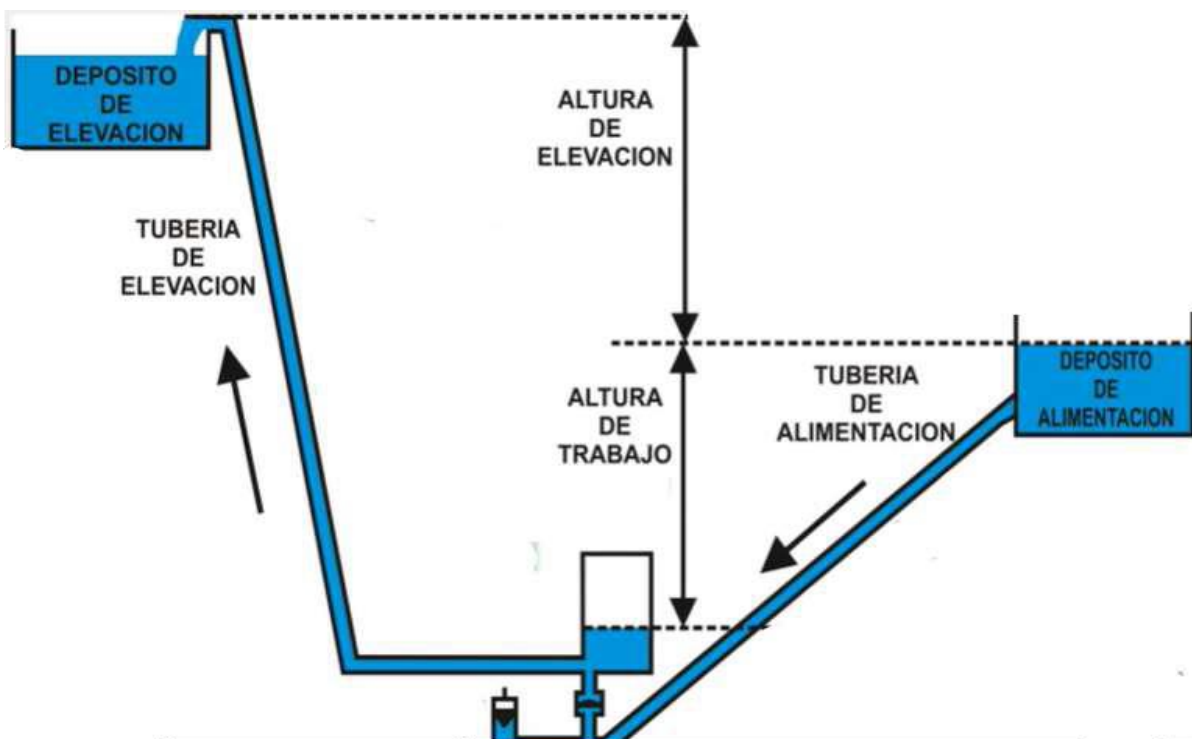


Figura 25 Esquema de funcionamiento del sistema de bomba de ariete

Fuente: Extraído de [23]

#### 4.2.1 Cálculo del diámetro interior de la tubería.

Un tubo de PVC de una pulgada tiene un diámetro exterior de 48,3 mm y un espesor de 3,7 mm, por lo que el diámetro interior es:

$$D = Dex - 2 * e$$

$$D = 0,0443 \text{ m}$$

#### 4.2.2 Cálculo de la rugosidad absoluta

Siendo el material de PVC tiene una rugosidad absoluta de  $0.0015 \times 10^{-3}$  m por tanto se tiene una rugosidad relativa de:

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0.0000339$$

#### 4.2.3 Cálculo de la velocidad máxima

Para una velocidad máxima utilizando el principio de Torricelli se tiene

$$V = \sqrt{2gh}$$

$$V = 6.264 \text{ m/s}$$

#### 4.2.4 Cálculo del número de Reynolds

El número de Reynolds asumirá una temperatura de 20°C y una viscosidad dinámica de  $1.102 \times 10^{-6} \text{Ns/m}^2$

$$N_{RE} = \frac{VD}{\nu}$$

$$N_{RE} = 251817,919$$

#### 4.2.5 Cálculo del factor de fricción

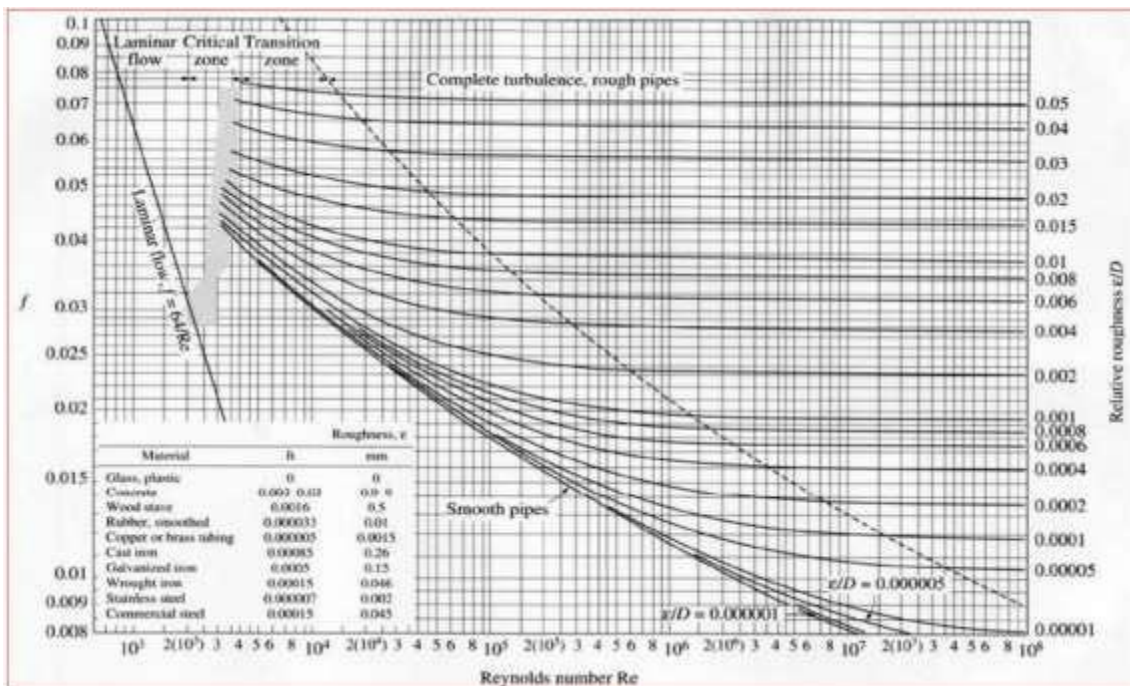


Figura 26 Diagrama de Moody

Fuente: Extraída de [24]

El coeficiente de fricción se puede obtener utilizando el diagrama de Moody o con más exactitud con la ecuación:

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

$$f = 0.00984$$

#### 4.2.6 Cálculo de la velocidad a la salida

Luego, calcular el flujo de entrada requiere la  $V_2$ , que se obtiene de la ecuación de conservación de energía.

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

Simplificando la ecuación sabiendo que tanto la salida y la entrada están en contacto con la atmósfera y que no se añade ningún tipo de energía la velocidad 2 quedaría

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g(Z_1 - Z_2)}{1 + f \frac{L}{D} + \sum k}}$$

#### 4.2.7 Cálculo de pérdidas menores

Para el cálculo de pérdidas menores, el coeficiente de resistencia al flujo es:

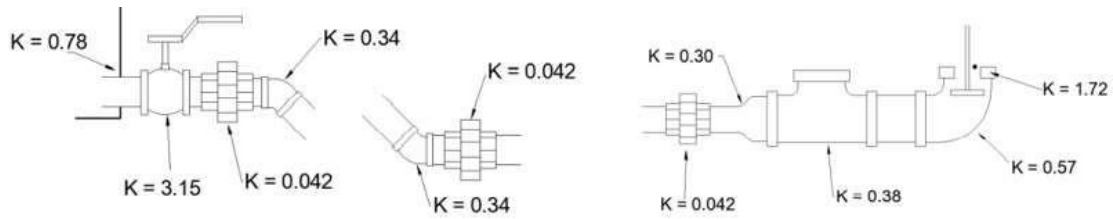


Figura 27 Perdidas menores en accesorios para el ducto de alimentación

Fuente: Elaboración propia.

$$\sum k = 0,78 + 3,15 + 0,042 + 0,34 + 0,34 + 0,042 + 0,042 + 0,3 + 0,57 + 0,57 + 1,72$$

$$\sum k = 8,082$$

Entonces la velocidad en la descarga sería

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g(2)}{1 + 0.00984 * \frac{2 * \csc(45^\circ)}{0,0443} + 8,082}}$$

$$V_2 = 2,014m/s$$

#### 4.2.8 Cálculo del caudal libre

$$A_2 = \frac{\pi}{4}(D)^2$$

$$A_2 = 15,413 \times 10^{-4} m^2$$

$$Q_l = V_2 * A_2$$

$$Q_l = 3,105 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

#### 4.2.9 Cálculo de la rapidez de cierre de la válvula de impulso

Para calcular qué tan rápido se cierra la válvula de impulso, una válvula check tiene 9 mm de recorrido

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

$$u_c = 1,215$$

#### 4.2.10 Cálculo del coeficiente de descarga

Una vez obtenido el caudal libre se puede encontrar el coeficiente de descarga el cual es un parámetro importante para el cálculo del caudal de descarga.

$$C_d = \frac{Q_l}{\sqrt{2g\Delta h} * A_2}$$

$$C_d = 0,322$$

#### 4.2.11 Cálculo del caudal de entrega

Una vez obtenido el coeficiente de descarga y la rapidez de cierre de la válvula, se puede encontrar el caudal de descarga.

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

$$q = \frac{(2 \text{ m})(0,0443 \text{ m})^2 (1,215) \pi (0,322)}{10(4 \text{ m})}$$

$$q = 12,044 * 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 7,226 \text{ l/min}$$

#### 4.2.12 Cálculo del caudal de servicio

Utilizando el rendimiento teórico de las bombas de ariete se puede utilizarlo para encontrar el caudal de suministro el cual viene a ser:

$$Q_s = \frac{q * H_d}{H_s * R}$$

$$\frac{h}{H} = \frac{6 - 2}{2} = 2$$

Tabla 5

Rendimiento de la bomba de ariete

		Rendimiento					
h/H	2	3	4	6	8	10	12
R	0,85	0,81	0,76	0,67	0,57	0,43	0,23

Fuente: Elaboración propia

$$Q_s = 2,834 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 17,003 \text{ l/min}$$

#### 4.2.13 Cálculo de la eficiencia volumétrica

La eficiencia volumétrica, es la relación entre el flujo de descarga y el flujo de servicio, da:

$$n_v = \frac{q}{Q_s} * 100$$

$$n_v = \frac{7,226 * 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{2,834 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} * 100$$

$$n_v = 42,5\%$$

Lo cual indica que el 28.33% de toda el agua captada de la lluvia se va llegar almacenar en el tanque elevado de la vivienda para futuro uso.

#### 4.2.14 Calculo de la celeridad

Sabiendo que el valor de

$$E_v = 2197,44 \text{ MPa (agua a } 20^\circ\text{C)}$$

$$e = 0,0037 \text{ m}$$

Entonces el valor de la celeridad es:

$$C = \sqrt{\frac{E_v}{\rho \cdot D} \cdot \frac{1}{1 + (E)(e)}}$$

$$C = \sqrt{\frac{2197,44 \text{ MPa}}{998,58 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,0443 \text{ m}} \cdot \frac{1}{1 + (3,1 \text{ GPa})(0,0037 \text{ m})}}$$

$$C = 492,165 \text{ m/s}$$

Esta velocidad de propagación de la onda está en estado subsónico, ya que para el agua la velocidad del sonido es de 1483 m/s.

#### 4.2.15 Tiempo de propagación de las ondas de presión

El tiempo de propagación de las ondas desde la bomba de ariete hasta el tanque de suministro se calcula como:

$$t = 4L/c$$

$$t = 4 * \frac{2,828 \text{ m}}{(492,165 \frac{\text{m}}{\text{s}})}$$

$$t = 2,298 * 10^{-2} \text{ s}$$

#### 4.2.16 Peso máximo de la válvula de impulso

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

$$0 < W_v < \frac{c_a A_v H_s \rho}{M}$$

$$0 < W_v < \frac{1,17 * 13,987 * 10^{-4} \text{ m}^2 * 2 \text{ m} * 998,58 \text{ kg/m}^3}{8,082}$$

$$0 < W_v < 0,404 \text{ kg}$$

#### 4.2.17 Cálculo de la potencia de la bomba

La potencia según la altura y el caudal de elevación que se tiene es de:

$$P = \gamma * q * H_d$$

$$P = (998,58 \frac{kg}{m^3}) (9,81 \frac{m}{s^2}) (12,044 * 10^{-5} \frac{m^3}{s}) (6 m)$$

$$P = 7,079 W$$

#### 4.2.18 Cálculo de la sobrepresión por cierre de válvula

La sobrepresión que se genera en el ducto por el cierre de la válvula de impulsión es:

$$p = \rho * C * V_c$$

$$p = (998,58 \frac{kg}{m^3}) (492,165 \frac{m}{s}) (2,014 \frac{m}{s})$$

$$p = 985881,28 Pa = 0,986 MPa$$

#### 4.2.19 Presión necesaria para subir el fluido

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

$$L \quad V_1^2$$

$$P_n = (Z_2 - (1 - f \frac{L}{D} - \sum k) \frac{V_1^2}{2g}) \gamma$$

$$V_1 = q / (\frac{\pi}{4} D^2)$$

$$V_1 = 12,044 * 10^{-5} \frac{m^3}{s} / (\frac{\pi}{4} 0,0207^2)$$

$$V_1 = 0,294 m/s$$

$$N_{RE} = \frac{VD}{\nu}$$

$$N_{RE} = 6076,683$$

$$f = \frac{64}{N_{RE}}$$

$$f = 0,011$$

$$P_n = 58984,245 Pa = 0,059 MPa$$

La cual es mucho menor que la sobrepresión que se genera

#### 4.2.20 Resumen de resultados:

Tabla 6

Parámetros de la bomba de ariete calculados

Variable	Simbología	Cantidad	Unidades
Longitud De La Tubería De Alimentación	$L_1$	2,828	m
Longitud De La Tubería De Descarga	$L_2$	8,000	m
Diámetro De La Tubería De Alimentación	$D_1$	0,0483 (3/2")	m
Diámetro De La Tubería De Descarga	$D_2$	0,0269 (3/4")	m
Caudal De Suministro	$Q_s$	17,003	l/min
Caudal Elevado	$q$	7,226	l/min
Potencia	$P$	7,079	W
Peso De La Válvula De Impulsión	$W_{max}$	0,448	kg
Eficiencia Volumétrica	$n_v$	42,5%	Adimensional
Sobrepresión En La Bomba	$p$	0,986	MPa
Presión Necesaria	$p_n$	0.059	MPa

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.21 Descripción para los posibles casos variando parámetros del sistema

Tras tener las ecuaciones de gobierno de la bomba de ariete, se variaron ciertos parámetros para describir el comportamiento de algunos parámetros tales como:

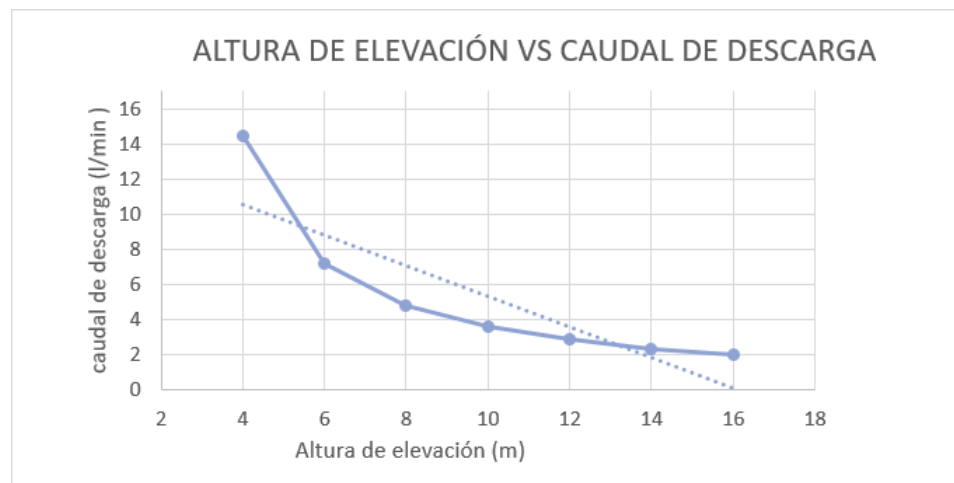


Figura 28 Altura de elevación vs caudal de descarga

Fuente: Elaboración propia

Para mayores alturas de elevación el caudal de descarga se va reduciendo esto porque se produce el mismo golpe de ariete, pero para diferente altura de elevación, por tanto, se requiere de más presión para elevar dicho caudal a una altura superior. Este mismo comportamiento presenta [7], llegando básicamente al mismo análisis, pero la curva es muy poco prolongada porque su relación de alturas está alrededor de 9,43.



Figura 29 peso máximo para la válvula de impulso vs tamaño de la bomba de ariete

Fuente: Elaboración propia

El peso de la válvula de impulso va aumentando de acuerdo al diámetro del ducto de alimentación, ya que el caudal de servicio va ir en aumento y de no aumentar el peso de la válvula de impulso esta se mantendrá cerrada por ser muy liviana, pero por otro lado no nos podemos exceder ya que de ser mucho peso esta válvula se mantendrá siempre abierta sin generar el golpe de ariete. Esto lo entiende muy bien [7] ya que el trabaja con el peso de la válvula de impulso hasta encontrar un mejor rendimiento.



Figura 30 Caudal de descarga vs tamaño de la bomba de ariete

Fuente: Elaboración propia

Si se aumenta el diámetro del ducto de alimentación todos los parámetros van aumentando en escala, ya que se va aumentar el caudal que llegue a la bomba de ariete y por tanto el caudal de descarga.

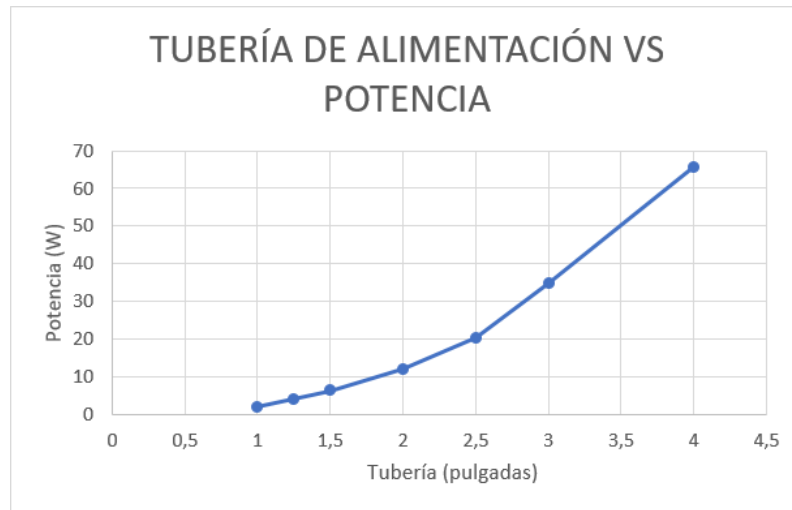


Figura 31 Potencia vs tamaño de la bomba de ariete

Fuente: Elaboración propia

La potencia está directamente relacionado al caudal de descarga y a la altura de elevación, pero como la altura de elevación para este caso es la misma de 6m, el gráfico de la Potencia tiene el mismo comportamiento que el gráfico de caudal de descarga.

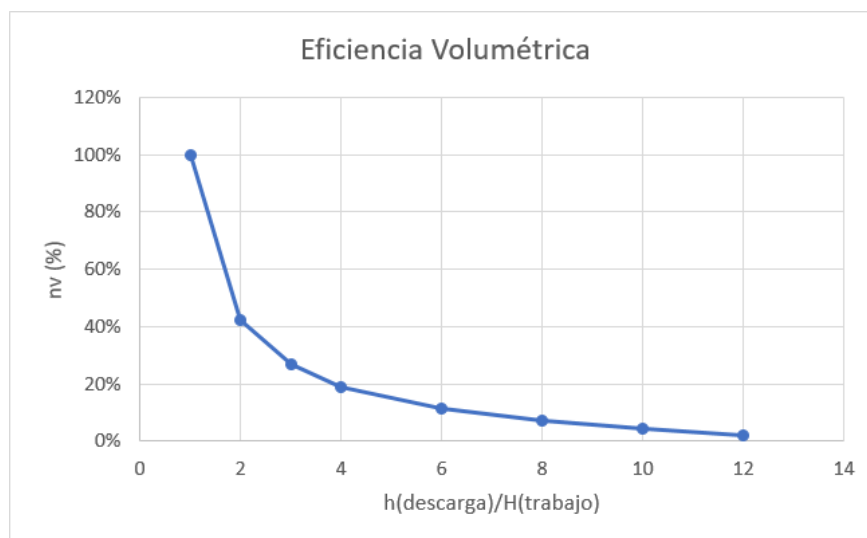


Figura 32 Eficiencia volumétrica

Fuente: Elaboración propia

No es una sorpresa que la eficiencia volumétrica se reduzca a medida que se le aumente la altura de elevación, ya que estamos agregando la misma energía potencial al fluido para una altura superior y a medida que esta sea mayor habrá más pérdidas de carga, esta misma curva en caída la tiene [25, 7], con la diferencia de que su curva no es tan prolongada por que las relaciones de alturas son distintas.

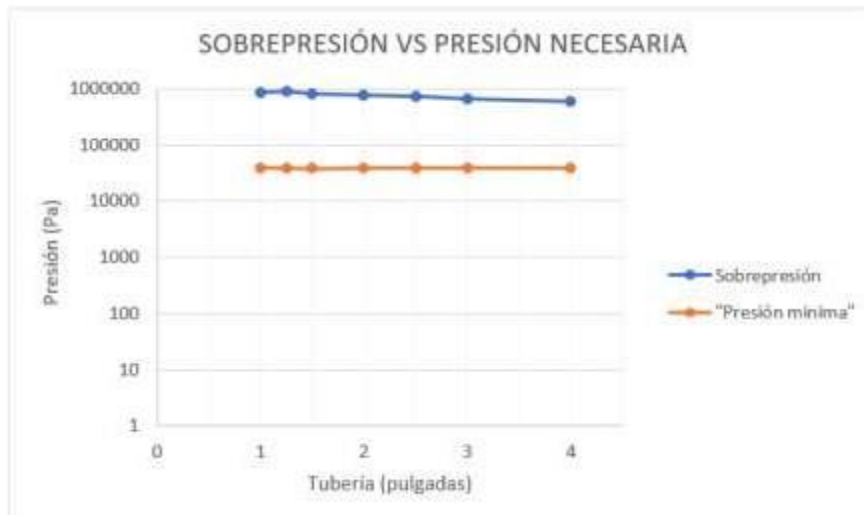


Figura 33 sobrepresión vs presión necesaria

Fuente: Elaboración propia

La sobrepresión que se genera en la bomba de ariete siempre es muy superior a la presión mínima necesaria para elevar dicho caudal a tal altura de elevación con la diferencia de que la sobrepresión no es continua, sino que se genera en ciclos.



Figura 34 Celeridad vs tamaño de la bomba de ariete

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la velocidad de propagación de la onda de sobrepresión viene a ser inversamente proporcional al diámetro de la tubería de alimentación. Además, siempre se le encuentra en estado subsónico, ya que para el agua la velocidad del sonido es de 1483 m/s. [26]

### 4.3 Diseñar el sistema hidráulico de bombas de ariete empleando la matriz morfológica.

#### 4.3.1 Definición del problema

El problema es; “Desarrollar un sistema hidráulico de bombas de ariete para recolectar agua de lluvia en una vivienda”.

#### 4.3.2 Identificación y caracterización de parámetros:

Parámetros a diseñar con la matriz morfológica para el desarrollo de este sistema son:

- Control del sistema
- Fuente de alimentación
- Fuente de agua no bombeada
- Ubicación del filtro
- Relación de diámetros
- Material de la tubería de alimentación
- Material de la tubería de descarga
- Material del cuerpo del ariete hidráulico
- Válvula de impulso
- Válvula de retención
- Uniones
- Fuente de descarga
- Como potabilizar el agua
- Cámara de aire
- Válvula de aire

#### 4.3.3 Construcción de la matriz morfológica

Tabla 7

Matriz morfológica de la bomba de ariete

<b>Control Del Sistema</b>	Por Válvula En Lado De La Toma De Alimentación	Por Válvula A Lado Del Cuerpo Del Ariete	Directo	Por Control De Nivel	
<b>Fuente De Alimentación</b>	Directo	Cisterna Externa	Tinaco		
<b>Fuente De Agua No Bombeada</b>	Nada	Cisterna Externa	Cisterna Subterránea	Tinaco	Cisterna De Concreto
<b>Ubicación Del Filtro</b>	Antes De Llegar A La Fuente De Alimentación	En La Toma De La Tubería De Alimentación	A La Salida De La Fuente De Descarga		

<b>Relacion De Diametros En Pulgadas</b>	1 1/2 A 1	1 1/2 A 3/4	1 1/2 A 1/2		
<b>Material De La Tubería De Alimentación</b>	Tubería PVC	Tubería Galvanizada	Manguera		
<b>Material De La Tubería De Descarga</b>	Tubería PVC	Manguera	Tubería Galvanizada		
<b>Material Del Cuerpo Del Ariete Hidráulico</b>	Cobre	Acero Galvanizado	Pvc		
<b>Válvula De Impulso</b>	Sin Peso	Con Peso Encima	Con Peso Debajo	Con Resorte	
<b>Válvula De Retención</b>	Válvulas Tipo Solapa	Válvula Check De Tapón	Válvula Check Tipo Bisagra		
<b>Uniones</b>	Soldar	Roscar	Pegar		
<b>Fuente De Descarga</b>	Cisterna Externa	Tinaco			
<b>Como Potabilizar El Agua</b>	Osmosis Inversa	Filtros De Carbón Activado	Desinfección Ultravioleta	Filtro De Cerámica	Filtro De Agua Del Grifo

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.4 Combinaciones incluyen las soluciones posibles

Ya que se tiene 1 749 600 posibles combinaciones, de modo que analizar cada uno por separado es algo muy trabajoso y un proceso muy lento, por lo tanto, es más practico hacer el uso de la matriz ponderada para la mejor selección de partes del sistema, teniendo 5 consideraciones con un grado de importancia de 0 a 10:

Tabla 8

Ponderación de las consideraciones de elección

	<b>Mantenibilidad</b>	<b>Operabilidad</b>	<b>Seguridad</b>	<b>Precio</b>	<b>Acoplamiento</b>	<b>Total:</b>
Ponderación	8	8	3	6	6	31
	26%	26%	10%	19%	19%	100%

Fuente: Elaboración propia

Dando un valor más alto a la operabilidad ya que buscamos el buen funcionamiento y máximo rendimiento de la bomba, como también a la mantenibilidad para que le sea más fácil al usuario conseguir, conservar y restaurar las partes de la bomba de ariete.

#### 4.3.5 Combinar posibilidades:

Para la combinación de posibilidades se selecciona cada parámetro evaluando con las consideraciones y su valor ponderado, dándole una puntuación de 0 a 10 para cada consideración y seleccionando la de mayor valor total:

##### 4.3.5.1. Control del sistema

Tabla 9

Ponderación para selección del control del sistema

Control Del Sistema	Mantenibilidad	Operabilidad	Seguridad	Precio	Acoplamiento	Total:
Por Valvula En Lado De La Toma De Alimentación	10	10	10	7	10	9,419
Por Valvula A Lado Del Cuerpo Del Ariete Directo	10	10	6	7	10	9,032
Por Cotrol De Nivel	10	4	3	10	10	7,774
	4	10	10	1	10	6,710

Fuente: Elaboración propia

Es muy funcional y seguro poner la válvula de control a lado de la fuente alimentación, para activarla de forma manual al ver el tanque de alimentación a un nivel alto con respecto a la toma por la tubería de alimentación.

##### 4.3.5.2. Fuente de alimentación

Tabla 10

Ponderación para selección de la fuente de alimentación

Fuente De Alimentación	Mantenibilidad	Operabilidad	Seguridad	Precio	Acoplamiento	Total
Directo	10	1	3	10	10	7
Cisterna Externa	10	10	10	3	10	8,645
Tinaco	4	10	10	4	10	7,290

Fuente: Elaboración propia

Para la fuente de alimentación, una cisterna externa es la mejor opción ya que esta se puede instalar y acoplar muy fácilmente al sistema, además que cuando no se requiera del sistema se puede remover y darle otro uso.

##### 4.3.5.3. Fuente de agua no bombeada

Tabla 11

Ponderación para selección de la fuente de agua no bombeada

<b>Fuente De Agua No Bombeada</b>	<b>Mantenibilidad</b>	<b>Operabilidad</b>	<b>Seguridad</b>	<b>Precio</b>	<b>Acoplamiento</b>	<b>Total</b>
Nada	10	1	2	9	10	6,710
Cisterna Externa De Cimiento	10	2	10	3	3	5,226
Cisterna Subterránea	8	3	9	2	2	4,484
Tinaco	6	8	10	5	10	7,484
Cisterna De Concreto	6	10	10	3	10	7,613

Fuente: Elaboración propia

Para la fuente de agua no bombeada instalar un tinaco es la mejor opción ya que la bomba de ariete tiende a desparramar el agua sobrante y de este modo no desperdiciaríamos esta agua, conduciéndola a una cisterna subterránea para su futura utilización.

#### 4.3.5.4. Ubicación del filtro

Tabla 12

Ponderación para selección de la ubicación del filtro

<b>Ubicación Del Filtro</b>	<b>Mantenibilidad</b>	<b>Operabilidad</b>	<b>Seguridad</b>	<b>Precio</b>	<b>Acoplamiento</b>	<b>Total</b>
Antes De Llegar A La Fuente De Alimentación	10	10	10	9	10	9,806
En La Toma De La Tubería De Alimentación	10	6	10	9	10	8,774
A La Salida De La Fuente De Descarga	10	4	10	9	8	7,871

Fuente: Elaboración propia

El filtro retiene y frena el caudal de agua para elimina las impurezas con las que llega del techo de la vivienda, por tanto, al ponerle antes de la fuente de alimentación no disminuye la velocidad del fluido que llega a la bomba de ariete y por tanto no altera la operabilidad de la bomba.

#### 4.3.5.5. Relación de diámetros en pulgadas

Tabla 13

Ponderación para selección de relaciones de diámetros

<b>Relacion De Diametros En Pulgadas</b>	<b>Mantenibilidad</b>	<b>Operabilidad</b>	<b>Seguridad</b>	<b>Precio</b>	<b>Acoplamiento</b>	<b>Total</b>
1 1/2 A 1	10	6	10	7	8	8
1 1/2 A 3/4	10	9	9	10	10	9,645
1 1/2 A 1/2	10	8	9	8	9	8,806

Fuente: Elaboración propia

La relación de diámetros entre la tubería de alimentación y descarga se dan de acuerdo a los cálculos, como se obtuvo una eficiencia volumétrica de 27%, lo cual significa que poco más de un cuarto del caudal que le llega a la bomba pasara por la tubería de descarga, Por lo tanto, el diámetro de la tubería de salida debe ser menor que el diámetro de la tubería de alimentación.

#### 4.3.5.6. Material de la tubería de alimentación

Tabla 14

Ponderación para selección del material de la tubería de alimentación

<b>Material De La Tubería De Alimentación</b>	<b>Mantenibilida d</b>	<b>Operabilida d</b>	<b>Segurida d</b>	<b>Precio</b>	<b>Acoplamiento</b>	<b>Total :</b>
Tubería Pvc	10	10	7	9	10	9,516
Tubería Galvanizada	7	10	10	4	6	7,290
Manguera	10	8	5	10	10	9

Fuente: Elaboración propia

Se utiliza la tubería de PVC en lugar de la tubería galvanizada ya que en el ducto de alimentación la sobrepresión del golpe de ariete no repercute significativamente y el precio de esta es mucho menor. Por otro lado, la manguera representa una mayor pérdida de carga con respecto a la tubería de alimentación.

#### 4.3.5.7. Material de la tubería de descarga

Tabla 15

Ponderación para selección del material de la tubería de descarga

<b>Material De La Tubería De Descarga</b>	<b>Mantenibilida d</b>	<b>Operabilida d</b>	<b>Segurida d</b>	<b>Precio</b>	<b>Acoplamiento</b>	<b>Total :</b>
Tubería Pvc	9	10	9	8	9	9,065
Manguera	10	8	6	10	10	9,097
Tubería Galvanizada	6	10	10	3	6	6,839

Fuente: Elaboración propia

Es el mismo motivo de la selección del material de la tubería de alimentación (menor pérdida de carga y precio justo).

#### 4.3.5.8. Material del cuerpo del ariete hidráulico

Tabla 16

Ponderación para selección del material del cuerpo del ariete hidráulico

<b>Material Del Cuerpo Del Ariete Hidráulico</b>	<b>Mantenibilidad</b>	<b>Operabilidad</b>	<b>Seguridad</b>	<b>Precio</b>	<b>Acoplamiento</b>	<b>Total</b>
Cobre	10	10	9	5	10	8,935
Acero Galvanizado	10	10	10	6	10	9,226
Pvc	10	7	6	10	10	8,839

Fuente: Elaboración propia

Es especialmente en el cuerpo de ariete donde se generan las sobrepresiones para bombear parte del agua captada, por ello el material debe ser resistente y tener un factor de seguridad algo para soportar por muchos ciclos estos esfuerzos.

#### 4.3.5.9. Tipo de válvula de impulso

Tabla 17

Ponderación para selección del tipo de válvula de impulso

<b>Valvula De Impulso</b>	<b>Mantenibilidad</b>	<b>Operabilidad</b>	<b>Seguridad</b>	<b>Precio</b>	<b>Acoplamiento</b>	<b>Total:</b>
Sin Peso	10	5	10	10	10	8,710
Con Peso Encima	10	10	10	8	10	9,613
Con Peso Debajo	9	9	10	9	9	9,097
Con Resorte	10	9	10	10	10	9,742

Fuente: Elaboración propia

Para la válvula de impulso todas las alternativas podrían ser utilizadas, pero para buscar un mayor rendimiento de la bomba se varía el peso de esta válvula de impulso ya que un exceso de peso produciría que la válvula nunca se cerrara y un peso tan liviano podría producir que la válvula siempre este cerrada, por otro lado, las válvulas con resorte, en la fase de aceleración del fluido este tiende a frenar la última parte el golpe de ariete. Siendo entonces la mejor opción la válvula check con peso regulable.

#### 4.3.5.10. Tipo de válvula de retención

Tabla 18

Ponderación para selección del tipo de válvula de retención

<b>Valvula De Retención</b>	<b>Mantenibilidad</b>	<b>Operabilidad</b>	<b>Seguridad</b>	<b>Precio</b>	<b>Acoplamiento</b>	<b>Total:</b>
Válvula Solapa	6	9	9	8	10	8,226
Válvula Bisagra	8	10	9	8	10	9
Válvula De Tapón	10	10	9	9	10	9,710

Fuente: Elaboración propia

La válvula de retención del tipo tapón deja pasar más caudal de agua al no frenarlo cuando el sistema este en la fase de aliviar la sobrepresión.

#### 4.3.5.11. Uniones

Tabla 19

Ponderación para selección del tipo de unión

UNIONES	Mantenibilidad	Operabilidad	Seguridad	Precio	Acoplamiento	Total:
Soldar	3	10	10	5	3	5,871
Roscar	10	10	10	10	10	10
Pegar	5	10	8	10	7	7,935

Fuente: Elaboración propia

El mejor tipo de uniones que se podrían tener son las roscadas, ya que si se da el mal funcionamiento o falla de alguna parte del sistema se pueden remplazar fácilmente sin tener que cortar las tuberías y tan solo desenroscar y roscar la pieza nueva.

#### 4.3.5.12. Fuente de descarga

Tabla 20

Ponderación para selección de la Fuente de descarga

Fuente De Descarga	Mantenibilidad	Operabilidad	Seguridad	Precio	Acoplamiento	Total:
Cisterna Externa	10	10	10	5	10	9,032
Tinaco	6	10	10	5	9	7,806

Fuente: Elaboración propia

La fuente de descarga de tipo cisterna externa es muy completa ya que se utiliza muy a menudo, para almacenar el agua potable de la vivienda y para tener la presión necesaria para distribuir el agua a todos los sistemas hidráulicos del hogar. Además, que si se quiere cambiar de sistema la cisterna externa le seguirá funcionando para su fin.

#### 4.3.5.13. Como potabilizar el agua

Tabla 21

Ponderación para selección de como potabilizar del agua

Potabilización Del Agua	Mantenibilidad	Operabilidad	Seguridad	Precio	Acoplamiento	Total:
Osmosis Inversa	4	10	10	3	3	5,742
Filtros De Carbón Activado	9	10	10	8	9	9,161
Desinfección Ultravioleta	5	10	5	3	7	6,290
Filtro De Cerámica	9	7	9	10	6	8,097

Filtro De Agua Del Grifo	6	10	10	5	10	8
--------------------------	---	----	----	---	----	---

Fuente: Elaboración propia

El filtro de carbón activado resulta ser la mejor opción, por su fácil adaptabilidad con el sistema, además de ser el potabilizador de agua más utilizado. En su forma granular y con bloque de carbono actúa como un imán de impurezas, tantas partículas de oxido, cloro y metales duros sin destruir este medio filtrante.

### 4.3.6 Diseño morfológico final

Ya seleccionada cada una de las partes del sistema se hace un recuento de la selección de cada uno de los parámetros.

CONTROL DEL SISTEMA	FUENTE DE ALIMENTACIÓN	FUENTE DE AGUA NO BOMBEOADA	UBICACIÓN DEL FILTRO	RELACION DE DIAMETROS EN PULGADAS	MATERIAL DE LA TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN	MATERIAL DE LA TUBERÍA DE DESCARGA	MATERIAL DEL CUERPO DEL ARIETE HIDRÁULICO	VÁLVULA DE IMPULSO	VÁLVULA DE RETENCIÓN	UNIONES	FUENTE DE DESCARGA	COMO POTABILIZAR EL AGUA
por válvula en lado de la toma de alimentación	directo	nada	en el canal antes de llegar a la fuente de alimentación	1 1/2 a 2	tubería PVC	tubería PVC	cobre	sin peso	válvula tipo solapa	soldar	cisterna externa	osmosis inversa
por válvula a lado del cuerpo del ariete	cisterna externa	cisterna externa	en la toma de la tubería de alimentación	1 1/2 a 3/4	tubería galvanizada	manguera	acero galvanizado	con peso encima	válvula check de tapón	rosacar	tinaco	filtros de carbón activado
directo	tinaco	cisterna subterránea	en la salida de la fuente de descarga	1 1/2 a 1/2	manguera	tubería galvanizada	PVC	con peso debajo	válvula check tipo bisagra	pegar		desinfección ultravioleta
por control de nivel		tinaco tinaco + cisterna subterránea						con resorte				filtro de cerámica filtro de agua del grifo

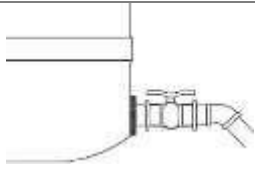
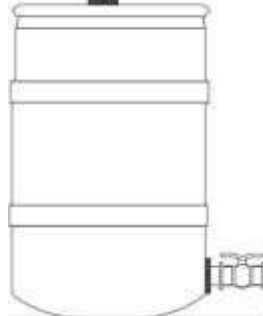
Figura 35 Diseño morfológico final

Fuente: Elaboración propia

Quedando así el diseño morfológico final:

Tabla 22

Diseño morfológico final

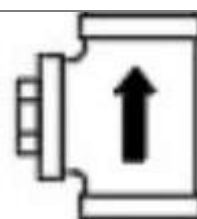
ITEM	FUNCIÓN	SOLUCIÓN
1	Control Del Sistema	<p>Por Válvula En Lado De La Toma De Alimentación</p> 
2	Fuente De Alimentación	<p>Cisterna Externa</p> 

3	Fuente De Agua No Bombeada	Cisterna De Concreto	
4	Ubicación Del Filtro	Antes De Llegar A La Fuente De Alimentación	
5	Relacion De Diametros En Pulgadas	1 1/2 A 3/4	
6	Material De La Tubería De Alimentación	Tubería PVC	
7	Material De La Tubería De Descarga	Manguera	
8	Material Del Cuerpo Del Ariete Hidráulico	Acero Galvanizado	

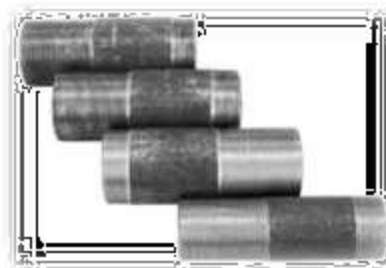
9 Válvula De Impulso Con Peso Encima



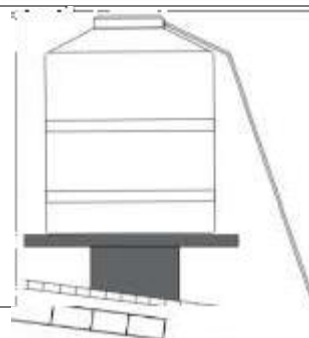
10 Válvula De Retención Válvula Check Tipo Bisagra



11 Uniones Roscar

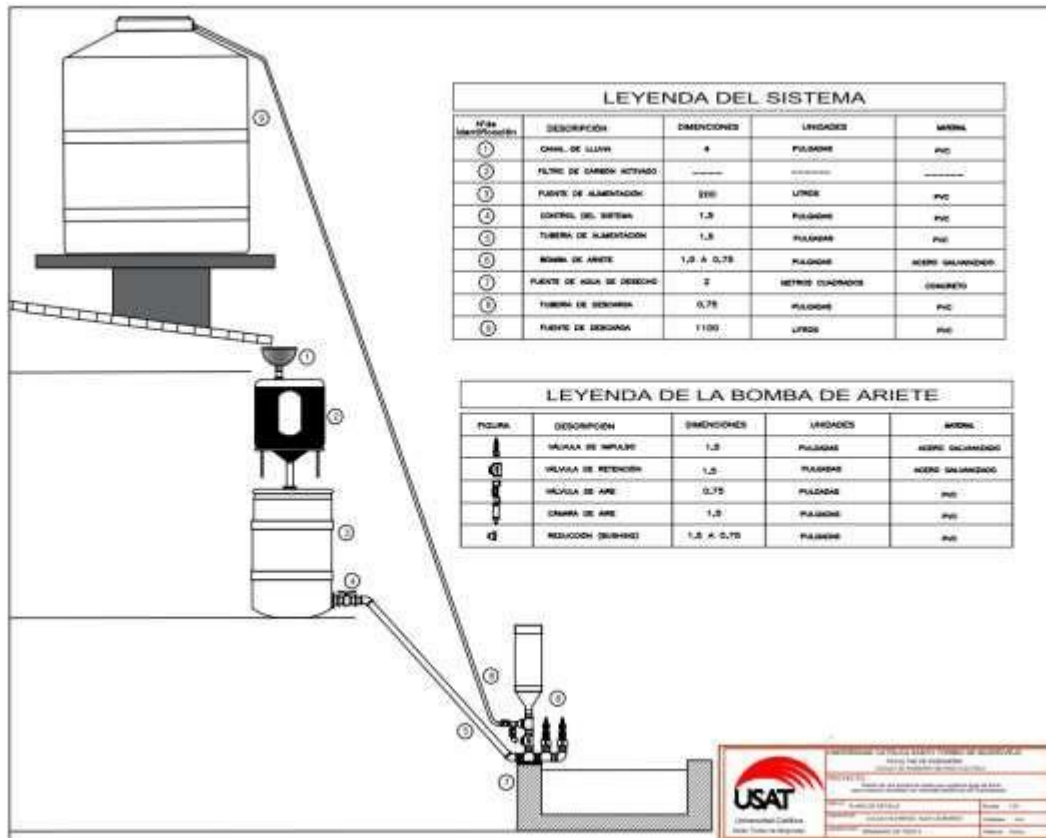


12 Fuente De Descarga Cisterna Externa



13 Como Potabilizar El Agua Filtros De Carbón Activado





Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 Hacer un Análisis estático de la resistencia de la estructura y modelar la estructura de la bomba de ariete en SolidWorks.

Con una idea clara, se transfirió el concepto al software SolidWorks, donde se realizó el modelado 3D. Se utilizó una muestra de los diseños de bombas de ariete existente como referencia de diseño para fortalecer aún más la idea del concepto ideal.

La siguiente sección muestra un modelo previo a la construcción.

##### 4.4.1 Estructura del cuerpo del ariete

La estructura de la bomba realizada en SolidWorks tiene los componentes básicos de la bomba de ariete, entre ellos se puede observar en la figura las 2 válvulas de impulso, la válvula de retención, la cámara de aire y sus respectivas uniones.

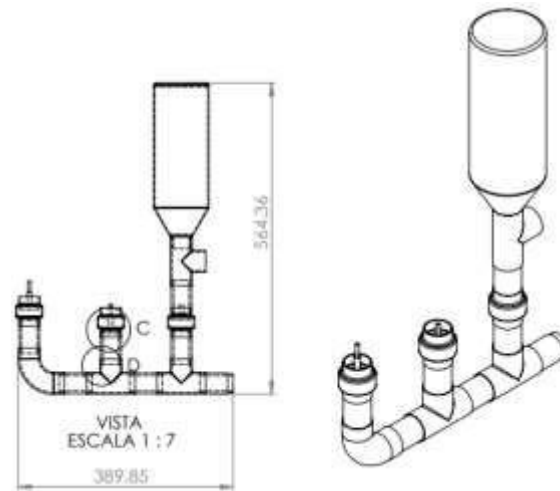


Figura 36 Estructura de la Bomba de Ariete modelada en SolidWorks

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.2 Seccionar la bomba para el análisis estático

Ya que es el cuerpo de la bomba de ariete la parte más importante del sistema, es la que recibe el fluido de la tubería de alimentación y utiliza la energía de sobrepresión del fluido al cerrar la válvula de impulsión, para elevar parte del fluido recibido, por lo cual la sobrepresión estará presente casi en su totalidad en el siguiente seccionamiento de la bomba. Se ejecuta el análisis estático estructural para validar el modelo utilizando la sobrepresión de 0.986Mpa calculada anteriormente.

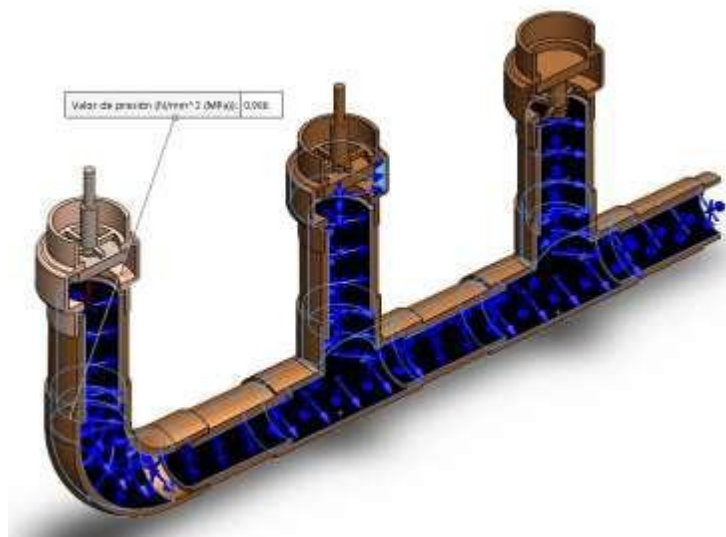


Figura 37 Ubicación de la presión para el análisis estático en SolidWorks

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.3 Esfuerzos de Von Mises

Según la teoría de fallo, las tensiones de Von Mises del diseño se tiene la siguiente distribución de esfuerzos en el cuerpo de la bomba de ariete.

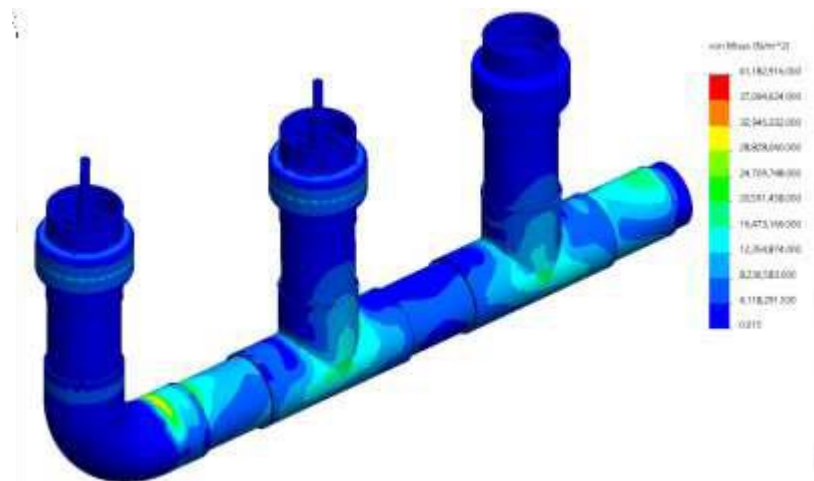


Figura 38 Resultado de los esfuerzos de Von Mises del análisis estático para la bomba de ariete

Fuente: Elaboración propia

El límite elástico del Acero es de 207.1GPa, Al tener como esfuerzo máximo de Von Mises máximo en color rojo a 41.2GPa la fluencia del cuerpo del ariete no es un problema.

#### 4.4.4 Desplazamientos

Los desplazamientos debidos a la sobrepresión son mínimos como se ve en la figura

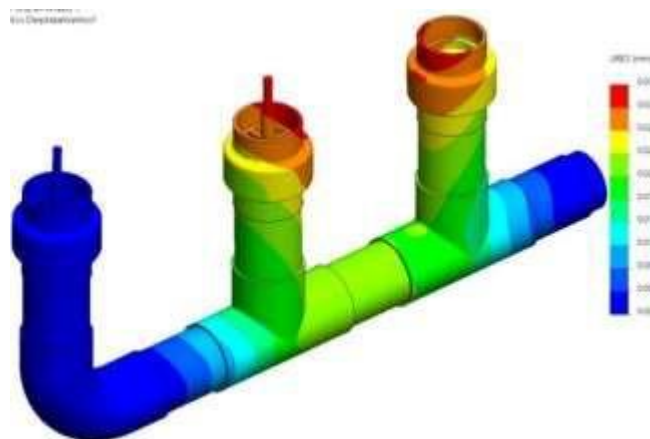


Figura 39 Resultado de desplazamientos del análisis estático para la bomba de ariete

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo un desplazamiento máximo de 0.036mm lo cual nos indica que no hay variaciones en la estructura cuando este fenómeno de golpe de ariete se presenta.

#### 4.4.5 Factor de seguridad

Como la relación entre la capacidad máxima calculada del sistema y la demanda real esperada a la que estará sujeto el sistema es menor. Este factor nos indicara la capacidad en exceso que tiene el sistema por sobre lo requerido.

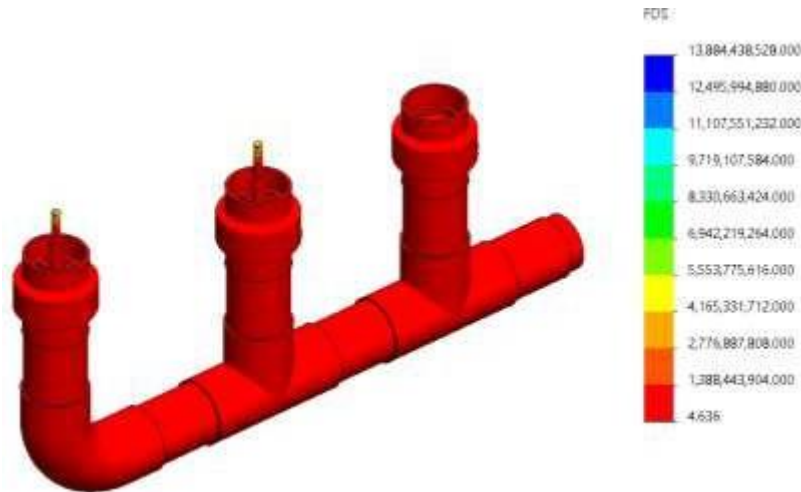


Figura 40 Resultado del factor de seguridad del análisis estático para la bomba de ariete

Fuente: Elaboración propia

Siendo el factor de seguridad de 4.636 nos indica que la bomba podría llegar a soportar hasta casi 5 veces la sobrepresión del golpe de ariete indicándonos que el diseño soportará y no tendrá alteraciones durante su funcionamiento.

#### 4.5 Ejecutar el diseño de la bomba de ariete.

Se ha diseñado y construido la bomba de ariete dimensionado en función del caudal, Altura de entrada y salida, entonces se comprueba los datos teóricos. Esto se obtienen a partir de los cálculos que se realizaron en los capítulos anteriores con datos derivados durante la operación del ariete, para garantizar un buen funcionamiento y larga vida útil.

##### 4.5.1 Montaje

Una vez construida la parte central del cuerpo, se comenzará a unir las demás piezas progresivamente hasta completar el siguiente esquema de armado de la bomba ariete hidráulico.



Figura 41 Montaje del cuerpo de la bomba de ariete

Fuente: Elaboración propia

Para simular el trabajo que este realizara y se tenga que ahorrar en la tubería de alimentación y los elementos que este ducto tiene, se utilizó una manguera de presión con las mismas medidas.



Figura 42 Montaje de la bomba de ariete con ducto de alimentación y descarga

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.5.2 Pruebas y resultados

La toma se hizo con la manguera de presión a 2 metros del nivel de la bomba



Figura 43 sistema de alimentación de la bomba de ariete

Fuente: Elaboración propia



Figura 44 bomba de ariete en funcionamiento

Fuente: Elaboración propia

Y la descarga a mayor altura fue de 8 metros



Figura 45 Prueba de funcionamiento de la bomba de ariete a una altura de descarga de 8 metros

Fuente: Elaboración propia

Por lo que se puede afirmar que las pruebas se hicieron con los mismos parámetros del diseño.

Para medir el caudal a diferentes alturas de trabajo se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = V/t$$

Donde el caudal se calcula dividiendo la cantidad de agua que sale del ducto de elevación a una altura establecida entre el tiempo que se tarda en conseguirlo.

Obteniendo:

Para el caudal de descarga:

Tabla 23

Mediciones de las pruebas para el caudal de descarga

Altura De Descarga (M)	Volumen (L)	Tiempo En (S)	Caudal Real (L/Min)
4	2,862	11	15,611
6	2,242	15	8,968
8	2,27	43,75	3,113

Fuente: Elaboración propia

Para el caudal de servicio:

Tabla 24

Mediciones de las pruebas para el caudal de servicio

Altura De Descarga (M)	Volumen (L)	Tiempo En (S)	Caudal Real (L/Min)
4	15	49,34	18,241
6	15	46,26	19,455
8	15	42,52	21,167

Fuente: Elaboración propia

Para el caso del caudal de servicio se puso medida de 15 litros al tanque de servicio y se midió el tiempo transcurrido hasta que se consumiera dicho volumen de agua.

#### 4.5.3 Comparación con los cálculos

Luego de realizar las pruebas de campo, se obtuvo una serie de resultados que se presentan en la tabla comparativa con los valores teóricos antes obtenidos.

A diferentes alturas

A los 4 metros de altura de trabajo:

Tabla 25

Comparación de los cálculos teóricos con resultados de las pruebas

Variable	Simbología	Valor Teórico	Valor Real	Unidades
Caudal De Suministro	$Q_s$	17,003	19,455	l/min
Caudal Elevado	$q$	7,226	8,968	l/min
Potencia	$P$	4,719	5,856	W
Peso De La Válvula De Impulsión	$W_{max}$	0,448	0,412	kg
Eficiencia Volumétrica	$n_v$	42,5%	46,1%	

Fuente: Elaboración propia

Para el caso del peso de la válvula de impulso se tomó como base el peso teórico, pero se encontró un mayor rendimiento con kg logrando golpes por minuto.

#### 4.5.4 Validación de los resultados experimental de prueba experimental con teoría

Tras hacer las pruebas se obtuvo el siguiente gráfico de altura de elevación vs caudal de descarga.

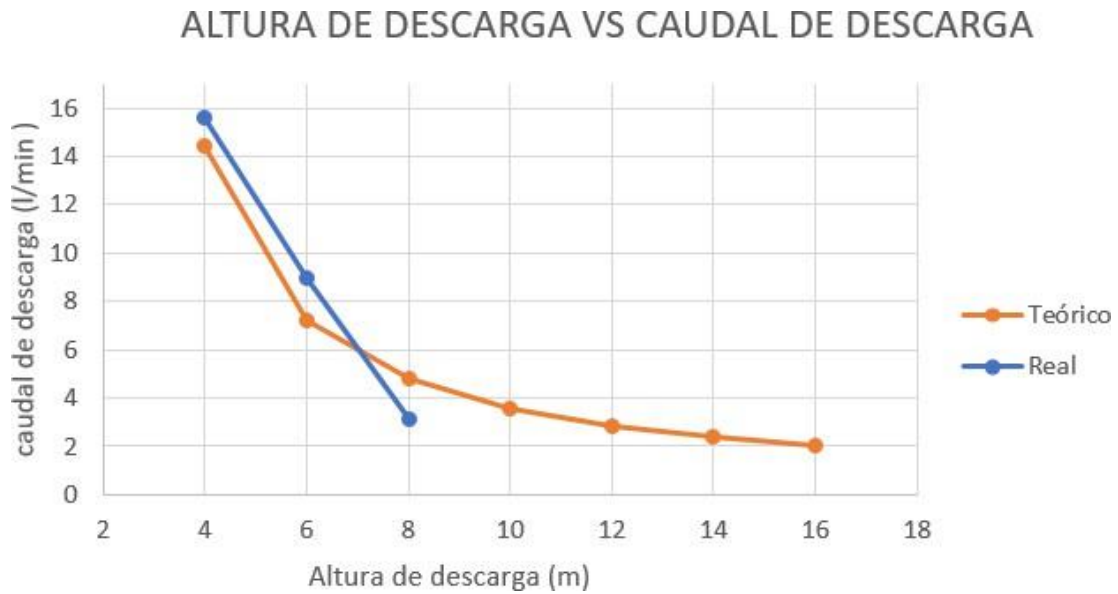


Figura 46 Caudal de descarga real y teórico a diferentes alturas de descarga

Fuente: Elaboración propia

Donde se logra ver que el caudal real es mayor al teórico a los 4 y 6 metros de elevación desde el nivel de la bomba de ariete, pero a 8 metros es de forma inversa esto podría ser porque la curva del comportamiento real se prolongue más abajo y se asemeje al teórico, para lo cual no se pudo elevar a más altura por falta de disponibilidad de altura.

Obteniendo el caudal de descarga y sabiendo también el caudal de servicio se obtiene la eficiencia volumétrica de tal forma podemos comparar esta eficiencia volumétrica teórica y real.

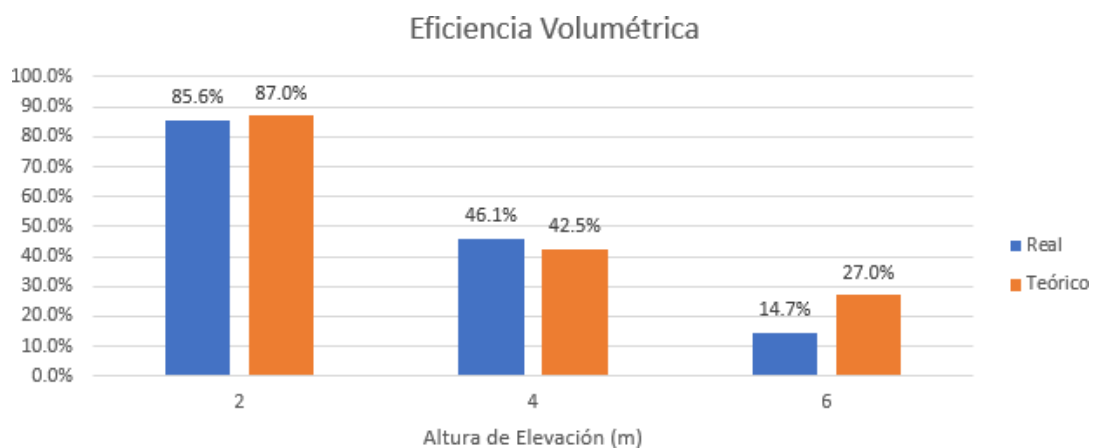


Figura 47 eficiencia volumétrica teórico y real a diferentes alturas de trabajo

Fuente: Elaboración propia

Viendo que la eficiencia volumétrica real es muy semejante a la teórica y a los 4 metros de altura de trabajo que es donde la bomba va trabajar la eficiencia volumétrica real es mayor a

la teórica y a los 6 metros es de forma inversa. Esto puede ser por las pérdidas de carga que genera la manguera por la gran altura y larga distancia. Además, la bomba se puede conformar de forma diferente porque a la bomba se tiene que calibrar su peso y cualquier cambio puede modificar la curva de rendimiento.

#### 4.6 Realizar la evaluación económica del proyecto.

Los costos que se involucran en la construcción del sistema de bomba de ariete para recolectar agua de lluvia, son los siguientes:

- Costo de elementos de la descarga.
- Costo de elementos en la sección de suministro.
- Costo de la bomba de ariete.
- Costo de los elementos para el agua de desecho.
- Costos de fabricación.

#### 4.7 Costo de elementos en la sección de suministro

Aquí se considera los costos de los materiales que son empleados para la parte del suministro de agua que va a la bomba de ariete, detallando cada uno a uno en la tabla n°26.

Tabla 26

Costos de elementos en la sección de suministro

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
tanque de 200 l PVC	1 unidades	S/ 80,00	S/ 80,00
filtro de carbón activado	1 unidades	S/ 300,00	S/ 300,00
Codo PVC 1/2"x 90° SP	1 unidades	S/ 2,00	S/ 2,00
tubo 1 1/2" PVC	2 m	S/ 5,80	S/ 11,60
acoplamiento de tanque 1 1/2 de PVC	1 unidades	S/ 75,18	S/ 75,18
válvula esférica de 1 1/2" PVC	1 unidades	S/ 34,50	S/ 34,50
codo de 45° de 1 1/2" Acero galvanizado	2 unidades	S/ 8,00	S/ 16,00
tubo 1 1/2" PVC	3 m	S/ 5,97	S/ 17,90
<b>TOTAL:</b>			<b>S/ 537,18</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7.1 Costo de la bomba de ariete

Los costos de las partes de la bomba de ariete se consideran en la siguiente tabla, donde se detallan uno a uno los componentes de la bomba.

Tabla 27

Costos de la bomba de ariete

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDADES	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Válvula de canastilla de 1 1/2" bronce	2	unidad	S/ 45,00	S/ 90,00
Válvula Check de 1 1/2" bronce	1	unidad	S/ 65,00	S/ 65,00
Niple de 1 1/2" Acero galvanizado	4	unidad	S/ 5,90	S/ 23,60
Niple de 1 1/2" Acero galvanizado	4	unidad	S/ 4,40	S/ 17,60
Tee de 1 1/2" Acero galvanizado	2	unidad	S/ 14,00	S/ 28,00
Tee de 1 1/2" PVC	1	unidad	S/ 5,50	S/ 5,50
Tee de 3/4" PVC	1	unidad	S/ 3,00	S/ 3,00
Codo de 90° de 1 1/2" Acero galvanizado	1	unidad	S/ 11,00	S/ 11,00
Válvula bola de 3/4" PVC	2	unidad	S/ 4,00	S/ 8,00
Niple de 3/4" PVC	2	unidad	S/ 1,80	S/ 3,60
Cámara de aire	1	unidad	S/ 10,00	S/ 10,00
Bushing de 1 1/2" x 3/4" PVC	1	unidad	S/ 4,50	S/ 4,50
Adaptador de manguera 3/4" PVC	1	unidad	S/ 5,00	S/ 5,00
<b>TOTAL:</b>				<b>S/ 274,80</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7.2 Costo de elementos de la descarga

Estos costos son de cada uno de los elementos de la descarga

Tabla 28

Costos de los elementos de la descarga

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Cisterna de 1100l	1	unidad	S/ 779,00	S/ 779,00
Manguera de 3/4" PVC	8	m	S/ 3,80	S/ 30,40
<b>TOTAL:</b>				<b>S/ 809,40</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7.3 Costo de los elementos para el agua de desecho

Para el agua de desecho ya se consideró la implementación de una cisterna de concreto, por ello en los costos de esta sección se considera el costo de cada elemento para el agua de desecho en la siguiente tabla.

Tabla 29

Costo de los elementos para el agua de desecho

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Total
Cemento	3	unidad	S/ 23,10	S/ 69,30
Piedra chancada	0,415	m <sup>3</sup>	S/ 6,00	S/ 2,49
Arena	0,415	m <sup>3</sup>	S/ 6,00	S/ 2,49
Madera de 30x30 cm <sup>2</sup>	1	unidad	S/ 10,00	S/ 10,00
Abrazaderas de 1 1/2"	2	unidad	S/ 2,00	S/ 4,00
Pernos	6	unidad	S/ 2,40	S/ 14,40
<b>TOTAL:</b>				<b>S/ 102,68</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7.4 Costos de fabricación

Los trabajos a realizar para la elaboración del sistema de bomba de ariete para la recolección de agua de lluvia son los que se describen en la tabla n<sup>o</sup>30.

Tabla 30

Trabajos a realizar

Descripción
Excavación
Construcción del tinaco
Plomería

Fuente: Elaboración propia

Así como también el costo del alquiler de las herramientas a utilizar está descrita en la tabla n<sup>o</sup>31.

Tabla 31

Herramientas utilizadas en la elaboración del sistema

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Productivo	Costo Total
taladro	HM	0,5	S/ 5,29	S/ 2,65
<b>TOTAL:</b>				<b>S/ 2,65</b>

Fuente: Elaboración propia

Como también los costos de la mano de obra que se empleó para la elaboración del sistema según CAPECO es la descrita en la tabla n<sup>o</sup>32.

Tabla 32

Mano de obra empleada para la elaboración del sistema

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Productivo	Costo Total
oficial	HH	6	S/ 20,62	S/ 123,72
peon	HH	6	S/ 18,65	S/ 111,90
plomero	HH	6	S/ 18,65	S/ 111,90
<b>TOTAL:</b>				<b>S/ 347,62</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7.5 Costo Total

Los costos totales del sistema de bomba de ariete que recolecta agua de lluvia para consumo doméstico en viviendas periféricas de Chachapoyas, vienen a ser la suma de todos los costos considerados anteriormente.

Tabla 33

Costo Total del sistema

DESCRIPCIÓN	COSTO
Costo de elementos de la descarga	S/ 809,40
Costo de elementos en la sección de suministro	S/ 537,18
Costo de elementos de la bomba de ariete	S/ 274,80
Costos de elementos para el agua de desecho	S/ 102,68
Costo de alquiler de herrmaientas	S/ 2,65
Costo de mano de obra	S/ 347,62
<b>TOTAL:</b>	<b>S/ 2074,33</b>

Fuente: Elaboración propia

Siendo el costo total del sistema 2074,33 soles.

#### 4.7.6 Evaluación económica

Se considera como costos de ahorro o ingresos del sistema por ahorro de compra de agua a la facturación media en la categoría domestica siendo de S/ 2.36 el metro cúbico esto según Sunass [27] .

Tabla 34

Ingresos por ahorro del sistema

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
agua recolectada al año	63,563 m3	S/ 2,36	S/ 150,01

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7.7 Comparación de costos de la bomba

Se considero 3 tipos de electrobombas de 0,5 HP que son las que comúnmente se utiliza para bombear el agua en las viviendas y una bomba de ariete de 1,5 pulgadas Hidro Axón.



Figura 48 Comparación económica de diferentes bombas hidráulicas

Fuente: Elaboración propia

Como se ve en la figura el costo de la bomba de ariete de la investigación es mucho menor a los costos de otro tipo de bombas, además que esta no tiene consumo eléctrico y es de fácil instalación, con bombas de su mismo tipo tiene un precio sumamente inferior.

## 5. CONCLUSIONES

- Las precipitaciones en la ciudad de Chachapoyas son de 778 mm según data del Senamhi y la vivienda a analizar es de 2 pisos con 3 habitantes ya que es lo más común en nuestro país según datos del censo del INEI, con promedio de área de vivienda de 86 m<sup>2</sup>, recolectando 63,563 m<sup>3</sup> de agua que representa el 116% de las necesidades aceptable de consumo anuales de una familia.
- Se cuantifico los principales factores que determinan el diseño de la bomba de ariete hidráulico, obteniendo que para una altura de elevación de 6 metros con altura de trabajo de 2 metros se eleva un caudal de 7,226 l/min el cual representa el 46,1% del caudal de suministro.
- Para el diseño del sistema hidráulico de bombas de ariete se empleó la matriz morfológica y matriz ponderada con 5 consideraciones las cuales son la mantenibilidad, operabilidad, seguridad, precio y acoplamiento al sistema. Seleccionando así el mejor diseño conceptual para este sistema y obteniendo sus mayores beneficios.
- Se modelo la estructura del cuerpo del ariete hidráulico en SolidWorks, a la cual se secciono la parte del cuerpo de ariete que soporta la sobrepresión generada por su ciclo de trabajo, tal sobrepresión tiene un valor de 0,986 MPa y se hizo un análisis estático en el cuerpo de la bomba, dando como resultado un esfuerzo máximo de Von Mises de 41,2 GPa siendo muy inferior al límite elástico del Acero que es de 207,1GPa, con desplazamientos menores a 0.036mm y un factor de seguridad de 4,636. Dando como resultado del análisis estático que la bomba de ariete soportara las sobrepresiones de su ciclo de trabajo.
- Se implemento el diseño de la bomba de ariete siguiendo un esquema de montaje que fue modelado en SolidWorks, luego se hicieron las pruebas a 3 diferentes alturas de elevación para comparar ciertos parámetros con los valores teóricos ya obtenidos, parámetros como el caudal de elevación, el caudal de servicio, la eficiencia volumétrica y la potencia de la bomba. Teniendo como resultado una diferencia muy pequeña entre los valores reales y teóricos.
- Se presupuestó el proyecto con los costos que se involucran la construcción del sistema de bomba de ariete resultando un precio de 2074,33 Soles. Realizada la evaluación económica el sistema no resulta ser rentable, sin embargo, la bomba de ariete resulta

tener un menor costo que otro tipo de bombas, además que presenta la ventaja de no tener consumo eléctrico.

- Utilizar este tipo de infraestructura verde en los diseños de espacios urbanos permite utilizar lo que la naturaleza nos aporta, aumentando la velocidad de infiltración y retención de agua. Solucionando el problema de la escasez de agua e inundaciones, dotando servicios a la población, al aprovechar el agua de la lluvia en lugar de desperdiciarla o contaminarla.

## 6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda buscar otros materiales para la bomba de ariete y así reducir los costos de la misma, también utilizar materiales que presenten menos pérdidas de fricción para mejorar el rendimiento de la bomba.
- Hacer un estudio específico de la válvula de impulso buscando maximizar el golpe de ariete para generar más presión y un mejor rendimiento.
- Se sugiere a la Universidad promover a crear este tipo de sistemas con un área de estudio para evaluar más a detalle el comportamiento de las variables hidráulicas.
- Investigar un control automático que remplace al control manual por llave de paso, que da inicio al ciclo de funcionamiento cuando la fuente de alimentación está llena y se cierre cuando esta llegue a su nivel más bajo.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ACNUR. Blog [Internet]. 2023 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de: <https://eacnur.org/es/blog#:~:text=Seg%C3%BAAn%20los%20datos%20del%20World,y%20el%20Norte%20de%20%C3%81frica.>
- [2] Redacción RPP. Consideran al Perú en un nivel medio alto de estrés de agua [Internet]. 13 de febrero de 2020 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de: <https://rpp.pe/peru/actualidad/consideran-al-peru-en-un-nivel-medio-alto-de-estres-de-agua-noticia-1245508>
- [3] Senamhi. Pronóstico del tiempo para CHACHAPOYAS (Amazonas) [Internet]. 2023 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle&dp=01&localidad=0012#:~:text=19%C2%B0C%20%2F%2011%C2%B0,con%20lluvia%20por%20la%20tarde.>
- [4] Cáceda Núñez J, Agustín Soriano J. Propuesta de infraestructura de ámbito provincial en Chachapoyas [tesis en Internet]. [Lima]: Universidad Privada del Norte; 2021 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de: <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/33720/Briones%20Chavez%2C%20David%20Miguel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [5] Eclecticomania. La bomba de ariete y Joseph Montgolfier [En línea]. 2010. Recuperado a partir de: [https://eclecticomania.net/2010/08/18/la-bomba-de-ariete-y-joseph-montgolfier/.](https://eclecticomania.net/2010/08/18/la-bomba-de-ariete-y-joseph-montgolfier/)
- [6] Condori Quispe MA, Mamani Mamani R. Diseño y construcción de una bomba de Ariete [tesis en Internet]. [Puno]: Universidad Nacional del Altiplano de Puno; 2021 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de: <https://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/15354>
- [7] Chero Lizana A. Diseño de un sistema de Bombeo [tesis en Internet]. [Lima]: Universidad de Piura; 2021 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3903>
- [8] Rengifo Hincapié S, Gallego Cadena J. Diseño y construcción de un sistema de ariete hidráulico para el aprovechamiento de aguas lluvias [tesis en Internet]. [Pereira]: Universidad Tecnológica de Pereira; 2016 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de: <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/983c95b9-eee0-45f2-a4ca-4341a436a08f/content>

- [9] Otí Isla P. Ariete Hidráulico Para Riego. Diseño, construcción y montaje [tesis en Internet]. [Cantabria]: Universidad de Cantabria; 2013 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de:  
<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/11460/395118.pdf?sequence>
- [10] Organización Mundial de la Salud. Agua para consumo humano [En línea]. 13 de septiembre de 2013 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de:  
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>.
- [11] Acitores Martínez F. Estudio teórico y experimental de la bomba de ariete [En línea]. 2012 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/14685>
- [12] Aquae. Fundación Aquae [En línea]. 2023 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de <https://www.fundacionaquae.org/como-utilizamos-el-agua-en-nuestras-casas/>.
- [13] MATAIX C. Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas [En línea]. [México]: Alfaomega; 1982 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de:  
<https://conver2.files.wordpress.com/2012/11/ingenieria-claudio-mataix-mecanica-de-fluidos-y-maquinas-hidraulicas1.pdf>
- [14] Pérez MA. Bomba de Ariete Hidráulico [En línea]. 2018 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de: <https://bombariete.blogspot.com/2018/12/historia-de-la-bomba-de-ariete.html>.
- [15] Spena Group. Aguas Residuales y medio ambiente. [En línea]. 2017 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de:  
<https://aguasresidualestratamiento.wordpress.com/como-hacer-una-bomba-de-ariete-casera-con-una-botella-de-plastico/>.
- [16] Mama Quispe R. Aplicación de la bomba de ariete hidráulico en la impulsión de recursos hídricos para riego en el departamento de Puno [tesis en Internet]. [Lima]: Universidad Nacional del Altiplano, 2015 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de:  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP\\_cc97d6617e1a0cd55ff6237d7b415a8b](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_cc97d6617e1a0cd55ff6237d7b415a8b)
- [17] Gutiérrez RA. Diseño Bomba de ariete. [Chile]: Viña del Mar; 2014.
- [18] JPC. Arietes Hidráulicos JCP [En línea]. 2016 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de: <https://sites.google.com/site/arieteshidraulicosjcp/tipos-de-arietes>.
- [19] Perú Check. En Chachapoyas, el servicio de agua potable no está disponible las 24 horas, como dijo Wilmer Durán [En línea]. 2023 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a

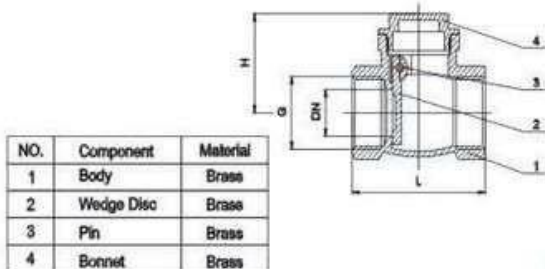
- partir de: <https://perucheck.pe/articles/verificadas/amazonas/2022/08/10/es-cierto-que-en-chachapoyas-el-servicio-de-agua-potable-no-esta-disponible-las-24-horas-como-dijo-wilmer-duran-de-jp-530>
- [20] UNE Centro. AutoCAD [En línea]. 2009 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de: <https://www.unecentro.com/PHP5/AutoCADClasico/Lecciones/Capitulo1/Capitulo1.htm>.
- [21] Instituto Nacional de Estadística e Informática. Perfil Sociodemográfico [En línea] 2017. [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1539/cap06.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/cap06.pdf).
- [22] Perú Construye. Promedio de tamaño de vivienda en Perú es mayor que en Chile y Colombia, según Capeco [En línea]. 2018 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de: [https://peruconstruye.net/2018/11/16/promedio-de-tamano-de-vivienda-en-peru-es-mayor-que-en-chile-y-colombia-segun-capeco/#:~:text=Colombia%2C%20seg%C3%BAAn%20Capeco-,Promedio%20de%20tama%C3%B1o%20de%20vivienda%20en%20Per%C3%BA%20e%20s%20mayor,Chile%20y%20Colombia%2C%20seg%C3%BAAn%20Capeco&text=El%20promedio%20de%20tama%C3%B1o%20de,Desarrollo%20\(ICD\)%20de%20Capeco](https://peruconstruye.net/2018/11/16/promedio-de-tamano-de-vivienda-en-peru-es-mayor-que-en-chile-y-colombia-segun-capeco/#:~:text=Colombia%2C%20seg%C3%BAAn%20Capeco-,Promedio%20de%20tama%C3%B1o%20de%20vivienda%20en%20Per%C3%BA%20e%20s%20mayor,Chile%20y%20Colombia%2C%20seg%C3%BAAn%20Capeco&text=El%20promedio%20de%20tama%C3%B1o%20de,Desarrollo%20(ICD)%20de%20Capeco).
- [23] Escobar Ingenieros. Diseño Hidráulico de Bomba de Ariete [En línea]. 2020 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de: <https://www.youtube.com/watch?v=WISEbPwW-Ac&t=892s>.
- [24] González M. Diagrama de Moody La Guía [En línea]. 23 de agosto de 2011 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de: <https://fisica.laguia2000.com/complementos-matematicos/diagrama-de-moody>.
- [25] Rivadeneira SX, Silva LF. Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico con el desarrollo de un software para su dimensionamiento [tesis en Internet]. [Quito]: Universidad Politécnica Salesiana; 2014 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5989>
- [26] HyperPhysics. Velocidades de Ondas [En línea]. 2021 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Sound/souspe2.html>.
- [27] Sunass. Preguntas frecuentes sobre el sistema de subsidios cruzados focalizados [En línea]. 2020 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de: [https://www.sunass.gob.pe/doc/normas%20legales/2017/re21\\_2017cd\\_qres2.pdf](https://www.sunass.gob.pe/doc/normas%20legales/2017/re21_2017cd_qres2.pdf).

- [28] Climate Data. Clima Chachapoyas (Perú) [En línea]. 2021 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/amazonas/chachapoyas-4066/>
- [29] Gobierno de México. ¿Sabes cuánta agua consumes? [En línea]. 2019 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de: <https://www.gob.mx/conanp/articulos/sabes-cuanta-agua-consumes#:~:text=De%20acuerdo%20a%20la%20Organizaci%C3%B3n,de%20consumo%20como%20de%20higiene.>
- [30] OXFAM. Entre 7 y 8 millones de peruanos no tienen acceso a agua potable [En línea]. 2019 [citado 1 de diciembre de 2023]. [https://peru.oxfam.org/qu%C3%A9-hacemos-ayuda-humanitaria/entre-7-y-8-millones-de-peruanos-no-tienen-acceso-agua-potable.](https://peru.oxfam.org/qu%C3%A9-hacemos-ayuda-humanitaria/entre-7-y-8-millones-de-peruanos-no-tienen-acceso-agua-potable)
- [31] Jiménez JM. Fabríquelo usted mismo: el ariete hidráulico [En línea]. 9 de octubre de 2005 [citado 1 de diciembre de 2023]. Recuperado a partir de: [https://news.soliclima.com/divulgacion/eficiencia-energetica/fabriquelo-usted-mismo-el-ariete-hidraulico.](https://news.soliclima.com/divulgacion/eficiencia-energetica/fabriquelo-usted-mismo-el-ariete-hidraulico)

8. ANEXOS

Anexo 1 catalogo válvulas

**CHECK VALVE SERIES**



NO.	Component	Material
1	Body	Brass
2	Wedge Disc	Brass
3	Pin	Brass
4	Bonnet	Brass

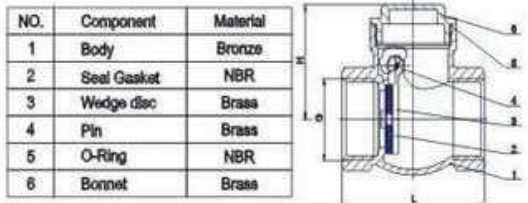


**RB-1143**

**BRASS SWING CHECK VALVE**

- 1.Nominal Pressure:1.6MPa
- 2.Working Temperature:-20°C ≤ t ≤100°C
- 3.Suitable Medium:Water & Non-Causticity Liquid & Saturated Steam
- 4.Thread:ISO228(DN15-DN50)ISO 07
- 5.Pressure Testing ISO5208

G	/mm			/g		FOB/CNF
	DN	L	H	APPROX. W	BOX/CTN	
1/2"	13	46	33	140	18/144	Price
3/4"	18	57	37	210	12/120	
1"	22.5	64	44	290	8/80	
1 1/4"	28	73	50	545	6/48	
1 1/2"	32	81.5	56	800	4/40	
2"	43.5	96.5	64	1135	2/20	



NO.	Component	Material
1	Body	Bronze
2	Seal Gasket	NBR
3	Wedge disc	Brass
4	Pin	Brass
5	O-Ring	NBR
6	Bonnet	Brass

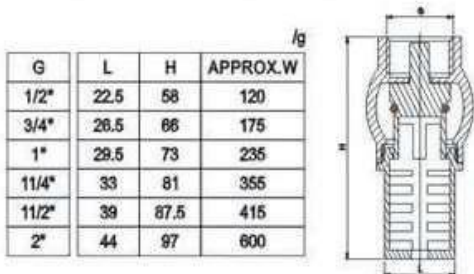


**RB-1145**

**BRONZE SWING CHECK VALVE**

- 1.Nominal Pressure:2MPa
- 2.Working Temperature:-20°C ≤ t ≤180°C
- 3.Suitable Medium:Water & Sea Water
- 4.Thread:ISO228/1:2000

G	/mm			/g		FOB/CNF
	L	H	APPROX. W	BOX/CTN		
1/2"	49	34.5	185	18/180	Price	
3/4"	58	38	275	12/120		
1"	68	47	420	8/80		
1 1/4"	76	50	650	6/48		
1 1/2"	88	60	950	4/40		
2"	103	65.5	1300	2/20		



G	L	H	APPROX.W
1/2"	22.5	58	120
3/4"	26.5	66	175
1"	29.5	73	235
1 1/4"	33	81	355
1 1/2"	39	87.5	415
2"	44	97	600

**RB-1146**  
**FOOT VALVE**



## Anexo 2 propiedades del agua

Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidad (kN/m <sup>2</sup> )	Viscosidad dinámica (N·s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s)	Tensión superficial (N/m)	Presión de vapor (kN/m <sup>2</sup> )
0	9,805	999,8	$1,98 \cdot 10^6$	$1,781 \cdot 10^{-3}$	$1,785 \cdot 10^{-6}$	0,0765	0,61
5	9,807	1000,0	$2,05 \cdot 10^6$	$1,518 \cdot 10^{-3}$	$1,519 \cdot 10^{-6}$	0,0749	0,87
10	9,804	999,7	$2,10 \cdot 10^6$	$1,307 \cdot 10^{-3}$	$1,306 \cdot 10^{-6}$	0,0742	1,23
15	9,798	999,1	$2,15 \cdot 10^6$	$1,139 \cdot 10^{-3}$	$1,139 \cdot 10^{-6}$	0,0735	1,70
20	9,789	998,2	$2,17 \cdot 10^6$	$1,102 \cdot 10^{-3}$	$1,003 \cdot 10^{-6}$	0,0728	2,34
25	9,777	997,0	$2,22 \cdot 10^6$	$0,890 \cdot 10^{-3}$	$0,893 \cdot 10^{-6}$	0,0720	3,17
30	9,764	995,7	$2,25 \cdot 10^6$	$0,708 \cdot 10^{-3}$	$0,800 \cdot 10^{-6}$	0,0712	4,24
40	9,730	992,2	$2,28 \cdot 10^6$	$0,653 \cdot 10^{-3}$	$0,658 \cdot 10^{-6}$	0,0696	7,38
50	9,689	988,0	$2,29 \cdot 10^6$	$0,547 \cdot 10^{-3}$	$0,553 \cdot 10^{-6}$	0,0679	12,33
60	9,642	983,2	$2,28 \cdot 10^6$	$0,466 \cdot 10^{-3}$	$0,474 \cdot 10^{-6}$	0,0662	19,92
70	9,589	977,8	$2,25 \cdot 10^6$	$0,404 \cdot 10^{-3}$	$0,413 \cdot 10^{-6}$	0,0644	31,16
80	9,530	971,8	$2,20 \cdot 10^6$	$0,354 \cdot 10^{-3}$	$0,364 \cdot 10^{-6}$	0,0626	47,34
90	9,466	965,3	$2,14 \cdot 10^6$	$0,315 \cdot 10^{-3}$	$0,326 \cdot 10^{-6}$	0,0608	70,10
100	9,399	958,4	$2,07 \cdot 10^6$	$0,282 \cdot 10^{-3}$	$0,294 \cdot 10^{-6}$	0,0589	101,33

## Anexo 3 rugosidad relativa

Material	$\epsilon$ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015
Fundición asfaltada	0,06- 0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01
Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024
Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015
Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024
Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024
Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003
Hormigón	0,3-3,0

## Anexo 4 longitudes equivalentes de singularidades en tubos

DIAMETRO INTERNO (m.m.)	CURVA 90° R-3D	CURVA 90° R-2D	CODO	TE	MANGUERA R-100	DIAFRAGMA ABIERTA	MANQUITO	MACHO PASO RECTO	TECH TAYLOR	
LONGITUD EQUIVALENTE EN m DE TUBO RECTO DE IGUAL RESISTENCIA AL FLUJO.										
25	0.52	0.70	0.82	1.77	0.30	2.56	—	0.37	—	
32	0.73	0.91	1.13	2.38	0.40	5.29	—	0.49	—	
40	0.85	1.10	1.31	2.74	0.49	3.44	1.19	0.58	—	
50	1.07	1.40	1.68	3.35	0.55	3.66	1.43	0.73	—	
65	1.28	1.65	1.98	4.27	0.70	4.60	1.52	0.85	—	
80	1.55	2.07	2.47	5.18	0.85	4.88	1.92	1.04	0.20	
90	1.83	2.44	2.90	5.79	1.01	—	—	1.22	—	
100	2.13	2.77	3.35	6.71	1.18	7.62	2.19	1.40	0.23	
115	2.41	3.05	3.66	7.32	1.28	—	—	1.58	—	
125	2.71	3.66	4.27	8.23	1.43	13.11	3.05	1.77	0.30	
150	3.35	4.27	4.88	10.06	1.55	18.29	3.11	2.13	0.37	
200	4.27	5.49	6.40	13.11	2.41	19.81	7.92	2.74	0.82	
250	5.18	6.71	7.92	17.07	2.99	21.34	10.67	3.47	0.61	
300	6.10	7.92	9.75	20.12	3.35	28.96	15.85	4.08	0.76	
350	7.01	9.45	10.97	23.16	4.27	26.96	—	4.88	0.91	
400	8.23	10.67	12.80	26.52	4.88	—	—	5.49	1.04	
450	9.14	12.19	14.02	30.48	5.49	—	—	6.22	1.16	
500	10.36	13.11	15.85	33.53	6.10	—	—	7.32	1.25	

NOTA: PARA CURVA 135° USAR VALOR CURVA 90° x 1.5

## Anexo 5 catálogo de tubo ISO65

<b>Tubo ISO65</b>					
DESIGNACIONES Y PESOS NOMINALES en Kg/m					
Designación Nominal (pulgadas)	Dimensión Exterior (mm)	Serie Liviana (L)		Serie Standard (S)	
		Espesor (mm)	Peso (kg/m)	Espesor (mm)	Peso (kg/m)
1/4	13.5	-	-	2.0	0.570
3/8	17.2	-	-	2.0	0.742
1/2	21.3	2.0	0.947	2.3	1.080
3/4	26.9	2.0	1.228	2.3	1.390
1	33.7	2.6	1.980	2.9	2.200
1 1/4	42.4	2.6	2.540	2.9	2.820
1 1/2	48.3	2.65	2.983	2.9	3.240
2	60.3	2.9	4.080	3.2	4.490
2 1/2	73.0	3.0	5.179	3.2	5.730
3	88.9	3.2	6.720	3.6	7.550
4	114.3	3.6	9.750	4.0	10.800
5	139.7				
6	165.1				



Anexo 6 proceso de diseño en ingeniería



Anexo 7 precio bomba Pedrollo PMK60 de 0.5 HP

**Bomba de Agua Periferica Pedrollo PKM60 0.5 HP**

★★★★★ 4.8 (12) [Escribir comentario](#) **Envío gratis**

Vendido por **Sodimac**

Tipo de entrega **S/ 374**

**Despacho a domicilio**  
Revisar disponibilidad

**Retiro en tienda**  
Selecciona una tienda

**Stock en tienda**  
Revisar

1 **Máximo 999 unidades**

### Anexo 8 precio bomba Truper de 0.5 HP



TRUPER  
Bomba Periferica para Agua 0.5 HP Truper

★★★★★ (0) [Escribir comentario](#) **Envío gratis**

Vendido por [Corporación Ferremax](#) ● S/ 269.89

Tipo de entrega

Despacho a domicilio  Retirar disponibilidad

1 Más

### Anexo 9 precio bomba Pedrollo CPM de 0.5 HP




Electrobomba Centrifuga Pedrollo CPM 0.5HP 600

PEDROLLO | 9861-11103


Regula S/ 619

1 Agregar

Anexo 10 precio bomba de ariete de 1,5 pulgadas



## DIMENSIONES



**Modelo UL1**  
 Tamaño 1.5"

# S/. 1,800<sup>00</sup>

PEN (Soles)

No Incluye el IGV.

Solicita Cotización

TAMAÑO	A (mm)	B (mm)	C (mm)	Peso (kg)
1.5 pulgadas	700	250	520	10
2 pulgadas	850	280	615	15
3 pulgadas	950	340	760	27
4 pulgadas	1150	420	950	45

Anexo 11 Planos bomba de ariete

