

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS:**

**"VARIACIÓN DE LA EFICIENCIA HIDRÁULICA EN BOMBAS DE ARIETE CON  
UNA, DOS Y TRES VÁLVULAS DE PIE – CAJAMARCA, 2023"**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

Bach. ALEXANDER MEJÍA ROJAS

**ASESOR:**

Dr. Ing. LUIS VÁSQUEZ RAMÍREZ

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2023**

## **CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD**

La que suscribe, Directora de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca certifica:

La originalidad de la tesis denominada **VARIACIÓN DE LA EFICIENCIA HIDRÁULICA EN BOMBAS DE ARIETE CON UNA, DOS Y TRES VÁLVULAS DE PIE – CAJAMARCA, 2023**, realizada por el Bachiller en Ingeniería Civil **Alexander Mejía Rojas** de acuerdo al resultado del análisis reportado por su asesor **Dr. Luis Vásquez Ramírez** con el software antiplagio Turnitin que identifica **16% (dieciséis por ciento)** de similitud, asignándole el código **oid:3117:300966657**.

Se expide el presente certificado para los fines pertinentes.

Cajamarca, 30 de diciembre del 2023

Documento firmado digitalmente

---

Dra. Yvonne Katherine Fernández León  
Directora Unidad de Investigación Facultad de Ingeniería



Firmado digitalmente por:  
FERNANDEZ LEON Yvonne  
Katherine FAU 20148258801 soft  
Motivo: Soy el autor del  
documento  
Fecha: 01/01/2024 23:11:29-0500

Cc.  
Archivo  
c16023am.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiarme siempre en cada momento de mi carrera y darme la fuerza para lograr mi objetivo de seguir aprendiendo a través de diferentes experiencias.

A mis padres, hermanos y abuelos por ser tan importantes en mi vida y ser siempre mi principal motivación.

A mi asesor Dr. Vásquez Ramírez Luis por su ayuda brindada en el desarrollo de esta tesis y a cada uno de mis jurados por su aporte a la mejora de la investigación.

## DEDICATORIA

A Dios por permitirme cumplir el sueño de concluir mi carrera.

A mis padres, hermanos y abuelos por su constante apoyo que me ha servido como soporte para seguir adelante apoyándome para ser de mí una mejor persona.

A mis compañeros, docentes, amigos y en general a todas aquellas personas han contribuido en esta investigación.

# CONTENIDO

	Pág.
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>iii</b>
<b>CONTENIDO</b> .....	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>x</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xii</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del problema .....	1
1.1.1. Contextualización.....	1
1.1.2. Descripción del problema .....	2
1.1.3. Formulación del problema .....	2
1.1.4. Hipótesis .....	2
1.2. Justificación de la investigación .....	2
1.2.1. Justificación científica .....	2
1.2.2. Justificación técnica – práctica .....	2
1.2.3. Justificación institucional y personal .....	3
1.3. Alcances o delimitación de la investigación .....	3
1.3.1. Alcances .....	3
1.3.2. Delimitación .....	3
1.4. Limitaciones .....	4
1.5. Objetivos .....	4
1.5.1. Objetivo General .....	4
1.5.2. Objetivos Específicos.....	4
1.6. Descripción de los contenidos de los capítulos.....	5
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>6</b>
2.1. Antecedentes teóricos .....	6
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	6
2.1.2. Antecedentes Nacionales .....	7
2.1.3. Antecedentes Locales.....	8

2.2. Bases teóricas .....	10
2.2.1. Sistema de bombeo .....	10
2.2.2. Bomba de ariete hidráulico .....	12
2.2.3. Funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico.....	15
2.2.4. Tipos de Bombas de Ariete Hidráulico.....	19
2.2.5. Componentes de un sistema de Bomba de Ariete Hidráulico.....	22
2.2.6. Bomba de Ariete Hidráulico Multipulsor .....	27
2.2.7. Eficiencia Hidráulica para una BAH .....	28
2.2.8. Factores hidráulicos en una BAH.....	29
2.2.9. Problemas frecuentes en el funcionamiento de la BAH.....	29
2.3. Definición de términos básicos .....	30
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>31</b>
3.1. Ubicación .....	31
3.2. Época de la investigación .....	32
3.3. tipo de investigación .....	32
3.4. Nivel de investigación .....	32
3.5. Diseño de investigación .....	32
3.6. Población de estudio.....	32
3.7. Muestra .....	32
3.8. Unidad de análisis.....	33
3.9. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	33
3.9.1. Técnicas .....	33
3.9.2. Instrumentos .....	34
3.10. Procedimiento .....	35
3.10.1. Nivelación Insitu para determinar cotas .....	35
3.10.2. Diseño de la BAH.....	35
3.10.3. Fabricación de la BAH modificable .....	44
3.10.4. Medición del caudal de suministro (Q) y caudal de entrega (q) .....	44
3.10.5. Caudal de suministro (Q) en relación con la altura de suministro (Hs) .....	45
3.10.6. Medición de la presión máxima generada en la cámara de aire de la bah con una, dos y tres válvulas de pie.....	45
3.10.7. Cálculo y promedio de la eficiencia hidráulica ( $n$ ) .....	45
3.10.8. Representación gráfica eficiencia hidráulica ( $n$ ) Vs. altura de suministro (Hs), con la altura de descarga (Hd) constante .....	45

3.10.9. Representación gráfica eficiencia hidráulica ( $n$ ) Vs. altura de descarga (Hd), con la altura de suministro (Hs) constante .....	46
3.10.10. Cálculo de la variación de la eficiencia hidráulica $n$ de la BAH con una, dos y tres válvulas de pie.....	46
3.10.11. Determinación de la correlación de la eficiencia hidráulica ( $n$ ) con los parámetros: caudal de suministro (Q), caudal de entrega (q), altura de suministro (Hs) y altura de descarga (Hd).....	46
3.11. Recolección y análisis de datos .....	47
3.11.1. Nivelación Insitu para determinar cotas .....	47
3.11.2. Medición del caudal de suministro (Q) y caudal de entrega (q) .....	48
3.11.3. Medición de la presión máxima generada en la cámara de aire de la BAH con una, dos y tres válvulas de pie .....	48
3.12. Presentación de los resultados .....	52
3.12.1. Caudal de suministro (Q) y caudal de entrega (q) promedio de la BAH con una, dos y tres válvulas de pie .....	52
3.12.2. Relación entre el caudal de suministro (Q) y la altura de suministro (Hs) para la BAH .....	53
3.12.3. Determinación de la presión máxima en la BAH con una, dos y tres válvulas de pie .....	54
3.12.4. Representación gráfica de la presión máxima generada en la BAH con una, dos y tres válvulas de pie.....	54
3.12.5. Cálculo y promedio de la eficiencia hidráulica ( $n$ ).....	56
3.12.6. Representación gráfica eficiencia hidráulica ( $n$ ) Vs altura de suministro (Hs), con la altura de descarga (Hd) constante .....	57
3.12.7. Representación gráfica eficiencia hidráulica ( $n$ ) Vs. altura de descarga (Hd), con la altura de suministro (Hs) constante .....	59
3.12.8. Cálculo de la variación de la eficiencia hidráulica $n$ en relación al incremento del número de válvulas de pie.....	61
3.12.9. Determinación de la correlación de la eficiencia hidráulica ( $n$ ) con los parámetros: caudal de suministro (Q), caudal de entrega (q), altura de suministro (Hs) y altura de descarga (Hd).....	61
<b>CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>64</b>

4.1. Relación entre el caudal de suministro (Q) y la altura de suministro (Hs) de la BAH .....	64
4.2. Presión máxima generada en la cámara de aire de la BAH .....	64
4.3. Variación de la eficiencia hidráulica (n) variando la altura de suministro (Hs) y manteniendo constante la altura de descarga (Hd) .....	64
4.4. variación de la eficiencia hidráulica (n) variando la altura de descarga (hd) y manteniendo constante la altura de suministro (hs).....	65
4.5. Variación de la eficiencia hidráulica de la BAH en relación al incremento del número de válvulas de pie .....	65
4.6. Determinación de la correlación de la eficiencia hidráulica ( <i>n</i> ) con los parámetros: caudal de suministro (Q), caudal de entrega (q), altura de suministro (Hs) y altura de descarga (Hd).....	66
4.7. Contrastación de la hipótesis .....	66
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>67</b>
5.1. Conclusiones .....	67
5.2. Recomendaciones .....	68
<b>CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>69</b>
<b>CAPÍTULO VII. ANEXOS .....</b>	<b>72</b>
ANEXO A. Datos de la nivelación obtenidas en campo .....	72
ANEXO B. Medición del caudal de suministro y caudal de entrega.....	77
ANEXO C. Materiales utilizados en la construcción de la BAH .....	104
ANEXO D. Panel fotográfico .....	108
ANEXO E. Certificados de calibración .....	114
ANEXO F. Planos .....	117

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla N° 1. Hs y Hd obtenidas de las nivelaciones.....	47
Tabla N° 2. Lectura del manómetro en la BAH con una válvula de pie.....	49
Tabla N° 3. Lectura del manómetro en la BAH con dos válvulas de pie.....	49
Tabla N° 4. Lectura del manómetro en la BAH con tres válvulas de pie.....	49
Tabla N° 5. Lectura del manómetro en la BAH con una válvula de pie.....	50
Tabla N° 6. Lectura del manómetro en la BAH con dos válvulas de pie.....	50
Tabla N° 7. Lectura del manómetro en la BAH con tres válvulas de pie.....	50
Tabla N° 8. Lectura del manómetro en la BAH con una válvula de pie.....	51
Tabla N° 9. Lectura del manómetro en la BAH con dos válvulas de pie.....	51
Tabla N° 10. Lectura del manómetro en la BAH con tres válvulas de pie.....	51
Tabla N° 11. Caudal de suministro promedio (Q).....	52
Tabla N° 12. Caudal de entrega promedio (q).....	52
Tabla N° 13. Q prom según la Hs para las BAH con una, dos y tres válvulas de pie .....	53
Tabla N° 14. Presión máxima para la BAH con una, dos y tres válvulas de pie.....	54
Tabla N° 15. Cálculo de la eficiencia hidráulica ( $n$ ).....	56
Tabla N° 16. Eficiencia Hidráulica promedio ( $n$ ) para las BAH.....	57

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Pág.</b>
Gráfico N° 1. Caudal de suministro (Q) Vs. Altura de suministro (Hs) .....	53
Gráfico N° 2. Presión máx. Vs. N° de válvulas de pie de la BAH (E1, E2 y E3).....	55
Gráfico N° 3. Presión máx. Vs. N° de válvulas de pie de la BAH (E4, E5 y E6).....	55
Gráfico N° 4. Presión máx. Vs. N° de válvulas de pie de la BAH (E7, E8 y E9).....	55
Gráfico N° 5. Eficiencia hidráulica promedio ( $\eta$ ) para las BAH .....	57
Gráfico N° 6. Altura de descarga constante (Hd= 6.50 m) .....	58
Gráfico N° 7. Altura de descarga constante (Hd= 5.71 m) .....	58
Gráfico N° 8. Altura de descarga constante (Hd= 4.93 m) .....	59
Gráfico N° 9. Altura de suministro constante (Hs= 1.49 m) .....	59
Gráfico N° 10. Altura de suministro constante (Hs= 1.69 m).....	60
Gráfico N° 11. Altura de suministro constante (Hs= 2.21 m).....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura N° 1. Ejemplos de un sistema de bombeo de agua .....	10
Figura N° 2. Altura de elevación de una bomba.....	11
Figura N° 3. Golpe de ariete Hidráulico.....	13
Figura N° 4. Presión del fluido en el golpe de ariete hidráulico .....	14
Figura N° 5. Fenómeno del golpe de ariete en un sistema de bombeo .....	15
Figura N° 6. Esquema típico de la instalación de una bomba de ariete .....	16
Figura N° 7. Efecto del golpe de ariete en una tubería .....	17
Figura N° 8. Principios de funcionamiento de la bomba de ariete.....	18
Figura N° 9. Bomba de ariete hidráulico con cámara de aire .....	19
Figura N° 10. Bomba de ariete hidráulico con vaso de expansión .....	21
Figura N° 11. Bomba de Ariete Hidráulico sin cámara de aire .....	22
Figura N° 12. Altura de trabajo.....	24
Figura N° 13. Tipos de ariete con resorte y pesas encima.....	25
Figura N° 14. Válvulas antiretorno .....	26
Figura N° 15. Prototipo del ariete Multipulsor "Jan Heamhouts" .....	27
Figura N° 16. Esquema típico de bomba multipulsor .....	28
Figura N° 17. Vista Satelital del río Mashcon – Ubicación de los ensayos.....	31
Figura N° 18. Esquemización de (Hs) y (Hd) de la BAH .....	47

## RESUMEN

En la presente investigación se estudió uno de los sistemas de bombeo más rentables y propicios para zonas rurales donde no se cuenta con energía eléctrica o los medios para adquirir una motobomba, se trata de la bomba de ariete hidráulico (BAH). En esta tesis se buscó determinar la variación de la eficiencia hidráulica de una BAH basándose en el incremento del número de válvulas de pie en serie. Para realizar este estudio se partió del diseño hidráulico de la BAH con la finalidad de conocer sus características, como las dimensiones de la cámara de aire, diámetro y longitud de las tuberías. Ya realizado el diseño de la BAH, se fabricó el modelo físico para finalmente recolectar los datos mediante los diferentes ensayos, donde se ha considerado 09 escenarios agrupados de tres en tres según la altura de suministro ( $H_s$ ), los cuales nos han servido para hallar los diferentes valores de los parámetros requeridos para el cálculo de la variación de la eficiencia hidráulica ( $n$ ). Llegando a tener, que la eficiencia hidráulica crece favorablemente al incrementar el número de válvulas de pie; la variación de la eficiencia hidráulica, entre la BAH de una y dos válvulas de pie es 41.25%, entre las BAH de dos y tres válvulas de pie es 15.70% y entre las BAH de una y tres válvulas de pie es 63.43%, analizando en relación a otros parámetros, se tiene que la eficiencia hidráulica es directamente proporcional a la altura de suministro ( $H_s$ ); mientras que, es inversamente proporcional a la altura de descarga ( $H_d$ ). Llegando a obtener 5.94% como la mayor eficiencia hidráulica ( $n$ ) que alcanzó la BAH con tres válvulas de pie en serie. En cuanto a las presiones máximas alcanzadas por la BAH, estas también varían favorablemente al incrementar el número de válvulas de pie.

**Palabras claves:** Eficiencia hidráulica, válvulas de pie, bomba de ariete hidráulico, caudal y presión.

## ABSTRACT

In this research, one of the most profitable and favorable pumping systems for rural areas where there is no electricity or means to acquire a motor pump was studied, it is the hydraulic ram pump (BAH). In this thesis we seek to determine the variation in the hydraulic efficiency of a BAH as a function of the increase in the number of foot valves in series. To carry out this study, we started from the hydraulic design of the BAH in order to know its characteristics, such as the dimensions of the air chamber, diameter and length of the pipes. Once the design of the BAH was completed, the physical model was manufactured to finally collect the data through the different tests, where 09 scenarios grouped three by three according to the supply height ( $H_s$ ) have been considered, which have helped to find the different values of the parameters required for the calculation of the variation of hydraulic efficiency ( $\eta$ ). We conclude that hydraulic efficiency increases favorably by increasing the number of foot valves; The variation of hydraulic efficiency between the BAH of one and two foot valves is 41.25%, between the BAH of two and three foot valves is 15.70% and between the BAH of one and three foot valves is 63.43%, analyzing in relation to other parameters, the hydraulic efficiency is directly proportional to the supply height ( $H_s$ ); while, it is inversely proportional to the discharge height ( $H_d$ ). Obtaining 5.94% as the highest hydraulic efficiency ( $\eta$ ) achieved by the BAH with three foot valves in series. Regarding the maximum pressures reached by the BAH, these also vary favorably as the number of foot valves increases.

**Keywords:** Hydraulic efficiency, foot valves, hydraulic ram pump, flow and pressure.

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1.1. Contextualización**

Según la Organización "Acción contra el hambre" en su publicación titulada: ¿Cómo resolver la escasez de agua? Medidas para el futuro, hace referencia que más del 70% de nuestro planeta está cubierto de agua. Sin embargo, es un recurso limitado, especialmente en los países subdesarrollados. Para hacernos una idea de la cantidad de agua que tenemos disponible los seres vivos, el 3% es agua dulce y apenas el 1% está disponible para beber y cultivar los alimentos. Por ello, el sexto objetivo de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) es garantizar la disponibilidad y el manejo sostenible del agua para todos los habitantes de este inmenso planeta.

Sumando un ejemplo de desarrollo sostenible, Hadzich (2021) propone el uso de estas famosas bombas de ariete hidráulico (BAH), la cual cuenta con tecnología ecológica, sencilla y eficiente para cumplir la demanda para la cual fue diseñada. Estas bombas aprovechan la energía cinética producido por el golpe de ariete del agua e impulsa parte del líquido a una cota superior en un punto de descarga, siendo de funcionamiento automático y continuo.

Para que la BAH funcione sin ningún tipo de combustible, esta aprovecha la energía cinética del agua que cae a gran velocidad y choca con las válvulas de impulsión, estas generan un caudal de desperdicio, definido como la cantidad de agua perdida al impulsar el agua mediante la bomba de ariete. (Malca y Quiroz, 2016)

### **1.1.2. Descripción del problema**

Siendo Cajamarca una zona de topografía accidentada y teniendo las características idóneas para el uso de las bombas de ariete hidráulico (BAH) no son muy usadas por la población, ya que no hay prototipos de estas en el mercado o es difícil conseguirlas; por lo que utilizan más las electrobombas o motobombas, afectando al medio ambiente. Es por esto, que se desarrollará esta investigación con la finalidad de aportar un prototipo eficiente de la bomba de ariete hidráulico al alcance cualquier ciudadano.

### **1.1.3. Formulación del problema**

¿Cuál es la variación de la eficiencia hidráulica al incrementar una, dos y tres válvulas de pie en una bomba de ariete hidráulico (BAH)?

### **1.1.4. Hipótesis**

La variación de la eficiencia hidráulica es favorable al incrementar válvulas de pie en una bomba de ariete hidráulico (BAH).

## **1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1. Justificación científica**

Esta investigación aportará conocimientos sobre las bombas de ariete hidráulico (BAH) desde su diseño hidráulico, hasta consideraciones para su instalación. Además de los tres prototipos propuestos que consta de una, dos y tres válvulas de pie en serie, se determinará cuál tiene la mayor eficiencia hidráulica.

### **1.2.2. Justificación técnica – práctica**

Siendo el Perú un país donde el recurso hídrico es abundante y la geografía de los ríos en su cauce inicial es accidentado lo cual favorece el uso de las BAH donde se utiliza el principio del golpe de ariete, otro factor, no menos importante es que en muchas zonas rurales no hay energía eléctrica ante lo cual se les hace imposible

utilizar bombas eléctricas y al ser estas zonas alejadas y de escasos recursos económicos hace poco probable usar motobombas. Estas son algunas de las principales razones por la cual requerimos vías alternas que permitan satisfacer la actual demanda de agua

### **1.2.3. Justificación institucional y personal**

Con este estudio se aportará información actualizada, la cual servirá como base para futuras investigaciones. Personalmente realicé esta investigación con la finalidad de entender mejor el funcionamiento de este tipo de bombas, para ayudar a las zonas de bajos recursos económicos y aportar con el cuidado del medio ambiente.

## **1.3. ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1. Alcances**

- Se diseñó y fabricó una BAH modificable en la cual se podrá variar el número de válvulas de pie en serie a una, dos y tres en el mismo sistema.
- Se determinó la variación de la eficiencia hidráulica para cada modelo de BAH planteado en este estudio.
- Se determinó la presión máxima alcanzada de la BAH con una, dos y tres válvulas de pie.
- Se realizó los planos en AutoCad de los prototipos.

### **1.3.2. Delimitación**

- Esta investigación solo se centró en determinar la variación de la eficiencia hidráulica al incrementar una, dos y tres válvulas de pie en serie en una BAH.
- La altura de suministro ( $H_s$ ) de la BAH será variable y la altura de descarga ( $H_d$ ) será constante, así mismo será variable la altura de descarga ( $H_d$ ) manteniendo constante la altura de suministro ( $H_s$ ). Donde se tuvo 03  $H_d$  y 03

Hs diferentes. Dando así 09 escenarios posibles para el desarrollo de esta investigación.

#### **1.4. LIMITACIONES**

- Para realizar los ensayos no se cuenta con un espacio idóneo, por lo que se recurrirá a un río aledaño a la ciudad de Cajamarca.
- La BAH modificable para agregar válvulas de pie no hay en el mercado por lo que el tesista la fabricó.

#### **1.5. OBJETIVOS**

##### **1.5.1. Objetivo General**

- Determinar la variación de la eficiencia hidráulica ( $n$ ) al incrementar una, dos y tres válvulas de pie en una bomba de ariete hidráulico (BAH).

##### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Diseñar el modelo físico de la bomba de ariete hidráulico modificable (BAH).
- Determinar la relación entre el caudal de suministro ( $Q$ ) y la altura de suministro ( $H_s$ ) de la BAH con una, dos y tres válvulas de pie.
- Determinar la presión máxima generada en la cámara de aire de la BAH con una, dos y tres válvulas de pie.
- Determinar la variación de la eficiencia hidráulica con respecto a la altura de suministro ( $H_s$ ) y la altura de descarga ( $H_d$ ) de la BAH con una dos y tres válvulas de pie.
- Determinar la correlación de la eficiencia hidráulica ( $n$ ) con los parámetros: caudal de suministro ( $Q$ ), caudal de entrega ( $q$ ), altura de suministro ( $H_s$ ) y altura de descarga ( $H_d$ ).

## 1.6. DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS DE LOS CAPÍTULOS

- **CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.** En este capítulo se presenta el planteamiento y formulación del problema, dando origen a la hipótesis que trae consigo esta investigación. Se fundamenta las justificaciones, describe los alcances, delimitaciones y limitaciones que se han percibido en el camino; y finalmente, se da a conocer los objetivos de esta investigación.
- **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.** Se hace referencia de los antecedentes teóricos, tanto internacionales, nacionales y locales. Se presenta una síntesis de las bases teóricas y definición de términos básicos referentes a los temas tratados en esta investigación.
- **CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.** Se presenta las herramientas, instrumentos y/o materiales que fueron utilizados para las diferentes actividades, ensayos; además se describe la metodología utilizada para la construcción e implementación de las válvulas de pie en una BAH.
- **CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.** En este capítulo se explica el procesamiento realizado en esta investigación, para proceder a la discusión de los datos obtenidos, así mismo se presenta e interpreta los datos obtenidos en campo.
- **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.** Finalmente, en este capítulo se expone las conclusiones y recomendaciones obtenidas como resultado final de la investigación.
- **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**
- **ANEXOS.** Se presenta información complementaria, como el panel fotográfico, los planos de la BAH, certificados de calibración de equipos y fichas de campo.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

#### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

- **Bedón y Navas (2021)**, en su proyecto de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi (Lacutanga – Ecuador), tiene como objetivo principal generar cambios en las válvulas de muelle acopladas en la bomba de ariete hidráulico multipulsor bóxer a partir de su bajo rendimiento volumétrico, hidráulico y mecánico; haciendo énfasis en las válvulas de impulsión. Para su diseño se utilizó el Software ANSYS y el dimensionamiento de válvulas tipo check modificadas con un sistema de apertura ajustable de manera que cumpla los parámetros en estudio. Obteniendo como resultado, la mejora de la velocidad máxima de cierre y apertura de la válvula de check, llegando a 700mm/s en ciclos de 0.2 segundos, lo cual genera una diferencia en su rendimiento entre las válvulas tipo muelle utilizadas en un sistema multipulsor bóxer (11.86) con una válvula tipo check (12.8) de 0.94, siendo los resultados favorables para esta investigación.
- **Ramírez y González (2019)**, presenta la instalación y diseño de una bomba de ariete hidráulico para abastecer correctamente el sistema de riego en un área definida para una finca agrícola en el Municipio de Bituima (Colombia). Esta investigación plantea modificar la válvula de pie, la cual es encargada de generar el golpe de ariete y la efectividad de su funcionamiento, se decide ajustar al resorte y la carrera a los cálculos diseñados y obtenidos en campo. Presentando una mejora en la eficiencia del sistema de 14.14% que es el valor calculado al 24.97% que es el obtenido tras implementar este sistema. Llegando a la conclusión que la constante del resorte no afecta directamente la sobrepresión,

como si lo hace la carrera; la cual afecta sobre el funcionamiento del pulsador; una baja constante no abre la válvula, mientras que, un alta no permite el cierre.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

- **Velasquez y Quintana (2022)**, plantea el diseño de un sistema de riego aplicando el sistema de bombeo al margen derecho del rio Lircay – Angaraes. El sistema planteado es con materiales muy accesibles, y sobre todo aprovechando el fenómeno del golpe de ariete para aprovechar su energía, además se utiliza varios accesorios y válvulas calibradas diseñadas para un caudal de llegada de 35.475 l/min, aprovechando un salto de 4.95m y logrando elevar el caudal de 9.96 l/min a una altura de 8.25m con una carrera para la válvula de impulso de 14 mm con 75 golpes/min, generando un rendimiento volumétrico de 48.11%. Finalmente, recomiendan que para lograr una altura superior a los 50 m es necesario utilizar una bomba de ariete multipulsor, la cual consta de tres válvulas de impulso que la da mayor fuerza a la bomba.
- **Chero (2018)**, en su tesis de pregrado busca implementar el sistema de bombeo para abastecer de agua al caserío de Feical (Piura) y así poder generar producción en el sector agropecuario. El sistema de bombeo mediante ariete hidráulico es un medio que imparte tecnología, eficiencia y sobre todo contribuye con el medio ambiente, el cual consta en bombear el agua que es captada de la quebrada Moras para poder ser almacenada en un reservorio en un punto más alto. Para cumplir con el caudal requerido se creyó conveniente implementar el uso de tres válvulas de impulso que se encarguen de producir el cierre brusco y generar la sobrepresión existente en el cuerpo de ariete. Determinándose finalmente que, al incrementar el peso en las válvulas de

impulso, el caudal de descarga aumenta, esto se da al incrementar el peso también aumenta la velocidad del agua en la tubería de impulso necesaria para cerrar la válvula, lo que lleva finalmente a que la velocidad del agua en la tubería de descarga aumente, y por ende el caudal de descarga también.

- Para **Arapa (2016)**, en su artículo de investigación publicado por la revista Anales Científicos (Lima – Perú), tiene como objetivo evaluar el rendimiento del ariete hidráulico BAH 1.1/2, utilizando tubería PVC de alimentación de 1.1/2" de diámetro, tubería de descarga de GF de 21 mm (1/2"), 1500 gramos de peso en el resorte del vástago de la válvula de cierre y variando las longitudes de 1.0, 2.0 y 3.0 m, además de variar la luz de la carrera de cierre en 3, 6 y 9 mm. Este sistema fue abastecido por una electrobomba de 0.85 HP (0.60 kW) de 10 – 80 l/min de caudal. Llegando finalmente a la conclusión que la bomba de ariete BAH 1.1/2 presenta una mayor eficiencia con la tubería de 3m de longitud y con carreras de la válvula de impulsión de 9 mm, con lo cual logra alcanzar alturas de bombeo de 10, 20, 25 y 30 m con eficiencia 64.16%, 60.34%, y 59.11% con caudales bombeados de 1.26, 0.99 y 0.80 l/min, trabajando dentro de los rangos de 33% al 66% de eficiencia recomendado por los fabricantes.

### **2.1.3. Antecedentes Locales**

- **Arangurí (2018)**, en su trabajo de investigación busca determinar la efectividad de un sistema de bombeo con ariete hidráulico cumpliendo parámetros y condiciones propios del caserío de Suro Antivo, (Tumbadén - Cajamarca). En primer lugar, se recopiló información directa de campo, además de medir los diferentes parámetros hidráulicos para proceder al diseño de la bomba con

ariete hidráulico. Para cumplir los parámetros de diseño y operación del sistema y abastecer correctamente con la demanda de agua, se ha requerido 02 bombas de ariete conectadas en paralelo para incrementar el caudal con un cuerpo de bomba de 1", altura de alimentación  $H=1.75\text{m}$ , altura de descarga  $h=5\text{m}$ , caudal de alimentación  $Q=62.25\text{ l/min}$  y el caudal de descarga de  $q=4.45\text{ l/min}$ , el cual proporciona en total  $8.9\text{ l/min}$ . Finalmente, obteniéndose los siguientes resultados: una eficiencia total del sistema de  $55.23\%$ , teniendo también la aceptación de los pobladores por la rentabilidad tanto en costos de operación y mantenimiento.

- **Malca y Quiroz (2016)**, en su investigación logró determinar y comparar la eficiencia de un sistema de suministro de agua por impulsión utilizando una bomba de ariete hidráulico de dos pulgadas de diámetro, con accesorios de fierro galvanizado, planteándose dos escenarios para la respectiva comparación y evaluación, el primero trabajando con dos válvulas en serie, mientras que en el segundo escenario se trabajaría igualmente con dos válvulas, pero ahora en paralelo. Se realizaron en totalidad 09 ensayos para cada sistema hidráulico, los cuáles fueron realizados en el viaducto que se encuentra en los Baños del Inca – Cajamarca – Cajamarca, para la realización de estos ensayos se mantuvo la altura de suministro constante y se definieron tres alturas de entregas para tres tipos de caudales de suministro. Llegando a la conclusión que utilizando en un sistema una bomba de ariete con dos válvulas en serie es la más eficiente, en una relación de  $112\%$  con respecto a los valores obtenidos.

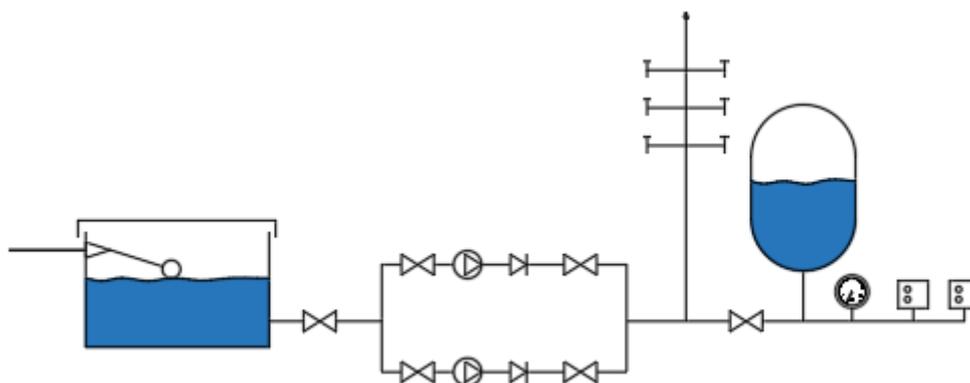
## 2.2. BASES TEÓRICAS

### 2.2.1. Sistema de bombeo

Según Blanco, Velarde y Fernández (1994) define a sistema de bombeo como el conjunto de elementos que permiten el transporte mediante tuberías y el almacenamiento temporal de cualquier fluido, de manera que se cumplan los requisitos del caudal y presión para el cual se haya diseñado.

En un sistema típico, además del empleo de tuberías que se conectan desde el punto de suministro hasta el final, es necesario también el uso de otros elementos que proporcionen la energía necesaria para su transporte como las bombas, lugares de almacenamiento y depósitos, y otros elementos de regulación y control como las válvulas y los equipos de medida. Finalmente, un sistema tiene que ser económico, seguro, fiable, fácil de mantenimiento y que no afecte al medio ambiente. (Blanco, Velarde y Fernández, 1994)

**Figura N° 1. Ejemplos de un sistema de bombeo de agua**



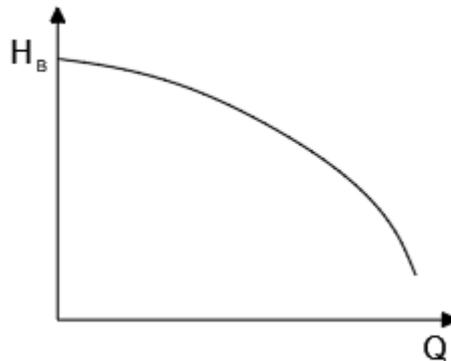
*Fuente: Adaptación de Blanco, Velarde y Fernández (1994).*

#### 2.2.1.1 Bombas

Las bombas son elementos que aportan energía para vencer las pérdidas de carga y la diferencia de alturas entre dos puntos. Estas fuerzan al fluido a circular en un determinado sentido. Las bombas más utilizadas en un sistema de bombeo típico

son las centrífugas y las axiales, ya que logran un caudal mayor a medida que disminuye la resistencia o de diferencia de altura que tienen que vencer. (Blanco, Velarde y Fernández, 1994)

**Figura N° 2. Altura de elevación de una bomba**



*Fuente: Adaptación de Blanco, Velarde y Fernández (1994).*

### **2.2.1.2 Consideraciones para un sistema de bombeo**

Blanco, Velarde y Fernández (1994) comentan que se debe de tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Definición del problema (lugar y necesidad de abastecimiento)
- Disponibilidad de una fuente suministradora.
- Estudios químicos al fluido.
- Trazo del recorrido del sistema.
- Estudio de las condiciones de la zona.
- Estimación de los diámetros de tuberías y potencia para el bombeo.
- Estudio de los posibles fenómenos que pueda presentar el sistema.

#### **En tanto a las consideraciones legales y socioeconómicas se tiene:**

- Derechos de la captación de agua
- Normativas sobre contaminación, seguridad y uso del agua
- Legalización con respecto a los pases del agua,

- Aceptación de la población.
- Aporte en el desarrollo de la población sin interferir en la naturaleza.

**Dentro del análisis económico, se puede considerar:**

- Gastos de instalación, implementación y funcionamiento
- El periodo de la vida útil del sistema y componentes en general

Construcción de un sistema acorde a la demanda y al futuro, para evitar nuevos gastos. (Blanco, Velarde y Fernández, 1994)

**2.2.2. Bomba de ariete hidráulico**

**2.2.2.1 Origen e historia de la bomba de ariete hidráulico**

**1772 - Máquina pulsante o motor de pulsación**

- El inglés **John Whitehurst** construyó un ingenio basado en el principio del golpe de ariete hidráulico, cerrando manualmente el grifo que se encontraba conectado con una tubería a un depósito elevado y que parte del agua llegue a este nivel.

**1796 - Belier Hydraulique**

- El francés **Joseh Montgolfier**, incorporó válvulas de impacto o válvulas de aire, además de una campana de hierro fundida sujeto a la base para soportar mayor la presión.

**1857 -**

- El francés **Ernest Sylvain Bollée** mejora y registra una patente.

**1885 -**

- El suizo **Johann Georg Schlumpf** introdujo el orificio de alimentación de aire que automáticamente aspira aire hacia la cámara de aire, necesario para amortiguar los golpes del martillo de agua.

**Después de la Segunda Guerra Mundial**

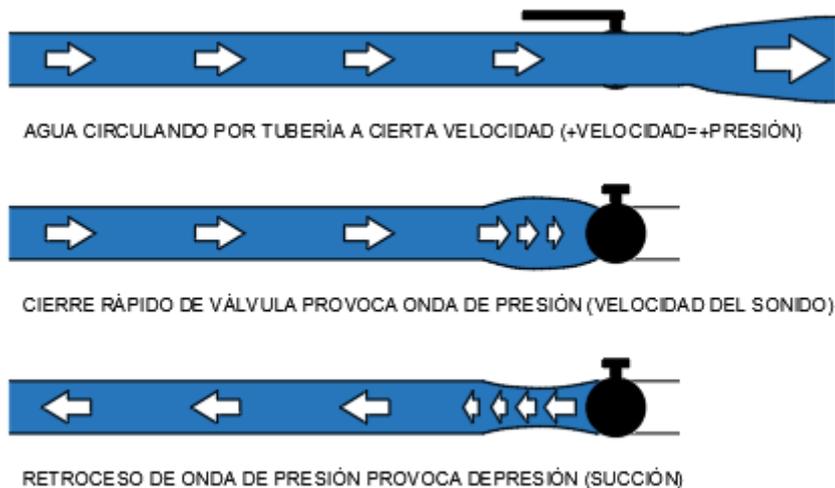
- En consecuencia del boom petrolero, los planes de electrificación y los sistemas de acueductos ponen freno al desarrollo de esta tecnología.

*Fuente: Adaptación de Pérez (2018).*

### 2.2.2.2 Golpe de ariete, Golpe de martillo de agua

Pérez (2018) define al golpe de ariete como el fenómeno que se da origen cuando en una tubería circula un fluido a una determinada velocidad y al ser interrumpida la salida rápidamente, las partículas de este fluido chocan y son empujadas por las que vienen en su misma trayectoria, lo que produce una sobrepresión en el punto de cierre (llegando a 30 veces la presión original) finalmente, en dirección contraria regresa el fluido hacia la entrada produciéndose una depresión o succión en el punto de cierre. Este cambio brusco de velocidad en el fluido provoca que la energía cinética que llevaba se transforme en una onda de presión que viaja a la velocidad del sonido de un lado a otro de la tubería hasta que se detiene y agota su energía cinética produciendo un ruido parecido a un martilleo, por esta razón al golpe de ariete hidráulico se le conoce también como golpe de martillo de agua.

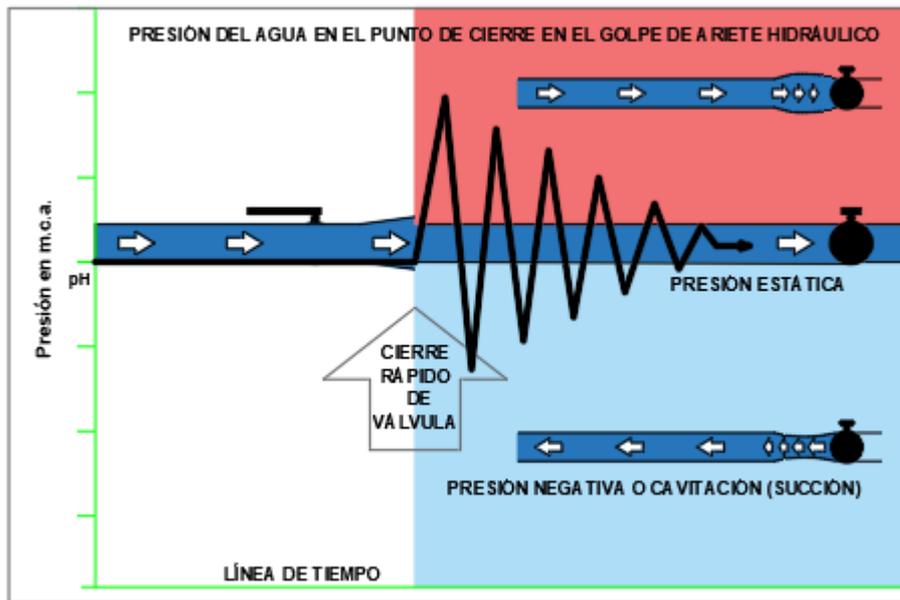
**Figura N° 3. Golpe de ariete Hidráulico**



*Fuente: Adaptación de Pérez (2018)*

Se puede deducir que las presiones generadas por los golpes de ariete serán mayores mientras los cambios de velocidad sean más rápidos. (Pérez, 2018)

**Figura N° 4. Presión del fluido en el golpe de ariete hidráulico**



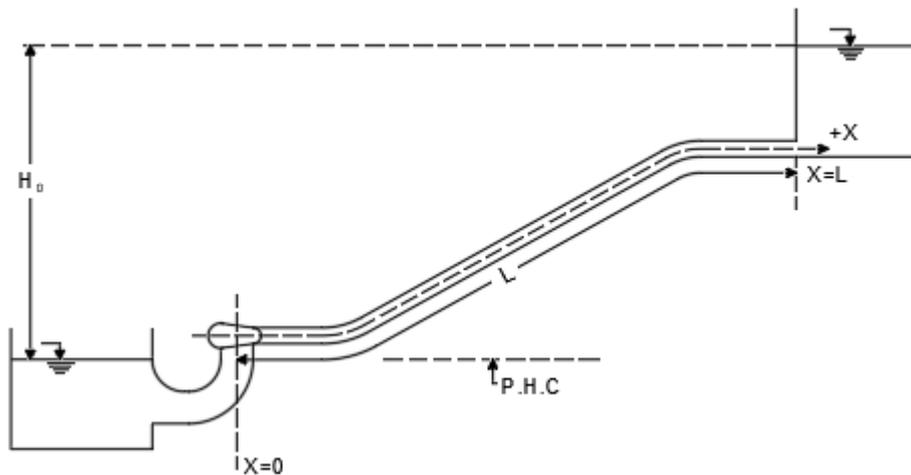
*Fuente: Adaptación de Pérez (2018)*

### **2.2.2.3 Golpe de ariete en sistemas de bombeo**

El golpe de ariete en un sistema de bombeo se origina como resultado de las condiciones de operación que se dan a través de los diferentes componentes y accesorios que la componen, lo que da origen a las oscilaciones de gasto y carga piezométrica. El principal factor puede reconocerse a la maniobra de cierre o apertura de las válvulas de seccionamiento en la tubería de descarga, que se ven afectadas antes y después del paro o arranque de la bomba. (Mancebo, 1994)

Tal y como se aprecia en la Figura N° 5, se tiene un sistema que presenta interrupción en el suministro de la potencia, donde la bomba opera a condiciones normales antes de la interrupción y también se tiene un depósito de nivel constante ubicado aguas arriba y aguas debajo de una tubería de descarga la cual se encuentra equipada adecuadamente. El golpe de ariete puede atenuarse si se instalan válvulas de seccionamiento en las tuberías de descarga que se cierran lentamente antes de la interrupción de energía. (Mancebo, 1994)

**Figura N° 5. Fenómeno del golpe de ariete en un sistema de bombeo**



*Fuente: Adaptación de Mancebo (1994).*

### **2.2.3. Funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico**

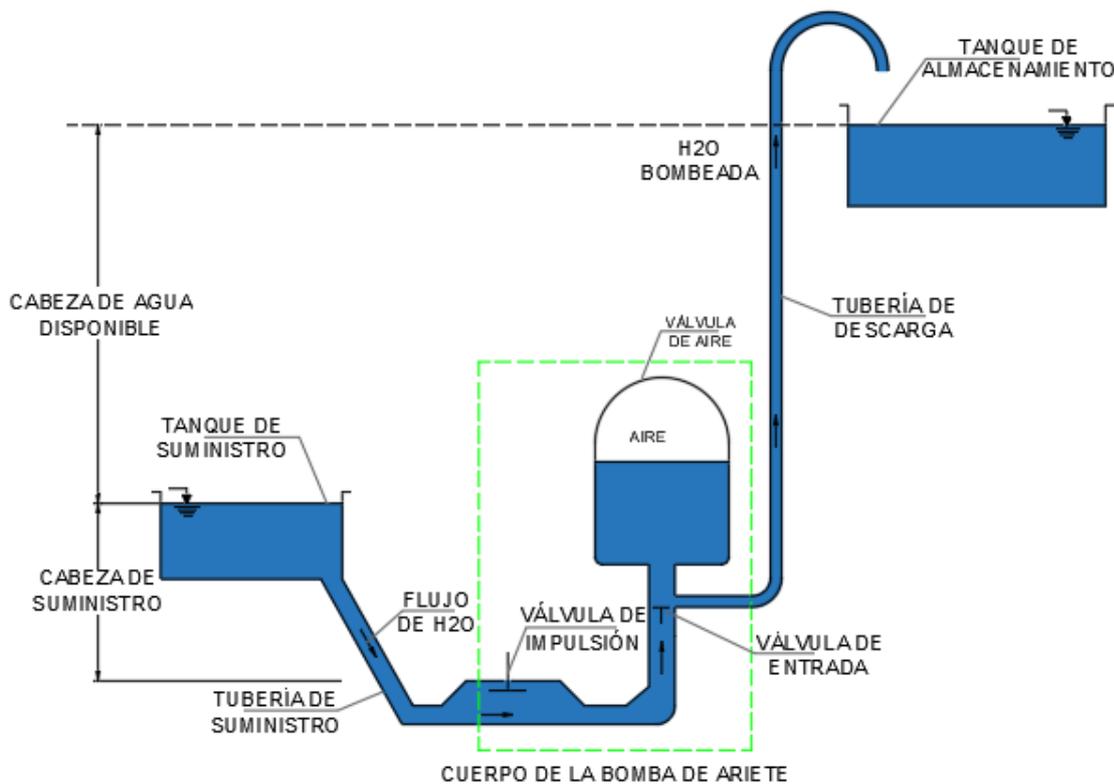
Para Sarmiento (1982) la bomba con ariete hidráulico es usada mayormente en un sistema de bombeo de agua, trabaja con la energía del agua que fluye a través de la bomba desde la fuente de abastecimiento hasta un nivel de depósito mayor al de la fuente. Esta bomba puede emplearse en sitios donde se tenga un caudal o suministro de agua constante, con una topografía adecuada (caída) lo que permite operar a esta bomba. A continuación, se presenta algunas ventajas de esta bomba:

- No necesita fuente adicional de energía.
- Sus componentes son sencillos de conseguir y fáciles para su mantenimiento.
- Trabaja eficientemente con el caudal suministrado.

Para explicar y entender cómo trabaja la bomba de ariete se presenta un esquema típico de la instalación de una bomba de ariete (Ver Figura N° 6), esto empieza con que el agua fluye hacia abajo por la tubería de suministro, escapando al exterior por la válvula de impulsión. Cuando el flujo del agua pasa por la válvula de impulsión, esta lo hace con una velocidad constante, lo que origina una fuerza

ascendente sobre la válvula de impulsión dando paso al cierre repentino, deteniendo el flujo de agua en la tubería de suministro. (Sarmiento, 1982)

**Figura N° 6. Esquema típico de la instalación de una bomba de ariete**



*Fuente: Adaptación de Sarmiento (1982).*

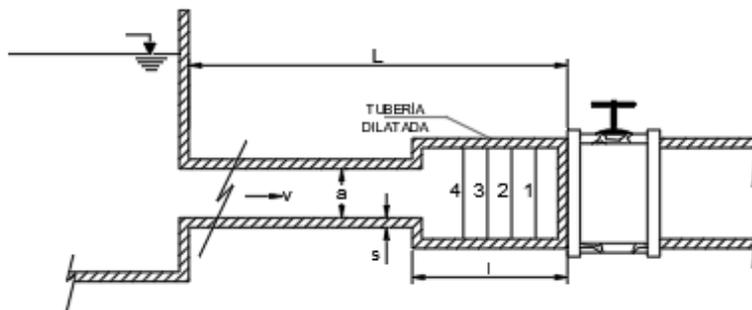
Esta fuerza ocasionada por la parada, el incremento de la presión dentro del fluido de la bomba, vencerá la presión de la cámara de aire sobre la válvula de descarga, lo que permite que el agua pase por la cámara de aire y así poder subir al tanque de almacenamiento. (Sarmiento, 1982)

La onda de presión del golpe de ariete se reduce tras el paso del agua por la cámara de aire, haciendo que la presión rebote y retroceda en la tubería del suministro, generando una succión dentro del cuerpo de la bomba. Siendo esto lo que da pase a que la válvula de entrega se cierre para evitar que le agua bombeada retorne. Mientras que la válvula de impulsión cae, empezando nuevamente el ciclo. La cámara de aire cumple con la función de menguar los cambios de presión en la

bomba, y así permitir el flujo constante del agua al tanque de almacenamiento. Al encontrarse el aire en la cámara comprimida, este necesita ser reemplazado constantemente, además de que el aire va mezclado con el agua hasta el tanque de almacenamiento. La operación ideal de una bomba de ariete está dada aproximadamente en 75 golpes por minutos. (Sarmiento, 1982)

Para explicar el efecto del golpe de ariete en una tubería, se seccionará tal y como se explica en la Figura N° 7. De la cual, la sección 1 se mantendrá en reposo, mientras que la sección 2,3 y 4 necesitando un cierto tiempo. Al haberse originado una onda de presión y haberse propagado una velocidad C, la cual es contraria a la velocidad V del fluido, esta genera una onda elástica propagándose por la tubería, lo cual se refleja en la tubería y vuelve a la válvula, al embalse y así continuamente, lo que da pase a sobrepresiones y depresiones en la tubería, lo cual se dilata o contrae el paso de la onda. (Sarmiento, 1982)

**Figura N° 7. Efecto del golpe de ariete en una tubería**



*Fuente: Adaptación de Sarmiento (1982).*

Siendo C la velocidad de la onda y L la longitud de la tubería, el tiempo que tarda la onda en recorrer desde la válvula a la tubería es de:

$$T_o = \frac{L}{C} \qquad \text{Ecuación N° 1}$$

El ciclo se repite cada cierto tiempo:

$$T = 4t_o = 4 \frac{L}{C}$$

Ecuación N° 2

Yachaywasi (2021) considera los siguientes principios en el funcionamiento de esta tecnología de la bomba de ariete:

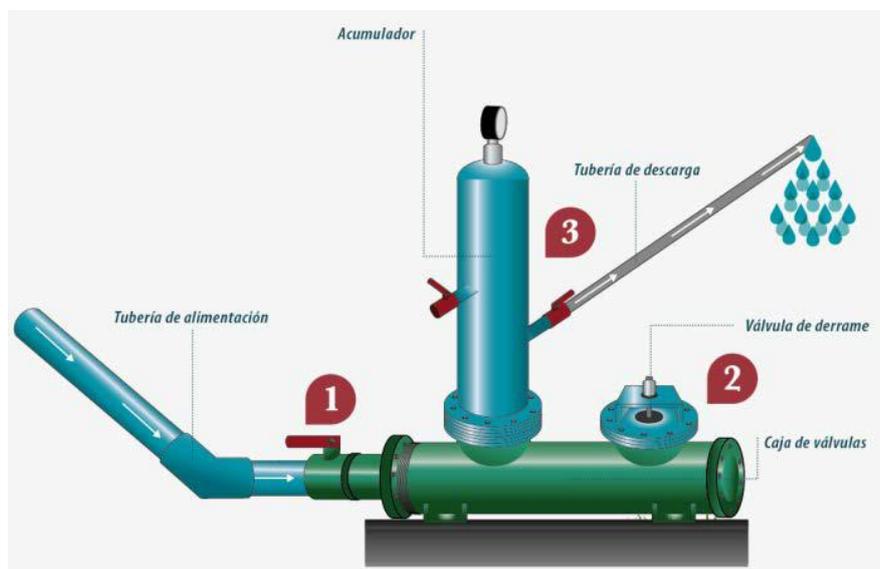
1° Usa energía hidráulica generada por la misma caída de agua (desde 1m de caída, elevando 10m más su altura).

2° Genera sobrepresión por el cierre de la válvula alimentadora al llegar a una presión determinada por el efecto del Golpe de ariete.

3° Genera fuerza al abrir la válvula de descarga y al subir hacia el nivel superior del tanque.

4° La válvula de derrame se vuelve a abrir debido a la baja de presión del flujo de agua. El ciclo empieza nuevamente.

**Figura N° 8. Principios de funcionamiento de la bomba de ariete**



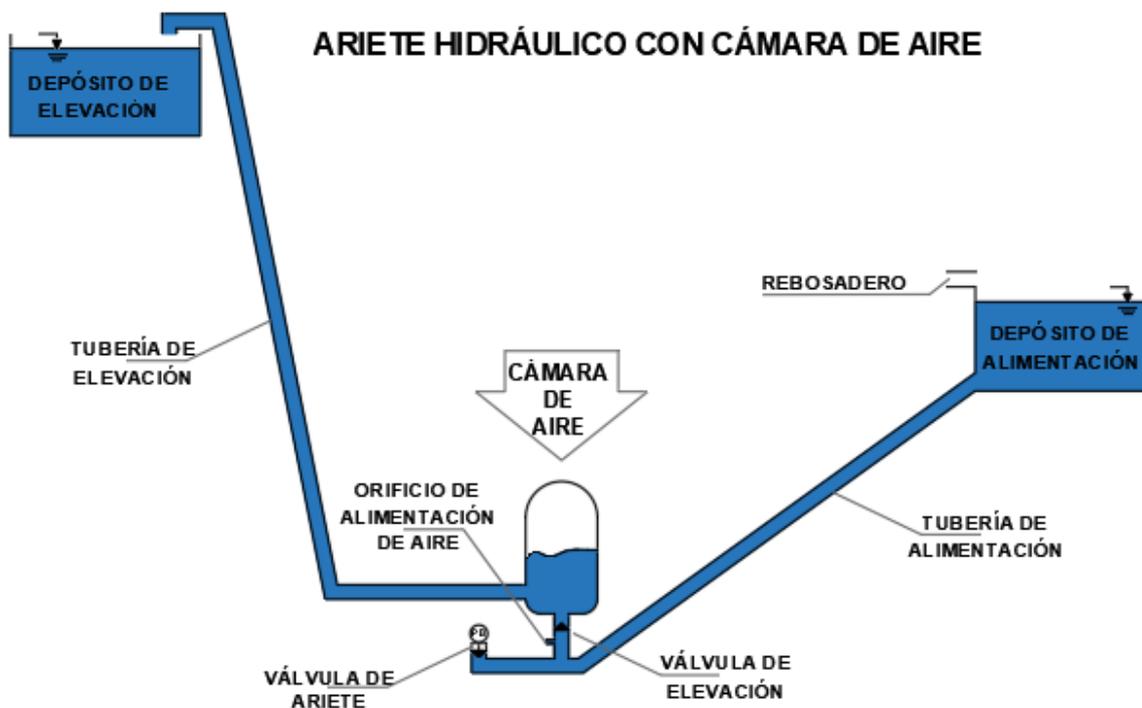
Fuente: Yachaywasi (2021).

## 2.2.4. Tipos de Bombas de Ariete Hidráulico

### 2.2.4.1 Bomba de Ariete Hidráulico con cámara de aire

Esta es una de las bombas más usadas, se pueden fabricar de hierro fundido (1, 1 ¼, 1 ½ y 2 pulgadas), también existen de piezas roscadas de fontanería o con piezas de PVC. Consta de cuerpo de válvulas, válvulas de impacto o válvulas de ariete, válvula de elevación, orificio de alimentación de aire y cámara de aire. (Pérez, 2018)

Figura N° 9. Bomba de ariete hidráulico con cámara de aire



Fuente: Adaptación de Pérez (2018).

Para Pérez (2018) su funcionamiento básicamente consta de que el agua que se encuentra en contacto con el aire en la cámara de aire o conocido como el vaso de expansión sin membrana; que se encuentra en posición vertical uniéndose al cuerpo de válvulas mediante la válvula de elevación, la cámara de aire absorbe los golpes de ariete y hace constante al caudal de elevación. El aire en contacto con el agua en el interior de la cámara se licua, por lo que es necesario el ingreso de aire

por cada ciclo de golpe de ariete. Al cerrarse la válvula de ariete se produce el golpe de ariete y la sobrepresión generada pasa a través de la válvula de elevación dejando pasar solo el agua en una dirección a la cámara de aire que absorbe la sobrepresión al estar llena de aire, inmediatamente después la onda de choque retrocede hacia la boca del tubo o depósito de alimentación y se produce la descompresión o succión y es cuando por el orificio de alimentación de aire entra una cantidad de aire que se convierten en burbujas y al abrirse nuevamente la válvula de elevación en el siguiente golpe de ariete las burbujas pasan a la cámara de aire, la cantidad de aire tiene que ser la adecuada, si introducimos poco aire la cámara se llenará de agua y no absorberá los golpes de ariete con el peligro de que se puede romper algo; mientras que, si introducimos mucho aire, se bombeará solo aire. (Pérez, 2018)

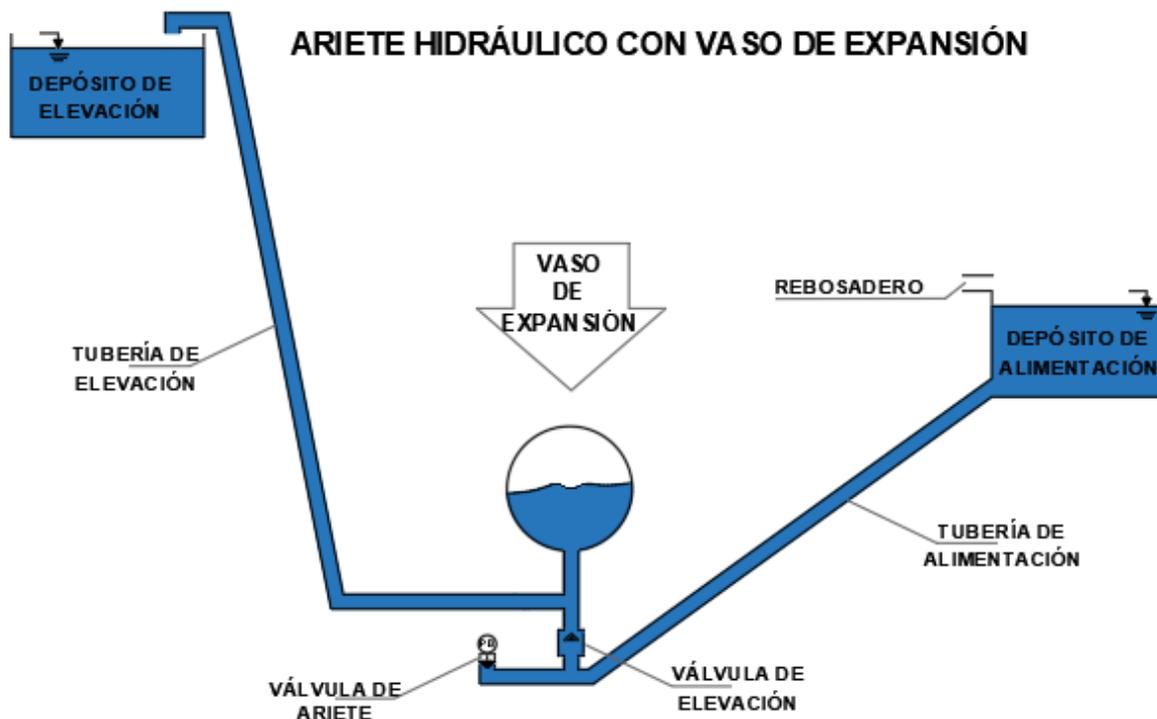
La salida de agua que conecta la cámara de aire con la tubería de elevación está en la parte baja de la cámara de aire para que solo salga agua y no aire, el diámetro de esta conexión debe ser adecuado al caudal de elevación, mínimo igual a la tubería de elevación. Para impedir que pueda entrar aire en la tubería de elevación y nos de problemas podemos conectar un purgador de aire en la conexión de la tubería de elevación con la bomba de ariete. (Pérez, 2018)

#### **2.2.4.2 Bomba de Ariete Hidráulico con vaso de expansión**

En el modelo presentado por Pérez (2018) es el mismo funcionamiento que la bomba de ariete con cámara de aire, la diferencia es que reemplaza la cámara de aire por un vaso de expansión con membrana, donde el agua no se encuentra en contacto con el aire y no es necesario el orificio para el ingreso del aire. El volumen mínimo del vaso de será igual al caudal de elevación en un minuto. La presión de inflado del vaso de expansión en vacío (sin carga de agua) será la presión manométrica de la tubería

de elevación (llenado de agua y medida en la salida de la bomba de ariete hidráulico en bares) menos 0.2 bar. (Pérez, 2018)

**Figura N° 10. Bomba de ariete hidráulico con vaso de expansión**



*Fuente: Adaptación de Pérez (2018).*

#### **2.2.4.3 Bomba de Ariete Hidráulico sin cámara de aire**

Pérez (2018) menciona que esta es una de las bombas más económicas y sencillas de construir, además de presentar buena eficiencia al tener válvulas de elevación en línea con la tubería de alimentación la onda de choque producida induce directamente en ella aumentando su rendimiento y haciendo más sencilla su instalación. Esta bomba no necesita cámara de aire o vaso de expansión la función de absorber los impactos de golpes de ariete y convertir el caudal de agua en un caudal constante. La longitud de la tubería estará entre 50 – 100 cm dependiendo de la elasticidad y el diámetro mínimo será igual al de la tubería de elevación. La altura de agua dependerá de la presión que soporte la manguera (3-10 Bar). Este sistema puede construirse en medidas desde ½ a 4 pulgadas con piezas de fontanería, se

necesita una caja de válvulas de la bomba de ariete, una válvula anti retorno o válvula de elevación, manguera flexible, piezas y accesorios de conexión. (Pérez, 2018)

**Figura N° 11. Bomba de Ariete Hidráulico sin cámara de aire**



*Fuente: Adaptación de Pérez (2018).*

## **2.2.5. Componentes de un sistema de Bomba de Ariete Hidráulico**

### **2.2.5.1 Tubería de alimentación**

La tubería de alimentación de la bomba de ariete es la parte más importante en el sistema, ya que es aquí donde se origina la energía cinética que sirve para la elevación del agua. Se recomienda el uso de tubería de fierro galvanizado para que esta no absorba los impactos de las ondas de presión y succión del golpe de ariete y se pueda transmitir toda esta energía a la válvula de elevación. También se puede usar tubería de PVC y tubería de polietileno, pero no garantiza un buen rendimiento de la bomba. (Pérez, 2018)

Esta tubería será recta y con una pendiente descendente mínima del 16% o con un ángulo de más de 10°. Además, se pueden colocar válvulas de cierre en la salida de la tubería de alimentación o antes del ariete o cuerpo de válvulas, están tienen que ser válvulas de compuerta o de esfera del mismo diámetro que la tubería. El diámetro de la tubería dependerá de la longitud y del caudal que se desea alimentar. La longitud de la tubería de la alimentación dependerá de la altura de trabajo y altura de elevación, estará entre los 150 y 1000 veces el diámetro de la tubería de alimentación. (Pérez, 2018)

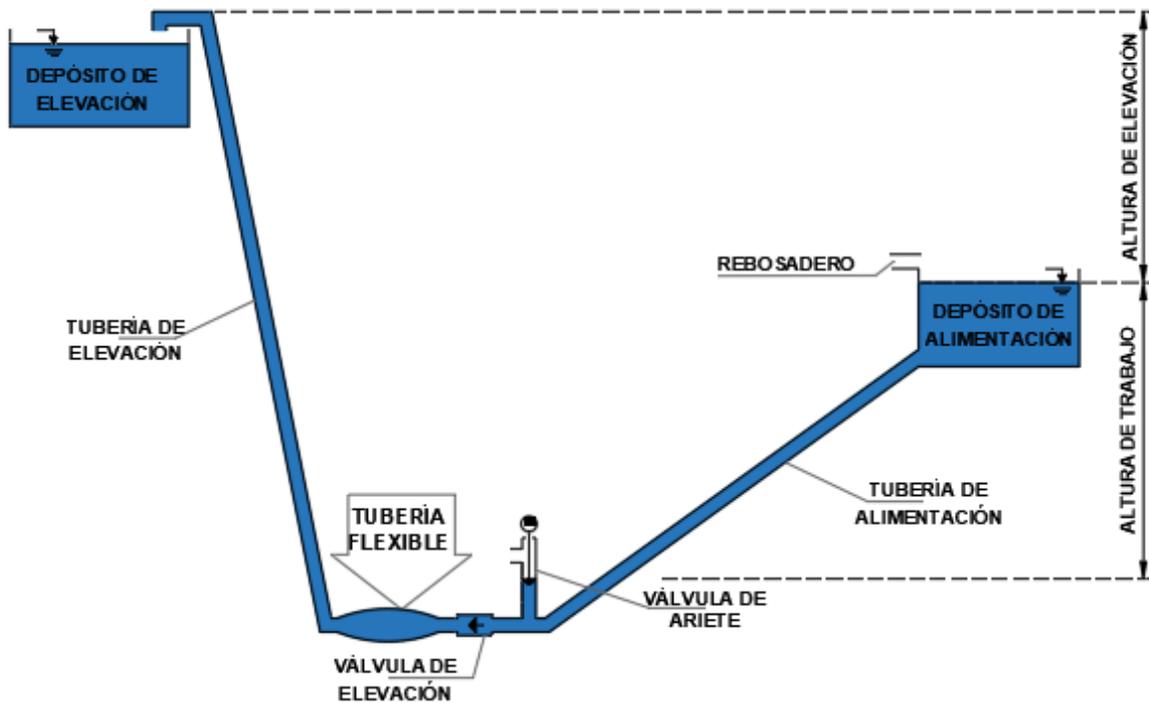
#### **2.2.5.2 Caudal de alimentación de la Bomba de Ariete Hidráulico (Q)**

Este caudal de alimentación es conocido como la cantidad de agua necesaria para abastecer y de tal manera que funcione bien la válvula, este deberá ser constante, además de que todo este caudal no será utilizado por la bomba de ariete ya que tendrá una parada para que ingrese aire por la tubería de alimentación. Si se tiene diferencias considerables de caudal por estaciones del año, es recomendable montar bombas hidráulicas acorde a las condiciones propias de la fuente de agua. (Pérez, 2018)

#### **2.2.5.3 Altura de trabajo de la bomba de ariete (H)**

La altura de trabajo de una bomba de ariete hidráulico viene a ser la diferencia vertical desde el rebosadero del depósito de alimentación a la base de la caja de válvulas de la bomba de ariete hidráulico. Esta altura como mínima tiene que ser de un metro, y la máxima de cinco metros. Teniendo en consideración que la presión se puede multiplicar por 20 veces la presión con los golpes de ariete, esta bomba puede llegar a los 10 bares (100 m.c.a.), por lo que se recomienda emplear materiales adecuados que soporten elevadas presiones. (Pérez, 2018)

Figura N° 12. Altura de trabajo



Fuente: Adaptación de Pérez (2018).

#### 2.2.5.4 Válvula de control

Válvula que sirve para detener el flujo de ingreso. Esta válvula cumple una función para realizar el mantenimiento de la bomba de ariete. (Arapa, 2016)

#### 2.2.5.5 Válvula de ariete Hidráulico (Válvulas de pie)

Válvula de ariete hidráulico o conocida como válvula de impacto o impulso, son las que cuentan con el eje vertical por gravedad, teniendo movimiento solo en este eje, además de ser fáciles también de fabricar. La regulación de apertura de esta válvula se regula con una tuerca y el retardo del cierre se regula colocando peso en el eje vertical. Se recomienda que este eje debe encontrarse lo más equilibrado y alineado posible. El eje vertical con muelle es parecido a las de eje vertical con gravedad, pero esta gravedad es sustituida por la fuerza de un muelle. (Pérez, 2018)

El diámetro de la válvula de ariete será como mínimo de la tubería de alimentación, siendo recomendable utilizar de una medida más grande para caudales

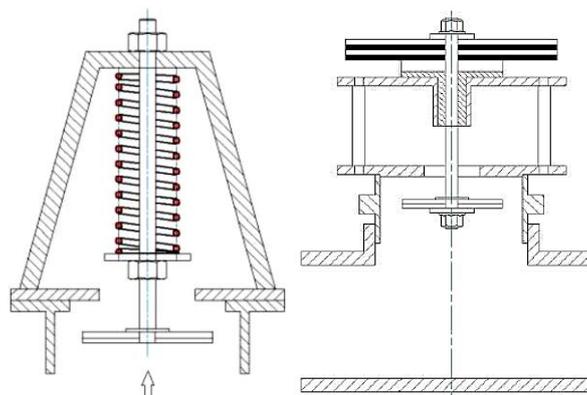
pequeños y dos medidas más para caudales grandes. Con respecto a la velocidad de cierre de la válvula de ariete, el número de golpes debe encontrarse entre 25 -100 veces por minuto. Se ha podido concluir que los golpes lentos y largos gastan más agua, pero a la vez bombean más y pueden llegar a una mayor altura. Mientras que, los golpes rápidos gastan también agua, pero llegan a una menor altura. (Pérez, 2018)

Arapa (2016) reconoce a la válvula de impulso como un elemento principal, ubicada en el extremo aguas debajo de la tubería de alimentación, cuyo cierre instantáneo origina la sobrepresión que permite bombear parte del agua que ingresa, y cuya apertura permite la salida o alivia de la misma.

### TIPOS DE VÁLVULAS DE ARIETE (VÁLVULAS DE PIE)

- **Válvula regulada con resorte:** Válvula en la que su desplazamiento de la carrera está dado por un resorte, pudiendo estar ubicado este de forma vertical u horizontal.
- **Válvula con pesas encima:** Válvula en la que se puede ajustar y regular la velocidad de la carrera con la modificación e implementación de pesas. Es un poco más pesada por lo que garantiza mayor tiempo de servicio.

Figura N° 13. Tipos de ariete con resorte y pesas encima



Fuente: Malca y Quiroz (2016).

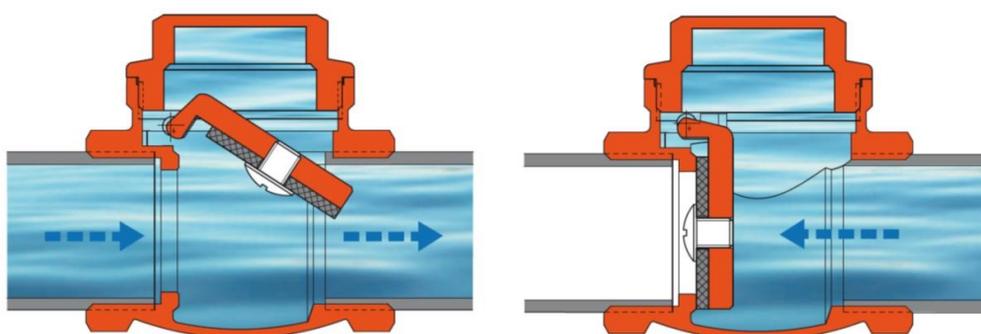
## - VÁLVULA DE AIRE

Es un pequeño orificio que se encuentra ubicado en la zona de válvula, lo cual permite ingresar y restituir lentamente el aire que se pierde al interactuar con el agua, y así salir junto con el aire por la tubería de descarga. (Arapa, 2016)

### 2.2.5.6 Válvula de elevación de la bomba de Ariete Hidráulico

La válvula de elevación, válvula de retención o válvula check, tienen como finalidad dejar pasar el agua en una sola dirección hacia la tubería de elevación. El diámetro de la válvula de elevación será como mínima una medida superior a la tubería de elevación. (Pérez, 2018)

**Figura N° 14. Válvulas antiretorno**



*Fuente: Adaptación de Pérez (2018).*

### 2.2.5.7 Cámara de presión

Esta se encuentra ubicada encima de la válvula de retención o elevación, cumple la función de que el aire comprimido que en ella se confía, permite la subida del agua a través de la tubería de descarga, actuando con el mismo principio del resorte. (Arapa, 2016)

### 2.2.5.8 Tubería de descarga

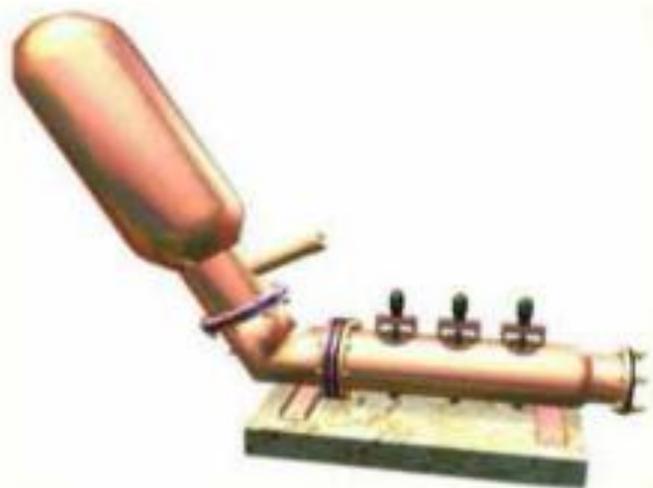
Es un tramo o conducto que transporta el agua desde la cámara de aire hasta el reservorio o el depósito de almacenamiento. La ventaja es que esta línea de conducción no tiene que ser rígida. (Arapa, 2016)

### **2.2.6. Bomba de Ariete Hidráulico Multipulsor**

El invento de una bomba de ariete con multipulsor se da desde el año 1990 gracias al técnico belga Jan Hemhouts, quién con el afán de abastecer de agua a lugares donde la gravedad no lo permite, le dio la magnífica idea de reemplazar la única válvula de impulso o válvula de ariete por un conjunto de válvulas correctamente calibradas e instalas de manera que favorezcan y contribuyan con los caudales, por ende, el rendimiento de la misma. (Pauro, 2016)

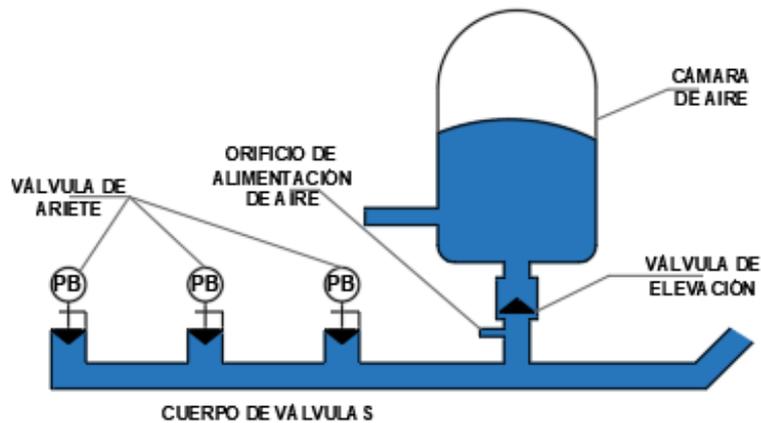
La implementación de estas válvulas también trae consigo la mejora en el aspecto de esta bomba, ya que la hace más pequeña y menos pesada, puesto que reduce las dimensiones (longitud y diámetro) de la tubería. Con respecto al diseño planteado inicialmente por Montgolfier, esta variación hace que disminuya la magnitud en la amortiguación de inyección de agua en la cámara de aire, por lo que el diseño de ésta puede variar. A pesar del gran aporte a la sociedad y sobre todo a lugares que presentan problemas con la gravedad, este invento ha quedado al olvido con el pasar del tiempo y la aparición de nuevas tecnologías. (Pauro, 2016)

**Figura N° 15. Prototipo del ariete Multipulsor "Jan Heamhouts"**



*Fuente: Pauro (2016).*

Figura N° 16. Esquema típico de bomba multipulsor



Fuente: Adaptación de Pérez (2018).

La Figura N° 15 y Figura N° 16 muestran un ariete multipulsor "Jan Heamhouts", la cual tiene una tubería de impulsión de 6 in, lo cual permite llegar a 5 metros de altura de agua ubicada a una distancia de aproximadamente 200m, teniendo un volumen diario de 173,00 litros. (Pauro, 2016)

### 2.2.7. Eficiencia Hidráulica para una BAH

Según Sarmiento (1982), la fórmula de la eficiencia hidráulica ( $n$ ) es:

$$n = \frac{q * Hd}{Q * Hs} * 100\% \quad \text{Ecuación N° 3}$$

Dónde:

- $n$  = Eficiencia (%)
- $q$  = Caudal de entrega ( $m^3/s$ ).
- $Hd$  = Altura de descarga ( $m$ ).
- $Q$  = Caudal de suministro ( $m^3/s$ ).
- $Hs$  = Altura de suministro ( $m$ ).

### **2.2.8. Factores hidráulicos en una BAH**

Galarza (2013), presenta a las siguientes propiedades del fluido como los principales factores hidráulicos que afectan la eficiencia de una BAH:

- Energía.
- Flujo permanente y no permanente.
- Flujo compresible e incompresible.

Pérdidas de energía.

### **2.2.9. Problemas frecuentes en el funcionamiento de la BAH**

Sarmiento (1982), en su libro "Diseño y construcción de una bomba de ariete", plantea las siguientes recomendaciones:

- Si alguna de las válvulas no trabaja correctamente, revisar cualquier tipo de suciedad u obstrucción en las tuberías o en la bomba, disminuir o aumentar el peso de los suplementos que se haya colocado para que cumplan su función.
- Si el ariete bombea demasiado aire, revisar las uniones y accesorios que estén correctamente ensamblados de modo que no ingrese aire.
- Si presenta algún ruido metálico, revisar las válvulas y chequear que este herméticamente cerrada la campana de aire.
- Si la bomba no entrega el caudal requerido, revisar el caudal de suministro, las conexiones, si presenta algún tipo de pérdidas a lo largo de las tuberías, que no presente suciedad el sistema, las válvulas check del sistema.
- Se recomienda realizar semanalmente el mantenimiento del sistema en general, realizar el desmontaje y limpieza de las tuberías, accesorios, válvulas, cámara de aire; y, finalmente realizar la calibración de las válvulas de impulsión.

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Bomba de ariete hidráulico:** máquina sencilla la cual no necesita ningún tipo de combustible para su funcionamiento, o fuente de energía eléctrica, sino se autoabastece de la energía que le suministra un gran caudal de agua que cae desde una fuente ubicada a una mayor altura con respecto a la ubicación de esta bomba. (Sarmiento, 1982)
- **Caudal de entrega:** caudal de salida de la BAH y este caudal es transportado por la tubería de descarga. (Rivadeneira y Silva, 2013)
- **Caudal de suministro:** caudal que alimenta de la BAH y este caudal viaja por la tubería de alimentación. (Malca y Quiroz, 2016)
- **Eficiencia de bomba de ariete hidráulico:** La eficiencia de la BAH está determinada por el cociente del producto del caudal de entrega por la altura de entrega y el producto del caudal de suministro por la altura de suministro. (Rivadeneira y Silva, 2013)
- **Energía Cinética:** Dentro de la hidráulica, esta energía está definida como el trabajo necesario para acelerar un fluido de una masa conocida desde el reposo hasta una determinada condición (velocidad, lugar). (Rivadeneira y Silva, 2013)
- **Presión:** la presión representa la cantidad de energía gravitacional contenida en el agua. (MVCS, 2018)
- **Válvulas de pie:** encargada de producir el golpe de ariete producto del cierre brusco que se produce tras el incremento de la velocidad del agua. Esta regula la cantidad de agua que ingresa en la cámara de aire, variando así el número de golpes por minutos. (Rivadeneira y Silva, 2013)

## CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1. UBICACIÓN

La presente investigación se realizó en el departamento de Cajamarca, los ensayos para determinar la variación de la eficiencia hidráulica al incrementar una, dos y tres válvulas de pie en una BAH, se realizaron en el río Mashcon, en el desvío al centro poblado Tual, provincia de Cajamarca. Este lugar se escogió por sus características propias, las cuales nos permiten tener un libre acceso al río y por las caídas de agua para el funcionamiento de la bomba.

Acceso desde la ciudad de Cajamarca hasta el desvío al centro poblado Tual: Tomamos la carretera 3N desde Cajamarca 6.5 km hacia Bambamarca y luego tomamos el desvío hacia la carretera CA 1148, recorreremos 100 m, con un tiempo de viaje en automóvil de 25 minutos.

**Figura N° 17. Vista Satelital del río Mashcon – Ubicación de los ensayos**



*Fuente: Google Earth*

### **3.2. ÉPOCA DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación se realizó en los meses de junio hasta el mes de agosto del año 2023.

### **3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Por el tipo de la investigación a realizar, el presente estudio reúne las condiciones de una investigación **APLICADA**, porque se utilizó técnicas y metodologías para determinar valores de caudal para luego calcular la eficiencia hidráulica de una bomba de ariete hidráulico (BAH) al aumentar válvulas de pie.

### **3.4. NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

Por el nivel de investigación, el presente estudio reúne las características de un nivel **DESCRIPTIVO** (Describir o estimar parámetros) porque se hizo mediciones de caudal para determinar la eficiencia hidráulica de una bomba de ariete hidráulico (BAH) al aumentar válvulas de pie.

### **3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

Por el diseño de investigación, el presente estudio reúne las características de una investigación **NO EXPERIMENTAL** porque no habrá manipulación de ninguna variable solo se obtendrá medidas de caudal en campo para determinar la eficiencia hidráulica de una bomba de ariete hidráulico (BAH) al aumentar válvulas de pie.

### **3.6. POBLACIÓN DE ESTUDIO**

La población de estudio se encuentra constituida por todos los sistemas de bombeo de agua.

### **3.7. MUESTRA**

La muestra de estudio, es todos los sistemas de bombeo de agua utilizando bombas de ariete.

### 3.8. UNIDAD DE ANÁLISIS

La bomba de ariete hidráulico (BAH) que se modificará para aumentar una, dos y tres válvulas de pie en serie.

### 3.9. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### 3.9.1. Técnicas

- a. Diseño de la BAH: con la finalidad de determinar las dimensiones de la cámara de aire, los diámetros y longitudes de las tuberías; así como las dimensiones del cuerpo de la bomba de ariete.
- b. Fabricación de la BAH: para ello se tendrá en cuenta que esta bomba debe ser modificable para agregar más válvulas de pie, para ello se realizó la construcción con tuberías con rosca teniendo como línea base el diseño realizado de la BAH.
- c. Nivelación: en el sistema de bombeo de ariete hidráulico, primero se realizó una nivelación con el fin de determinar las cotas de trabajo, cota de la bomba, cota de suministro y de descarga del sistema de bombeo; para proceder a realizar el diseño.
- d. Instalación de la BAH: se realizó donde previamente se niveló y luego se verificó las cotas para su instalación.
- e. Recolección de datos: mediante llenado de fichas en campo.
- f. Medición del caudal: se realizó en la tubería de suministro y en la de descarga de la BAH con el ensayo del recipiente de volumen conocido y con el cronometro midiendo el tiempo (método volumétrico), se obtendrá el valor de forma indirecta con la ecuación general del caudal.

- g. Cálculo de la eficiencia hidráulica: el cálculo se realizó con los datos del caudal de suministro y el de descarga; altura de suministro y de descarga de cada BAH, con la Ecuación N° 3.
- h. Representaciones gráficas: se realizó representaciones gráficas de los parámetros de la BAH con una, dos y tres válvulas, para así obtener sus indicadores de crecimiento o disminución.
- i. Correlación de la eficiencia hidráulica (n): se realizó un cálculo matricial para determinar los coeficientes de la ecuación  $n = f(Q, q, H_s, H_d)$  y así hallar la correlación lineal para la BAH con una, dos y tres válvulas de pie.

### **3.9.2. Instrumentos**

- BAH modificable (incluyendo todos los accesorios).
- Nivel de Ingeniero.
- Fichas, formatos las cuáles serán llenadas con los datos obtenidos en campo.
- Recipiente con volumen conocido (4ltrs y 18 ltrs).
- Cronómetro.
- Manómetro.
- Wincha.
- Software AutoCAD.
- Software de Microsoft Office.
- Celular, para la toma de fotografías.
- EPPS.

### **3.10. PROCEDIMIENTO**

#### **3.10.1. Nivelación Insitu para determinar cotas**

Para realizar el diseño de la BAH fue necesario hacer una nivelación con un nivel de ingeniero con el fin de determinar las cotas de trabajo: cota de la bomba, cota de suministro y cota de descarga del sistema de bombeo. Para la realización de los diferentes ensayos que determinarán la eficiencia hidráulica de la BAH, se ha visto necesario considerar 09 escenarios agrupados según la altura de suministro ( $H_s$ ).

#### **3.10.2. Diseño de la BAH**

Este diseño se basa en la metodología empleada por Chero (2018). Los datos de altura de suministro, altura de descarga y longitud de la tubería de suministro utilizadas para el diseño se obtendrán de la nivelación que se realizó en campo.

##### **a. Cálculo de la altura de descarga ( $H_d$ )**

Se determinó la ( $H_d$ ) con un nivel de ingeniero; y de los 9 escenarios se escogió la altura de descarga más desfavorable.

$$***H_d = 6.50 m***$$

##### **b. Cálculo de la altura de suministro ( $H_s$ )**

Se determinó la ( $H_s$ ) con un nivel de ingeniero; y de los 9 escenarios se escogió la altura de suministro más desfavorable.

$$***H_s = 1.49 m***$$

##### **c. Cálculo de la longitud de la tubería de suministro ( $L$ )**

$$***L = 4 (H_s)*** *Ecuación N° 4*$$

Remplazando:

$$***L = 4 * 1.49 m***$$

$$L = 5.96 \text{ m}$$

Pero por facilidad y por el tamaño de las tuberías se escoge la longitud de tubería:

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

**d. Cálculo del ángulo ( $\alpha$ ) que forma la tubería de suministro con el terreno**

$$\text{Sen}(\alpha) = \frac{Hs}{L} \quad \text{Ecuación N° 5}$$

Remplazando:

$$\text{Sen}(\alpha) = 0.186$$

$$\alpha = 10.7^\circ$$

**e. Elección de la tubería de suministro**

Una vez calculada la longitud de la tubería de suministro, procedemos al cálculo del diámetro de la tubería de suministro, para esto haremos uso de la siguiente ecuación:

$$\frac{L}{D_s} = 500 ; \frac{L}{D_s} = 150 \quad \text{Ecuación N° 6}$$
$$D_s = \frac{L}{500} ; D_s = \frac{L}{150}$$

Remplazando:

$$D_s = \frac{8000 \text{ mm}}{500} ; D_s = \frac{8000 \text{ mm}}{150}$$

$$D_s = 16.0 \text{ mm} ; D_s = 53.3 \text{ mm}$$

El diámetro seleccionado para la tubería de suministro es:

$$D_s = 50.8 \text{ mm} = 2 \text{ plg.}$$

El material seleccionado para el conducto de suministro es una tubería de PVC clase 10, esta elección se hizo por temas de costos, es decir, para optimizar gastos, ya que una tubería de acero galvanizado es más costosa.

#### f. Cálculo del caudal de suministro

El caudal está dado por la siguiente ecuación:

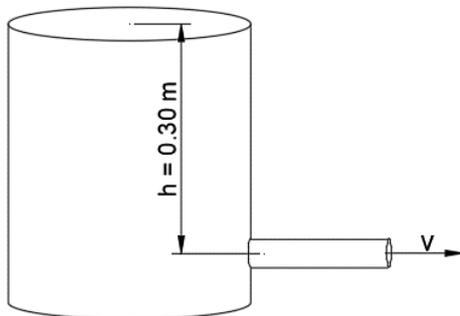
$$Q_s = V * A \quad \text{Ecuación N° 7}$$

$Q_s$  = Caudal de suministro ( $m^3/s$ )

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

$A$  = Area de la sección de la tubería ( $m^2/s$ )

Para el cálculo de la velocidad, se tiene el siguiente gráfico, ya que se utilizó un balde como depósito para el suministro.



Por lo que la velocidad está dada por la siguiente ecuación:

$$V = K * \sqrt{2 * g * h} \quad \text{Ecuación N° 8}$$

El valor K, para este tipo de sistema es:

$$K = 0.51$$

$$h = 0.30 \text{ m}$$

Reemplazando:

$$V = 0.51 * \sqrt{2 * 9.81 * 0.30}$$

$$V = 1.24 \text{ m/s}$$

Para el área se tiene:

$$D_s = 50.8 \text{ mm} = 2 \text{ plg}$$

$$A = \frac{\pi * D_s^2}{4} \quad \text{Ecuación N° 9}$$

Resolviendo y reemplazando en la Ecuación N° 7:

$$Q_s = V * A$$

$$Q_s = 9.12 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_s = 0.912 \text{ L/s}$$

#### g. Elección de la tubería de descarga

Para determinar el diámetro de la tubería de descarga utilizaremos la siguiente ecuación:

$$D_d = \frac{D_s}{4} \quad \text{Ecuación N° 10}$$

Reemplazando:

$$D_d = \frac{2 \text{ plg}}{4}$$

$$D_d = \frac{1}{2} \text{ plg}$$

El material seleccionado para el conducto de descarga es una manguera flexible de 1/2".

## h. Selección y diseño de componentes del ariete hidráulico

### - Cuerpo del ariete

$$D_{ariete} = \frac{D_s}{2} \quad \text{Ecuación N° 11}$$

Remplazando:

$$D_{ariete} = \frac{2 \text{ plg}}{2}$$

$$D_{ariete} = 1 \text{ plg}$$

por conveniencia el diámetro del cuerpo de la bomba de ariete será de 1", ya que teniendo en cuenta que al reducir el diámetro de la tubería de suministro aumentara la velocidad al entrar a la bomba de ariete por lo que el golpe de ariete será con mayor fuerza, ya que la aceleración aumentara. El material seleccionado para el conducto de suministro es una tubería de PVC clase 10.

### - Válvula de pie, Válvula check, Válvula globo y demás accesorios

Como el cuerpo de la bomba ya tiene diámetro conocido, entonces los demás componentes también serán de 1 plg.

Cabe resaltar que no es adecuado colocar la válvula check en la tubería de suministro, porque genera muchas pérdidas de energía y de velocidad del fluido. Como se sabe, la BAH funciona por el golpe de ariete, generado por el cierre violento de las válvulas de pie.

## i. Diseño de la cámara de aire

Para el diseño de la cámara de aire se usará una tubería de PVC de 4" de diámetro. Si se calcula el volumen de agua contenida en la tubería de entrega, se tendrá el volumen total de la cámara de aire.

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

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

Se calculará con la siguiente ecuación:

$$Vte = \frac{\pi * D_d^2}{4} * Hd \quad \text{Ecuación N° 12}$$

Donde:

$Vte$  = Volumen de agua contenida en la tubería de entrega ( $m^3$ )

$D_d$  = Diámetro interno de la tubería de entrega (m)

$Hd$  = Altura de descarga (m)

Remplazando:

$$Vte = \frac{\pi * (0.013 \text{ m})^2}{4} * 6.50 \text{ m}$$

$$Vte = 4.90 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

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

$$Vca = \frac{\pi * D_c^2}{4} * Hca \quad \text{Ecuación N° 13}$$

$Vte$  = Volumen de la cámara de aire ( $m^3$ )

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

$Hca$  = Altura de la cámara de aire (m)

Despejando:

$$Hca = \frac{4 * Vca}{\pi * D_c^2}$$

Remplazando:

$$Hca = \frac{4 * 4.90 * 10^{-3} \text{ m}^3}{\pi * (0.1077 \text{ m})^2}$$

$$Hca = 0.538 \text{ m}$$

Por lo tanto, la altura o longitud de la cámara de aire será de **0.60 m**

**j. Cálculo de la presión mínima y máxima en la de aire**

la Presión mínima ( $P_1$ ) se obtiene en el instante que la válvula de descarga está cerrada, y se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_1 = Hd \text{ (m. c. a.)} \quad \text{Ecuación N° 14}$$

Remplazando:

$$P_1 = 6.50 \text{ m. c. a.}$$

**k. Cálculo del volumen inicial de agua y aire en la cámara de aire**

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

Como el volumen total del tanque es:

$$V_{ca} = 4.90 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

El volumen de aire y de agua se calculará así:

$$V_{i\text{agua}} = 0.3 * V_{ca}$$

$$V_{i\text{aire}} = 0.7 * V_{ca}$$

Remplazando:

$$V_{i\text{agua}} = 0.3 * 4.90 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_{i\text{agua}} = 1.47 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_{i\text{aire}} = 0.7 * 4.90 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_{i\text{aire}} = 3.43 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

## I. Cálculo del volumen final de agua y aire en la cámara de aire

Con el trabajo de la bomba estas proporciones cambian y se reduce el aire hasta que el 25% del volumen de la cámara es aire, y el 75% es agua; es por eso que en este prototipo se consideró esferas elásticas para aumentar el volumen compresible para que tenga un mejor funcionamiento

- 03 esferas compresibles de radio de  $3 \text{ cm} = 0.03 \text{ m}$ ; y modulo de elasticidad de  $1.3 * 10^4 \text{ Kg/cm}^2$ .

Por lo tanto, el volumen total de las esferas se calculará así:

$$V_{\text{esferas}} = N * \frac{4 * \pi r^3}{3} \quad \text{Ecuación N° 15}$$

Donde:

$$N = 3$$

$$R = 0.03 \text{ m}$$

Remplazando:

$$V_{\text{esferas}} = 3 * \frac{4 * \pi (0.03 \text{ m})^3}{3}$$

$$V_{\text{esferas}} = 3.39 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

El volumen de aire se calculará así:

$$V_{\text{f aire}} = 0.25 * V_{\text{ca}} + V_{\text{esferas}}$$

Remplazando:

$$V_{\text{f aire}} = 0.25 * 4.90 * 10^{-3} \text{ m}^3 + 3.39 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{f aire}} = 1.57 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

El volumen de agua se calculará así:

$$V_{\text{f agua}} = V_{\text{ca}} - V_{\text{f aire}}$$

Remplazando:

$$V_{\text{f agua}} = 4.90 * 10^{-3} \text{ m}^3 - 1.57 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_{fagua} = 3.34 * 10^{-3} m^3$$

Como se menciona en la teoría, la BAH funciona por el fenómeno del golpe de ariete y la sobrepresión que genera y es almacenada en la cámara de aire, en donde una parte de esta es aire y la otra es agua; siendo solo el aire compresible, mientras más volumen de aire se tenga, la BAH tendrá un mejor funcionamiento. También existen cámaras de aire flexibles en donde ya no se necesita de aire, porque la tubería es expandible. En el caso del PVC, no funciona de esta manera, por eso se ha visto en la necesidad de crear la cámara de aire y recurrir a poner esferas elásticas para aumentar el volumen compresible.

**m. Cálculo de la relación Volumen de agua y volumen de aire en la cámara de aire**

$$\frac{V_{fagua}}{V_{f aire}} = \varphi \quad \text{Ecuación N° 16}$$

Remplazando:

$$\varphi = \frac{3.34 * 10^{-3} m^3}{1.57 * 10^{-3} m^3}$$

$$\varphi = 2$$

Como se puede apreciar las esferas aumentan el volumen compresible en la cámara de aire. Entonces se tiene que en la cámara de aire el 33 % es aire y el 67 % es agua.

### **3.10.3. Fabricación de la BAH modificable**

Al no existir este tipo de bombas de ariete en el mercado, el tesista fabricó una BAH modificable con una, dos y tres válvulas de pie en serie teniendo en cuenta el diseño anterior. Esta bomba se fabricó con las siguientes especificaciones: con válvulas de pie de Ø1", válvulas Check de Ø1", tubería de Ø 2" para la entrada a la bomba y tubería de Ø1/2" para la salida de la bomba, el sistema de la cámara de aire con una tubería de Ø4" de 60 cm de largo, además se incluye un manómetro en la tubería de salida de la bomba para medir las presiones. Todo este sistema se construyó con tubería pesada con rosca para facilitar el ensamblaje de la bomba y también así poder modificar la cantidad de válvulas de pie.

Los materiales utilizados en la construcción de la BAH, plano a detalle y su registro fotográfico se presenta en los anexos adjuntos a esta investigación.

### **3.10.4. Medición del caudal de suministro (Q) y caudal de entrega (q)**

Para esto se hizo los ensayos respectivos e individuales de la BAH para los 09 escenarios propuestos, se procedió a medir el caudal de suministro (Q) y el caudal de entrega (q) (mínimo 10 veces por caso) con el método volumétrico, que consiste en tener un depósito de volumen conocido y cronometrar el tiempo de llenado.

Se hace de conocimiento que para el caudal de suministro (Q) se ha considerado un balde de 18 litros, el cual se ha graduado cada 4 litros para poder realizar las tomas de medidas de caudal. Mientras, que para el caudal de entrega (q) se ha considerado un balde de 4 litros para la toma de estos tiempos.

### **3.10.5. Caudal de suministro (Q) en relación con la altura de suministro (Hs)**

Se agrupará los caudales de suministro de acuerdo a las alturas de suministro (Hs), así mismo se hará representaciones graficas con estos valores; para determinar gráficamente la relación que existen entre estos parámetros.

### **3.10.6. Medición de la presión máxima generada en la cámara de aire de la bah con una, dos y tres válvulas de pie**

Para medir la presión máxima individual en cada escenario de la BAH modificable, esta contó con un manómetro en la tubería de salida de la bomba, donde para registrar la presión máxima generada en la cámara de aire se procedió a cerrar la llave de paso de la salida para que el manómetro registre la presión máxima, cabe resaltar que esta presión fue la máxima para cada altura de suministro (Hs) considerada. Los valores encontrados para la presión, serán convertidos a metros columna de agua (m.c.a.). 1Bar= 10.2 m.c.a.

### **3.10.7. Cálculo y promedio de la eficiencia hidráulica ( $n$ )**

Se calculó la eficiencia hidráulica de la BAH con una, dos y tres válvulas de pie, con la Ecuación N° 3 presentada en el ítem 2.2.7. Teniendo estos datos se calculó el promedio de la eficiencia hidráulica para la BAH en función del número de válvulas de pie.

### **3.10.8. Representación gráfica eficiencia hidráulica ( $n$ ) Vs. altura de suministro (Hs), con la altura de descarga (Hd) constante**

Se realizará las representaciones gráficas con los datos obtenidos de eficiencia hidráulica ( $n$ ) y altura de suministro (Hs), considerando el valor de la altura de descarga (Hd) constante, a manera de que sea un indicador del crecimiento o disminución de la eficiencia hidráulica ( $n$ ).

### **3.10.9. Representación gráfica eficiencia hidráulica ( $n$ ) Vs. altura de descarga ( $H_d$ ), con la altura de suministro ( $H_s$ ) constante**

Se realizará las representaciones gráficas con los datos obtenidos de eficiencia hidráulica ( $n$ ) y altura de descarga ( $H_d$ ), considerando el valor de la altura de suministro ( $H_s$ ) constante, a manera de que sea un indicador del crecimiento o disminución de la eficiencia hidráulica ( $n$ ).

### **3.10.10. Cálculo de la variación de la eficiencia hidráulica ( $n$ ) de la BAH con una, dos y tres válvulas de pie**

La variación de la eficiencia hidráulica se obtuvo mediante la siguiente ecuación según los datos de campo.

$$V(\%)_i = \frac{n_{i+1} - n_i}{n_i} \% \quad \text{Ecuación N° 17}$$

Donde:

- $V(\%)_i$  = Variación de la eficiencia hidráulica.
- $n_i$  = Eficiencia hidráulica de la BAH con  $i$  válvulas de pie.
- $n_{i+1}$  = Eficiencia hidráulica de la BAH con  $(i + 1)$  válvulas de pie.

### **3.10.11. Determinación de la correlación de la eficiencia hidráulica ( $n$ ) con los parámetros: caudal de suministro ( $Q$ ), caudal de entrega ( $q$ ), altura de suministro ( $H_s$ ) y altura de descarga ( $H_d$ ).**

Habiendo calculado las eficiencias hidráulicas ( $n$ ) con los datos obtenidos en campo, con la ecuación N°3, se planteó una correlación lineal donde la eficiencia esté en función de los parámetros ya mencionados para la BAH con una, dos y tres válvulas de pie, llegando a una matriz 4x4 para poder hallar los coeficientes de esta correlación.

### 3.11. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

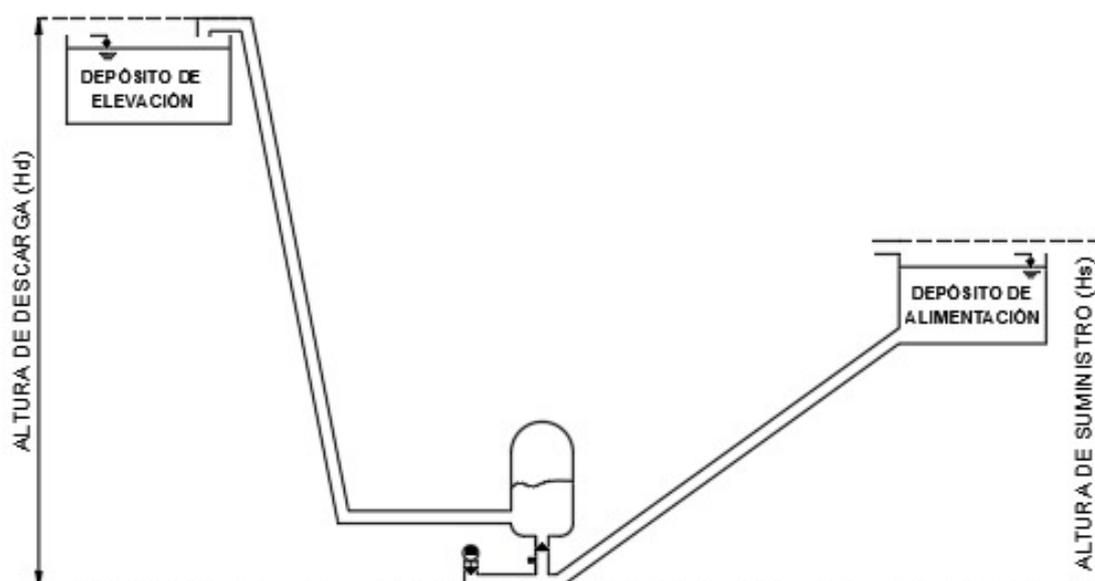
#### 3.11.1. Nivelación Insitu para determinar cotas

De los datos obtenidos en campo (Anexo A) se obtiene la siguiente tabla resumen de las alturas de suministro ( $H_s$ ) y de descarga ( $H_d$ ) para cada escenario.

Tabla N° 1.  $H_s$  y  $H_d$  obtenidas de las nivelaciones

ESCENARIO	$H_s$ (m)	$H_d$ (m)
N° 1		6.50
N° 2	1.49	5.71
N° 3		4.93
N° 4		6.50
N° 5	1.69	5.71
N° 6		4.93
N° 7		6.50
N° 8	2.21	5.71
N° 9		4.93

Figura N° 18. Esquematización de ( $H_s$ ) y ( $H_d$ ) de los escenarios de la BAH



### 3.11.2. Medición del caudal de suministro (Q) y caudal de entrega (q)

Se realizó el registro de los tiempos tomados para la BAH con una, dos y tres válvulas de pie; así como, el cálculo de su caudal (Ec. 5). Dicho registro se presenta a detalle en el Anexo B.

$$Q = \frac{V}{T}; q = \frac{V}{T} \quad \text{Ecuación N° 18}$$

Donde:

- $Q$  : caudal de suministro. (l/seg)
- $q$ : caudal de entrega. (l/seg)
- $V$ : volumen (4 litros).
- $T$ : tiempo en seg.

### 3.11.3. Medición de la presión máxima generada en la cámara de aire de la BAH con una, dos y tres válvulas de pie

A continuación, se presentan las lecturas de manómetro registradas para los 9 escenarios planteados para esta investigación. Como se especificó anteriormente, los escenarios N°1, 2 y 3 tienen una la altura de suministro de 1.49 m, los escenarios N°4, 5 y 6 una altura de suministro de 1.69 m y para los escenarios N° 7, 8 y 9 una altura de suministro de 2.21 m, es por esto que para las presiones máximas se ha agrupado según esta condición.

### 3.11.3.1 Presión máxima para los escenarios N° 1, 2 Y 3 (Hs= 1.49 m)

Tabla N° 2. Lectura del manómetro en la BAH con una válvula de pie

Lectura N.º	Presión (Bar)
1	1.20
2	1.15
3	1.20
4	1.15
5	1.20
<b>Valor Prom.</b>	<b>1.18</b>

Tabla N° 3. Lectura del manómetro en la BAH con dos válvulas de pie

Lectura N.º	Presión (Bar)
1	1.50
2	1.55
3	1.55
4	1.50
5	1.60
<b>Valor Prom.</b>	<b>1.54</b>

Tabla N° 4. Lectura del manómetro en la BAH con tres válvulas de pie

Lectura N.º	Presión (Bar)
1	1.95
2	1.95
3	2.00
4	1.95
5	2.00
<b>Valor Prom.</b>	<b>1.97</b>

### 3.11.3.2 Presión máxima para los escenarios N° 4, 5 Y 6 (Hs= 1.69 m)

Tabla N° 5. Lectura del manómetro en la BAH con una válvula de pie

Lectura N.º	Presión (Bar)
1	1.30
2	1.25
3	1.30
4	1.35
5	1.35
<b>Valor Prom.</b>	<b>1.31</b>

Tabla N° 6. Lectura del manómetro en la BAH con dos válvulas de pie

Lectura N.º	Presión (Bar)
1	1.75
2	1.80
3	1.75
4	1.80
5	1.75
<b>Valor Prom.</b>	<b>1.77</b>

Tabla N° 7. Lectura del manómetro en la BAH con tres válvulas de pie

Lectura N.º	Presión (Bar)
1	2.20
2	2.25
3	2.20
4	2.20
5	2.25
<b>Valor Prom.</b>	<b>2.22</b>

### 3.11.3.3 Presión máxima para los escenarios N° 7, 8 Y 9 (Hs= 2.21 m)

Tabla N° 8. Lectura del manómetro en la BAH con una válvula de pie

Lectura N.º	Presión (Bar)
1	1.75
2	1.70
3	1.75
4	1.75
5	1.70
<b>Valor Prom.</b>	<b>1.73</b>

Tabla N° 9. Lectura del manómetro en la BAH con dos válvulas de pie

Lectura N.º	Presión (Bar)
1	2.25
2	2.30
3	2.30
4	2.30
5	2.25
<b>Valor Prom.</b>	<b>2.28</b>

Tabla N° 10. Lectura del manómetro en la BAH con tres válvulas de pie

Lectura N.º	Presión (Bar)
1	2.95
2	3.00
3	3.00
4	2.95
5	3.00
<b>Valor Prom.</b>	<b>2.98</b>

### 3.12. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 3.12.1. Caudal de suministro (Q) y caudal de entrega (q) promedio de la BAH con una, dos y tres válvulas de pie

Tabla N° 11. Caudal de suministro promedio (Q)

ESCENARIO	Caudal de suministro promedio para la BAH con ...		
	una válvula	dos válvulas	tres válvulas
N° 1	0.9659	0.9721	1.0133
N° 2	0.9675	0.9762	1.0189
N° 3	0.9709	0.9784	1.0324
N° 4	0.9759	0.9810	1.0237
N° 5	0.9763	0.9814	1.0271
N° 6	0.9771	0.9822	1.0278
N° 7	0.9803	0.9841	1.0352
N° 8	0.9808	0.9838	1.0348
N° 9	0.9807	0.9843	1.0357
Q prom.	0.9750	0.9804	1.0277

Tabla N° 12. Caudal de entrega promedio (q)

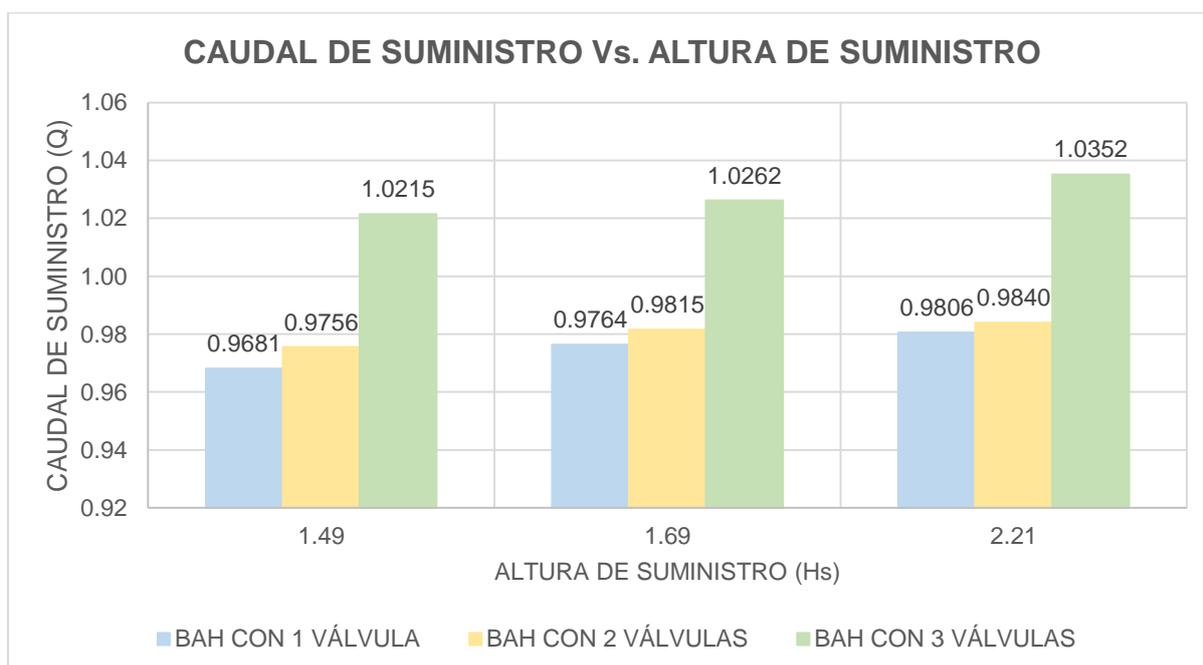
ESCENARIO	Caudal de entrega promedio para la BAH con ...		
	una válvula	dos válvulas	tres válvulas
N° 1	0.0079	0.0110	0.0131
N° 2	0.0091	0.0128	0.0156
N° 3	0.0107	0.0158	0.0190
N° 4	0.0090	0.0127	0.0154
N° 5	0.0105	0.0147	0.0179
N° 6	0.0123	0.0180	0.0216
N° 7	0.0121	0.0168	0.0205
N° 8	0.0140	0.0195	0.0238
N° 9	0.0162	0.0236	0.0290

### 3.12.2. Relación entre el caudal de suministro (Q) y la altura de suministro (Hs) para la BAH

Tabla N° 13. Q prom según la Hs para las BAH con una, dos y tres válvulas de pie

Hs	ESCENARIO	Caudal de suministro promedio para la BAH con		
		una válvula	dos válvulas	tres válvulas
1.49	N° 1	0.9659	0.9721	1.0133
	N° 2	0.9675	0.9762	1.0189
	N° 3	0.9709	0.9784	1.0324
	<b>Q promedio</b>	<b>0.9681</b>	<b>0.9756</b>	<b>1.0215</b>
1.69	N° 4	0.9759	0.9810	1.0237
	N° 5	0.9763	0.9814	1.0271
	N° 6	0.9771	0.9822	1.0278
	<b>Q promedio</b>	<b>0.9764</b>	<b>0.9815</b>	<b>1.0262</b>
2.21	N° 7	0.9803	0.9841	1.0352
	N° 8	0.9808	0.9838	1.0348
	N° 9	0.9807	0.9843	1.0357
	<b>Q promedio</b>	<b>0.9806</b>	<b>0.9840</b>	<b>1.0352</b>

Gráfico N° 1. Caudal de suministro (Q) Vs. Altura de suministro (Hs)



### 3.12.3. Determinación de la presión máxima en la BAH con una, dos y tres válvulas de pie

Dónde:

- **P. máx:** Presión máxima registrada en el manómetro.
- **1 Bar = 10.2 m.c.a.**

Tabla N° 14. Presión máxima para la BAH con una, dos y tres válvulas de pie

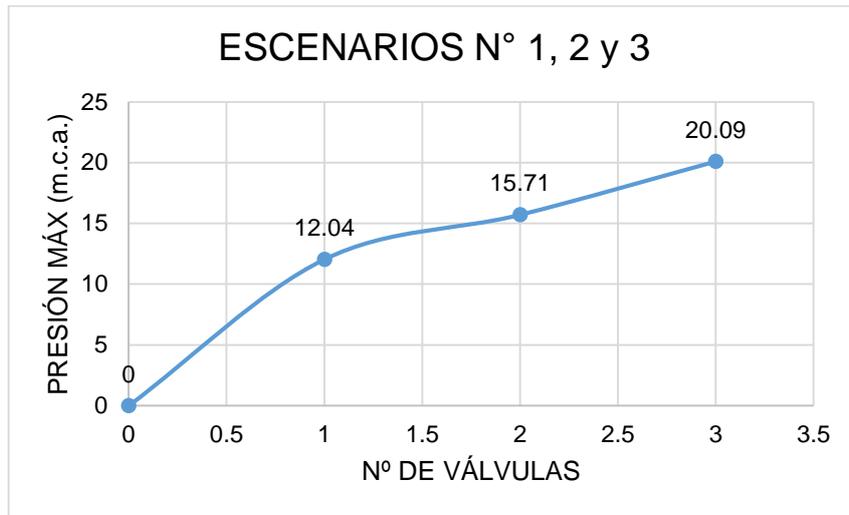
	BAH ...	P. máx (Bar)	P. máx (m.c.a.)
<b>ESCENARIOS</b> N° 1, 2 y 3 Hs= 1.49 m.	Con una válvula de pie	1.18	12.04
	Con dos válvulas de pie	1.54	15.71
	Con tres válvulas de pie	1.97	20.09
<b>ESCENARIOS</b> N° 4, 5 y 6 Hs= 1.69 m.	Con una válvula de pie	1.31	13.36
	Con dos válvulas de pie	1.77	18.05
	Con tres válvulas de pie	2.22	22.64
<b>ESCENARIOS</b> N° 7, 8 y 9 Hs= 2.21 m	Con una válvula de pie	1.73	17.65
	Con dos válvulas de pie	2.28	23.26
	Con tres válvulas de pie	2.98	30.40

### 3.12.4. Representación gráfica de la presión máxima generada en la BAH con una, dos y tres válvulas de pie

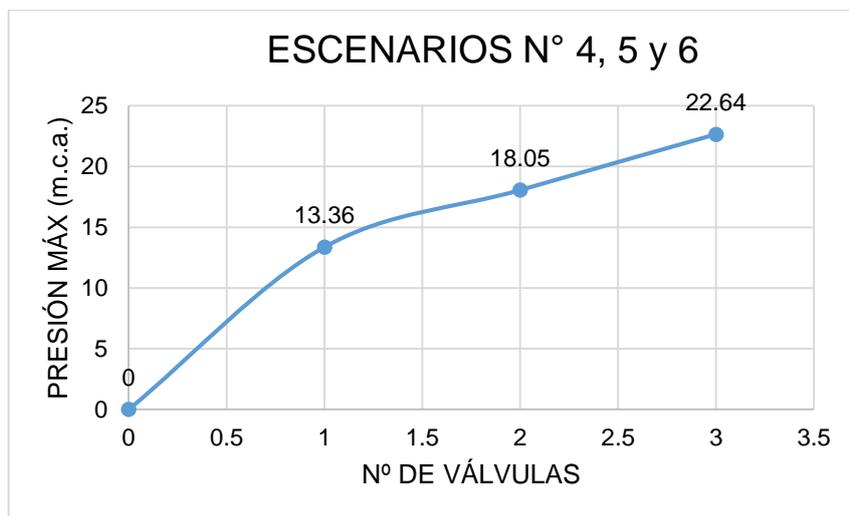
Los datos de las presiones máximas se describen a detalle en el ítem 3.12.4.

A continuación se muestra unos gráficos donde se detalla la presión máxima Vs. el número de válvulas de pie de cada BAH.

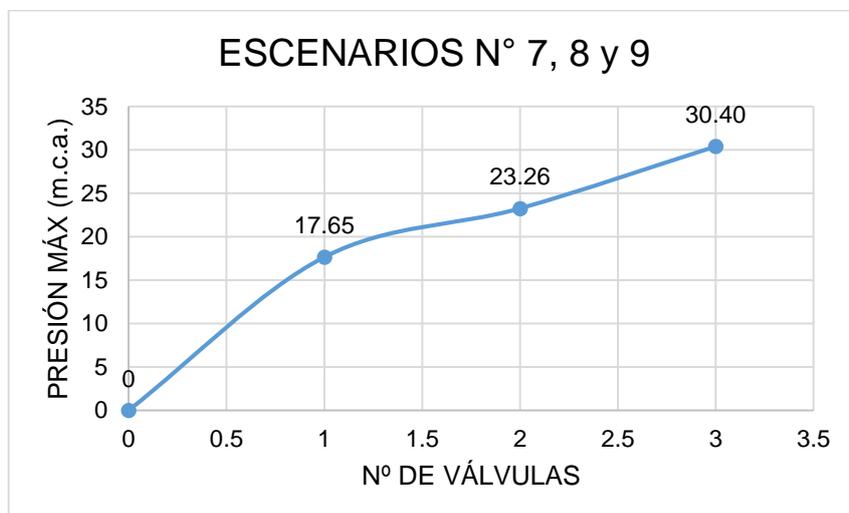
**Gráfico N° 2. Presión máx. Vs. N° de válvulas de pie de la BAH (E1, E2 y E3)**



**Gráfico N° 3. Presión máx. Vs. N° de válvulas de pie de la BAH (E4, E5 y E6)**



**Gráfico N° 4. Presión máx. Vs. N° de válvulas de pie de la BAH (E7, E8 y E9)**



### 3.12.5. Cálculo y promedio de la eficiencia hidráulica ( $n$ )

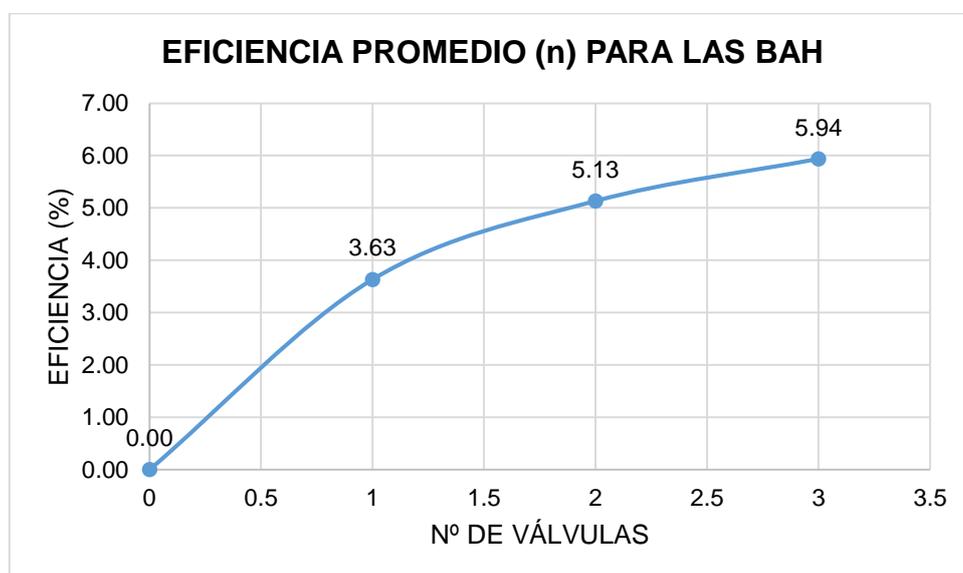
Tabla N° 15. Cálculo de la eficiencia hidráulica ( $n$ )

E	BAH ...	Q	q	Hs	Hd	$n$ Ec. (3)
N°1	Con una válvula de pie	0.9659	0.0079			3.55%
	Con dos válvulas de pie	0.9721	0.0110	1.49	6.50	4.92%
	Con tres válvulas de pie	1.0133	0.0131			5.64%
N°2	Con una válvula de pie	0.9675	0.0091			3.60%
	Con dos válvulas de pie	0.9762	0.0128	1.49	5.71	5.02%
	Con tres válvulas de pie	1.0189	0.0156			5.88%
N°3	Con una válvula de pie	0.9709	0.0107			3.65%
	Con dos válvulas de pie	0.9784	0.0158	1.49	4.93	5.32%
	Con tres válvulas de pie	1.0324	0.0190			6.07%
N°4	Con una válvula de pie	0.9759	0.0090			3.57%
	Con dos válvulas de pie	0.9810	0.0127	1.69	6.50	4.97%
	Con tres válvulas de pie	1.0237	0.0154			5.78%
N°5	Con una válvula de pie	0.9763	0.0105			3.65%
	Con dos válvulas de pie	0.9814	0.0147	1.69	5.71	5.08%
	Con tres válvulas de pie	1.0271	0.0179			5.90%
N°6	Con una válvula de pie	0.9771	0.0123			3.67%
	Con dos válvulas de pie	0.9822	0.0180	1.69	4.93	5.34%
	Con tres válvulas de pie	1.0278	0.0216			6.14%
N°7	Con una válvula de pie	0.9803	0.0121			3.62%
	Con dos válvulas de pie	0.9841	0.0168	2.21	6.50	5.03%
	Con tres válvulas de pie	1.0352	0.0205			5.84%
N°8	Con una válvula de pie	0.9808	0.0140			3.69%
	Con dos válvulas de pie	0.9838	0.0195	2.21	5.71	5.13%
	Con tres válvulas de pie	1.0348	0.0238			5.95%
N°9	Con una válvula de pie	0.9807	0.0162			3.69%
	Con dos válvulas de pie	0.9843	0.0236	2.21	4.93	5.36%
	Con tres válvulas de pie	1.0357	0.0290			6.24%

**Tabla N° 16. Eficiencia Hidráulica promedio ( $\eta$ ) para las BAH**

<b>BAH ...</b>	<b><math>\eta</math> prom</b>
Con una válvula de pie	3.63%
Con dos válvulas de pie	5.13%
Con tres válvulas de pie	5.94%

**Gráfico N° 5. Eficiencia hidráulica promedio ( $\eta$ ) para las BAH**

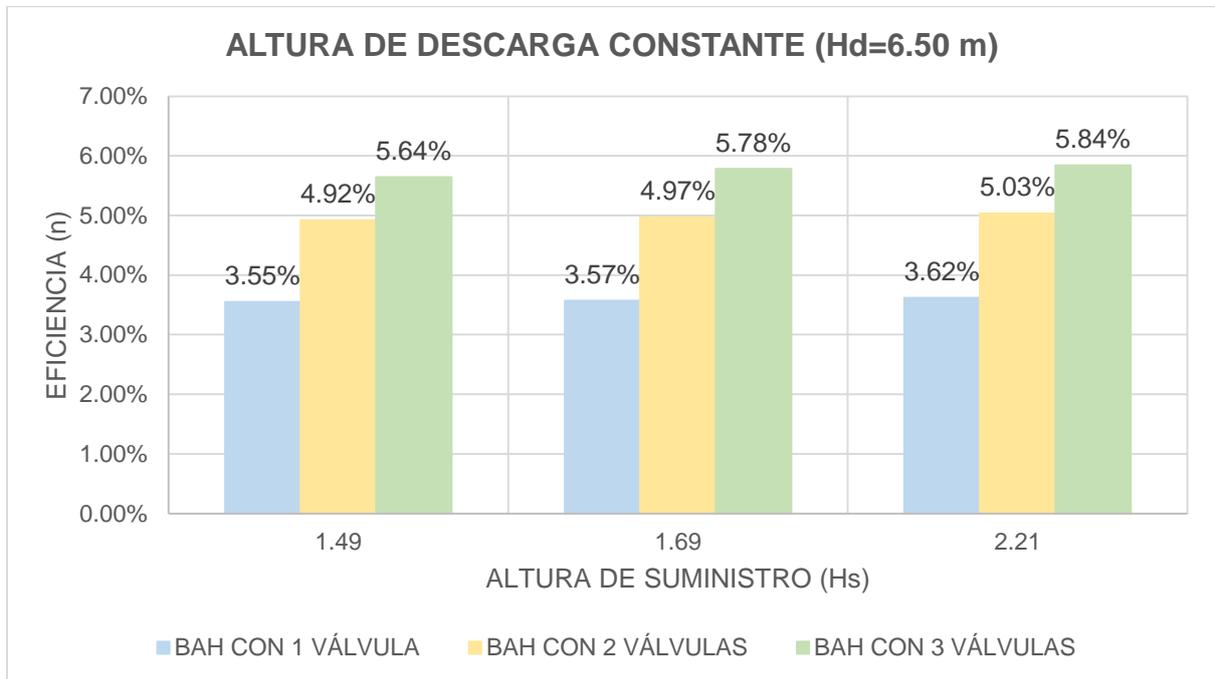


### **3.12.6. Representación gráfica eficiencia hidráulica ( $\eta$ ) Vs altura de suministro ( $H_s$ ), con la altura de descarga ( $H_d$ ) constante**

Los datos de las eficiencias hidráulicas serán agrupados de acuerdo al número de válvulas de pie y a la altura de descarga ( $H_d$ ), cuyas alturas son: 6.50 m., 5.71 m. y 4.93 m., donde este parámetro será constante. Sin embargo, las alturas de suministro ( $H_s$ ) variarán de acuerdo a cada altura de descarga ( $H_d$ ); considerando que la altura de suministro ( $H_s$ ) tiene valores de: 1.49 m., 1.69 m. y 2.21 m. De esta manera se apreciará el comportamiento de la eficiencia hidráulica cuando varía la altura de descarga ( $H_d$ ), como se muestra a continuación:

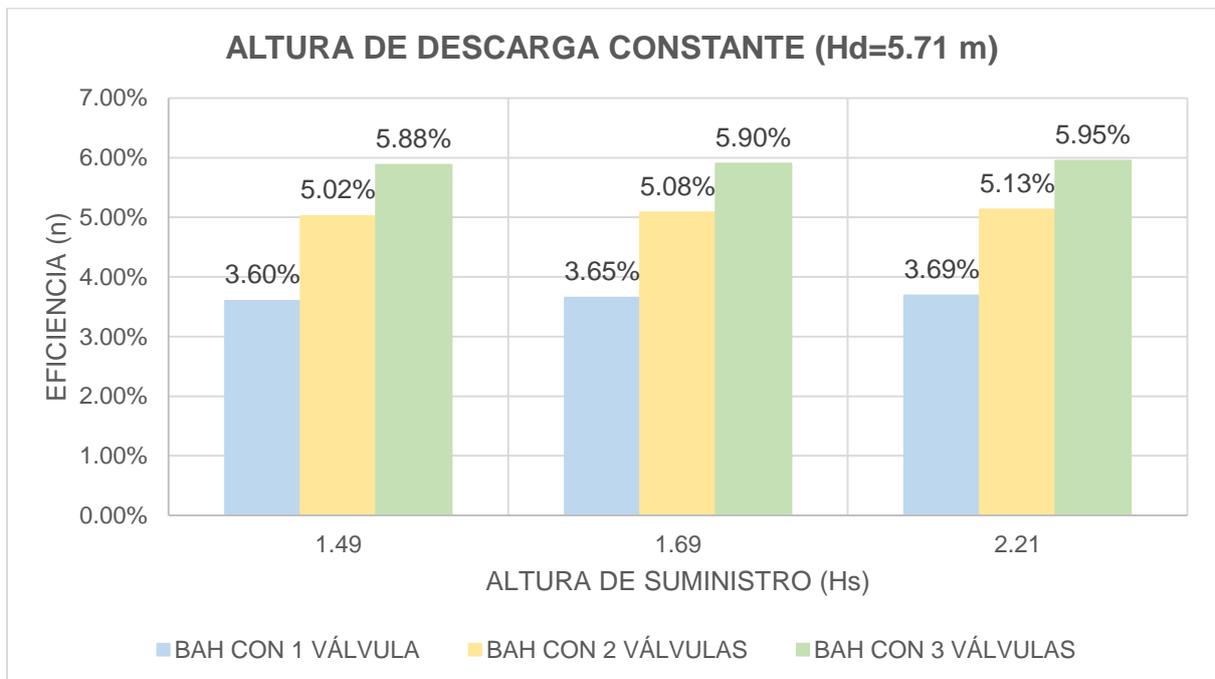
- Para una altura de descarga,  $H_d = 6.50$  m.

**Gráfico N° 6. Altura de descarga constante ( $H_d = 6.50$  m)**



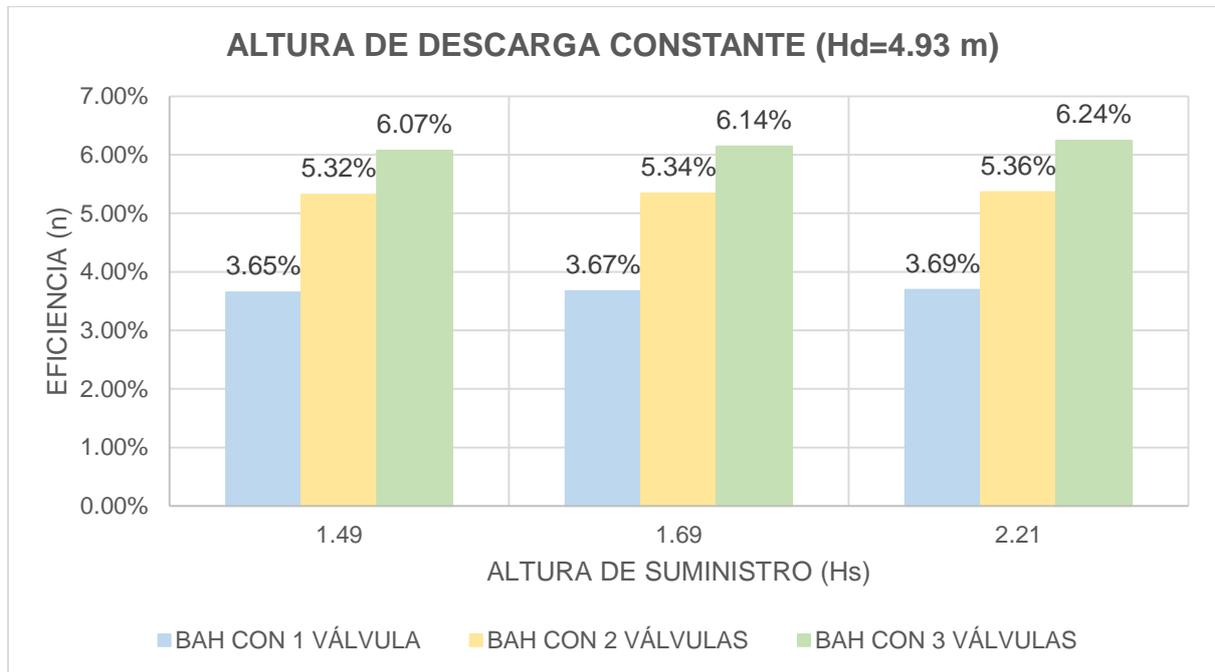
- Para una altura de descarga,  $H_d = 5.71$  m.

**Gráfico N° 7. Altura de descarga constante ( $H_d = 5.71$  m)**



- Para una altura de descarga,  $H_d = 4.93$  m.

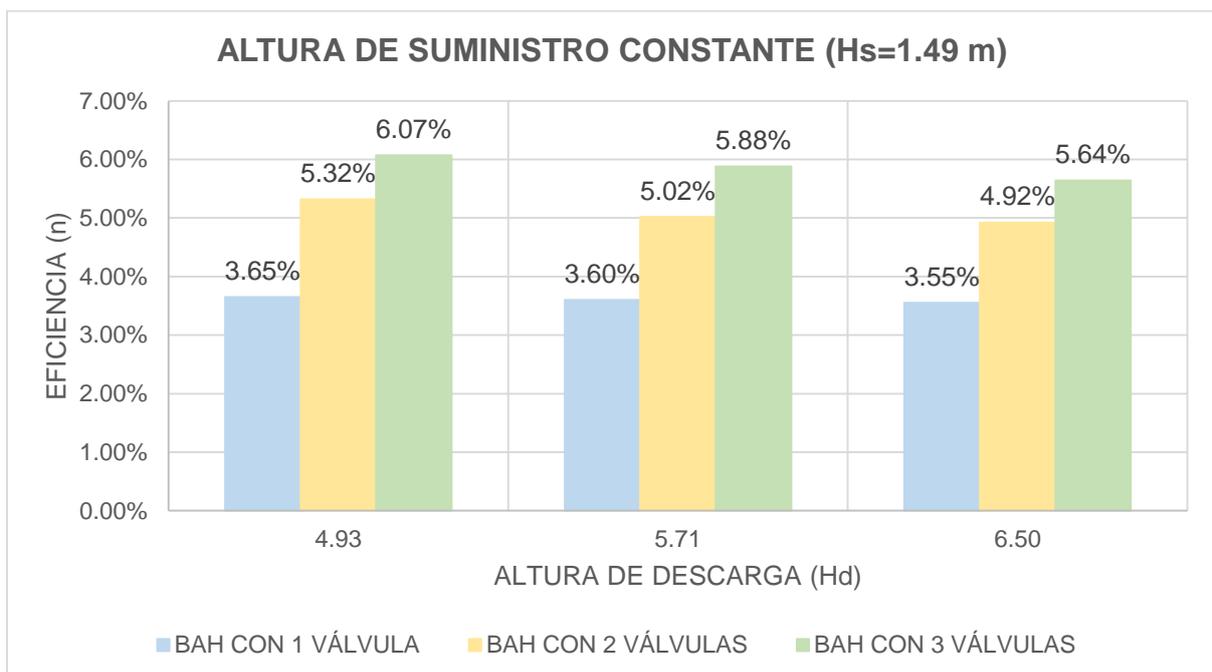
**Gráfico N° 8. Altura de descarga constante ( $H_d = 4.93$  m)**



### 3.12.7. Representación gráfica eficiencia hidráulica ( $n$ ) Vs. altura de descarga ( $H_d$ ), con la altura de suministro ( $H_s$ ) constante

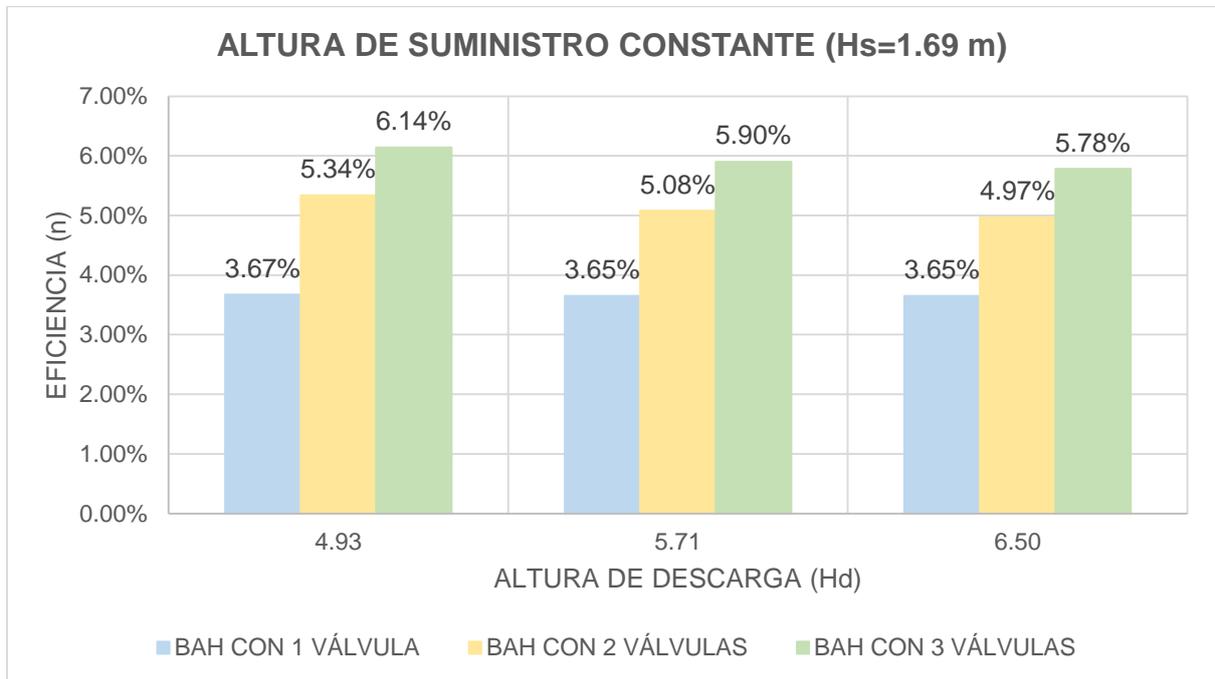
- Para una altura de suministro,  $H_s = 1.49$  m.

**Gráfico N° 9. Altura de suministro constante ( $H_s = 1.49$  m)**



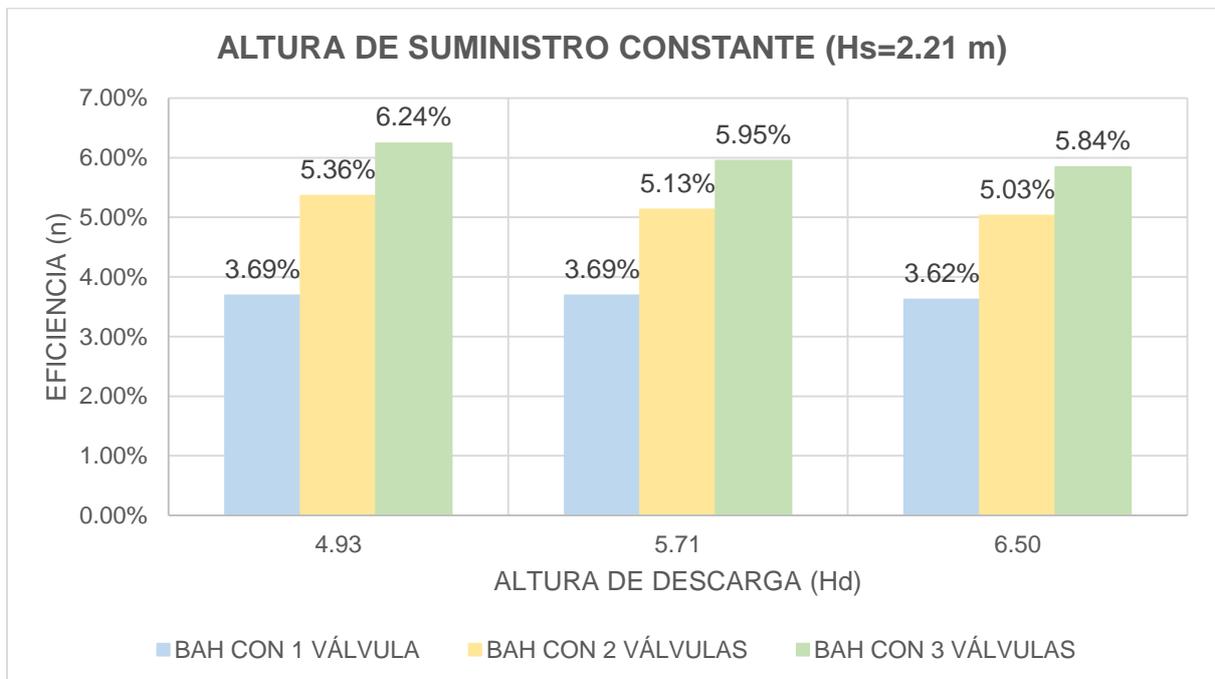
- Para una altura de suministro,  $H_s = 1.69$  m.

**Gráfico N° 10. Altura de suministro constante ( $H_s = 1.69$  m)**



- Para una altura de suministro,  $H_s = 2.21$  m.

**Gráfico N° 11. Altura de suministro constante ( $H_s = 2.21$  m)**



### 3.12.8. Cálculo de la variación de la eficiencia hidráulica ( $n$ ) en relación al incremento del número de válvulas de pie

Para este ítem consideraremos la siguiente Ecuación N° 17.

$$V(\%)_i = \frac{n_{i+1} - n_i}{n_i} \%$$

Donde:

- $V(\%)_i$  = Variación de la eficiencia hidráulica.
- $n_i$  = Eficiencia hidráulica de la BAH con  $i$  válvulas de pie.
- $n_{i+1}$  = Eficiencia hidráulica de la BAH con  $(i + 1)$  válvulas de pie.
- **Variación de la eficiencia hidráulica entre las BAH, de una válvula de pie y dos válvulas de pie**

$$V(\%)_1 = \frac{5.13 - 3.63}{3.63} \% = 41.25\%$$

- **Variación de la eficiencia hidráulica entre las BAH, de dos válvulas de pie y tres válvulas de pie**

$$V(\%)_1 = \frac{5.94 - 5.13}{5.13} \% = 15.70\%$$

- **Variación de la eficiencia hidráulica entre las BAH, de una válvula de pie y tres válvulas de pie**

$$V(\%)_1 = \frac{5.94 - 3.63}{3.63} \% = 63.43\%$$

### 3.12.9. Determinación de la correlación de la eficiencia hidráulica ( $n$ ) con los parámetros: caudal de suministro ( $Q$ ), caudal de entrega ( $q$ ), altura de suministro ( $H_s$ ) y altura de descarga ( $H_d$ ).

La correlación que más se ajusta es la lineal ya que esta se puede agrupar en suma de varios términos independientes, que al ser sumados se tiene una variable

dependiente, siendo en este caso la eficiencia hidráulica ( $n$ ); por lo tanto, la ecuación de la  $n = f(Q, q, Hs, Hd)$  , se puede escribir así:

$$n = A * Q + B * q + C * Hs + D * Hd \quad \text{Ecuación N° 19}$$

Donde:

- A, B, C y D: son coeficientes.
- Q: Caudal de suministro.
- q: Caudal de entrega.
- Hs: altura de suministro.
- Hd: altura de descarga.

De esta ecuación general, se forma el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{cases} A * Q_1 + B * q_1 + C * Hs_1 + D * Hd_1 = n_1 \\ A * Q_4 + B * q_4 + C * Hs_4 + D * Hd_4 = n_4 \\ A * Q_6 + B * q_6 + C * Hs_6 + D * Hd_6 = n_6 \\ A * Q_9 + B * q_9 + C * Hs_9 + D * Hd_9 = n_9 \end{cases} \quad \text{Ecuación N° 20}$$

Donde los subíndices 1, 4, 6 y 9 son los números de escenarios que han generado el menor error en la correlación. Este sistema de ecuaciones se puede expresar matricialmente de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} Q_1 & q_1 & Hs_1 & Hd_1 \\ Q_4 & q_4 & Hs_4 & Hd_4 \\ Q_6 & q_6 & Hs_6 & Hd_6 \\ Q_9 & q_9 & Hs_9 & Hd_9 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_1 \\ n_4 \\ n_6 \\ n_9 \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación N° 21}$$

Para solucionar la ecuación N°19 y obtener los valores de A, B, C y D, multiplicamos por la izquierda por la matriz inversa de 4x4, así:

$$\begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 & q_1 & Hs_1 & Hd_1 \\ Q_4 & q_4 & Hs_4 & Hd_4 \\ Q_6 & q_6 & Hs_6 & Hd_6 \\ Q_9 & q_9 & Hs_9 & Hd_9 \end{bmatrix}^{-1} * \begin{bmatrix} n_1 \\ n_4 \\ n_6 \\ n_9 \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación N° 22}$$

Tomando los valores de los siguientes parámetros: Q, q, Hs, Hd y n para la BAH con una válvula de pie, presentados en la Tabla N° 15, estos son reemplazados en la Ecuación N° 22, quedando de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.9659 & 0.0079 & 1.49 & 6.50 \\ 0.9759 & 0.0090 & 1.69 & 6.50 \\ 0.9771 & 0.0123 & 1.69 & 4.93 \\ 0.9807 & 0.0162 & 2.21 & 4.93 \end{bmatrix}^{-1} * \begin{bmatrix} 3.55\% \\ 3.57\% \\ 3.67\% \\ 3.69\% \end{bmatrix}$$

*Ecuación N° 23*

$$\begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -21.08 & 18.43 & 14.35 & -10.85 \\ 2045.90 & -2103.01 & -652.48 & 727.78 \\ -15.20 & 15.64 & 2.87 & -3.46 \\ 4.28 & -3.77 & -2.00 & 1.52 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 3.55\% \\ 3.57\% \\ 3.67\% \\ 3.69\% \end{bmatrix}$$

Finalmente, al resolver este sistema de ecuaciones se obtiene los valores de A, B, C y D.

$$\begin{aligned} A &= 0.035687 \\ B &= 0.460946 \\ C &= -0.003320 \\ D &= 0.000359 \end{aligned}$$

Reemplazando estos valores en la Ecuación N° 19, la correlación  $n = f(Q, q, Hs, Hd)$  para la BAH con una válvula de pie, queda de la siguiente manera:

- **Correlación para la BAH con una válvula de pie**

$$n = 0.035687Q + 0.460946q - 0.003320Hs + 0.000359Hd \quad \text{Ecuación N° 24}$$

De esta misma manera se ha determinado las correlaciones para la BAH con dos y tres válvulas de pie, obteniendo:

- **Correlación para la BAH con dos válvulas de pie**

$$n = 0.062638Q + 0.184671q - 0.001857Hs - 0.001685Hd \quad \text{Ecuación N° 25}$$

- **Correlación para la BAH con tres válvulas de pie**

$$n = 0.081240Q - 0.764126q + 0.011563Hs - 0.005098Hd \quad \text{Ecuación N° 26}$$

Estas correlaciones se ajustan adecuadamente a la eficiencia hidráulica ( $n$ ), siempre y cuando no se alejen de las consideraciones tomadas en campo (caudal de suministro y caudal de entrega).

## **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1. RELACIÓN ENTRE EL CAUDAL DE SUMINISTRO (Q) Y LA ALTURA DE SUMINISTRO (Hs) DE LA BAH**

Como se aprecia en la Tabla N° 13 y en el Gráfico N° 1 los caudales de suministro (Q) crecen proporcionalmente a la altura de suministro (Hs) para la BAH con una, dos y tres válvulas de pie, esto sucede porque al mover la Altura de suministro(Hs) la velocidad con la que llega el agua a la BAH varia, entonces al variar la velocidad pasa lo mismo con el Caudal de suministro(Q).

### **4.2. PRESIÓN MÁXIMA GENERADA EN LA CÁMARA DE AIRE DE LA BAH**

Este parámetro crece favorablemente al incrementar el número de válvulas de pie, tal y como se muestra en la Tabla N° 14 y en los Gráfico N° 2, Gráfico N° 3 y Gráfico N° 4. Donde se tiene 03 casos agrupados de acuerdo a la altura de suministro (Hs) ya que esta es la que hace variar este parámetro al aumentarla o disminuirla, ocasionando que la velocidad con la que llega el agua a las válvulas de pie varíe; por ejemplo, al tener el agua más velocidad, el golpe de ariete es más violento generando así más presión. En cuanto al incremento de la presión según el número de válvulas de pie se da porque al tener más válvulas de pie hay un mayor número de golpes de ariete.

### **4.3. VARIACIÓN DE LA EFICIENCIA HIDRÁULICA (n) VARIANDO LA ALTURA DE SUMINISTRO (Hs) Y MANTENIENDO CONSTANTE LA ALTURA DE DESCARGA (Hd)**

Según los gráficos presentados en el ítem 3.12.6. la eficiencia hidráulica (n) crece al mantener constante la altura de descarga (Hd) y al aumentar la altura de suministro (Hs), esta condición se cumple para la BAH de una, dos y tres válvulas de pie para los 09 escenarios presentados. Cuando la cota de altura de descarga (Hd)

no se mueve y la altura de suministro ( $H_s$ ) aumenta; para la BAH es más fácil subir el agua, ya que la diferencia de cotas cada vez es menor, por lo que la BAH muestra más eficiencia al realizar menos trabajo.

#### **4.4. VARIACIÓN DE LA EFICIENCIA HIDRÁULICA ( $n$ ) VARIANDO LA ALTURA DE DESCARGA ( $H_d$ ) Y MANTENIENDO CONSTANTE LA ALTURA DE SUMINISTRO ( $H_s$ )**

Como se puede apreciar en los gráficos mostrados en el ítem 3.12.7, la eficiencia hidráulica ( $n$ ) disminuye al mantener constante la altura de suministro ( $H_s$ ) y al aumentar la altura de descarga ( $H_d$ ), esta condición se cumple para la BAH de una, dos y tres válvulas de pie para los 09 escenarios presentados. Cuando el nivel de la altura de suministro ( $H_s$ ) no se mueve y la altura de descarga ( $H_d$ ) aumenta; para la BAH es más difícil subir el agua, ya que la diferencia de cotas cada vez es mayor, por lo que la BAH muestra una caída en su eficiencia al realizar mayor trabajo.

#### **4.5. VARIACIÓN DE LA EFICIENCIA HIDRÁULICA DE LA BAH EN RELACIÓN AL INCREMENTO DEL NÚMERO DE VÁLVULAS DE PIE**

Según los datos presentados en la Tabla N° 15 y Tabla N° 16, las eficiencias hidráulicas promedio de la BAH de una válvula de pie es 3.63%, de dos válvulas de pie es 5.13% y de tres válvulas de pies es 5.94%. Como se puede apreciar la eficiencia hidráulica va creciendo de acuerdo al número de válvulas de pie, dando como resultado que la variación de la eficiencia hidráulica entre las BAH de una a dos válvulas de pie es 41.25%, de dos a tres válvulas de pie es 15.70% y de una a tres es 63.43% favorable al aumento del número de válvulas de pie; esto se debe a que el número de golpes de ariete aumenta proporcional al incremento de las válvulas de pie en la BAH.

En los ensayos realizados en campo se ha observado que la BAH con una válvula de pie genera un mayor caudal de deshecho, mientras que se va incrementando el número de válvulas de pie, este caudal va disminuyendo. Es por esto, que la eficiencia hidráulica ha aumentado en relación directa al incremento del número de válvulas.

#### **4.6. DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN DE LA EFICIENCIA HIDRÁULICA ( $n$ ) CON LOS PARÁMETROS: CAUDAL DE SUMINISTRO ( $Q$ ), CAUDAL DE ENTREGA ( $q$ ), ALTURA DE SUMINISTRO ( $H_s$ ) Y ALTURA DE DESCARGA ( $H_d$ ).**

Como se detalla en el ítem 3.12.9. la correlación lineal es la que más se ajusta a la eficiencia hidráulica ya que se puede expresar en función de la suma de varios términos, esta ecuación se aplicó para las BAH con una, dos y tres válvulas de pie, dando como resultado la Ecuación N° 24, Ecuación N° 25 y Ecuación N° 26.

#### **4.7. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

Habiendo terminado con el estudio de la BAH con una, dos y tres válvulas de pie, podemos contrastar nuestra hipótesis: " La variación de la eficiencia hidráulica es favorable al incrementar válvulas de pie en una bomba de ariete hidráulico (BAH)", con los resultados obtenidos se acepta la hipótesis, ya que la eficiencia hidráulica de la BAH crece favorablemente al incrementar el número de válvulas de pie.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- La variación de la eficiencia hidráulica crece favorablemente al incrementar el número de válvulas de pie en serie. La variación de la eficiencia hidráulica; entre las BAH de una y dos válvulas de pie es 41.25%, entre las BAH de dos y tres válvulas de pie es 15.70% y entre las BAH de una y tres válvulas de pie es 63.43%. Siendo la BAH con tres válvulas de pie en serie la más competente, con una eficiencia hidráulica (n) promedio de 5.94%.
- Rigiéndose al diseño de la BAH, esta bomba se fabricó con las siguientes especificaciones: con válvulas de pie de Ø1", válvulas Check de Ø1", tubería de Ø 2" para la entrada a la bomba y tubería de Ø1/2" para la salida de la bomba, el sistema de la cámara de aire con una tubería de Ø4" de 60 cm de largo. Todo este sistema se construyó con tubería pesada con rosca para facilitar el ensamblaje de la bomba y también así poder modificar la cantidad de válvulas de pie.
- La relación que existe entre el caudal de suministro (Q) y la altura de suministro (Hs), es directamente proporcional.
- La presión máxima registrada en la cámara de aire por el manómetro, para una altura de suministro (Hs) de 1.49 m. es 12.04 m.c.a., 15.71 m.c.a. y 20.09 m.c.a.; para una Hs= 1.69 m. es 13.36 m.c.a., 18.05 m.c.a. y 22.64 m.c.a.; y, para una Hs= 2.21 m. es 17.65 m.c.a., 23.26 m.c.a. y 30.40 m.c.a., en la BAH con una dos y tres válvulas de pie respectivamente.
- La variación de la eficiencia hidráulica (n) con respecto a la altura de suministro (Hs) es directamente proporcional, siempre y cuando se mantenga constante la altura de descarga. Por otro lado, la variación de la eficiencia hidráulica (n)

con respecto a la altura de descarga ( $H_d$ ) es inversamente proporcional cuando es constante la altura de suministro ( $H_s$ ).

- Las correlaciones lineales que determinan a la eficiencia hidráulica ( $n$ ) para la BAH con una, dos y tres válvulas de pie, respectivamente son:

$$n = 0.035687Q + 0.460946q - 0.003320H_s + 0.000359H_d \quad \text{Ecuación N° 24}$$

$$n = 0.062638Q + 0.184671q - 0.001857H_s - 0.001685H_d \quad \text{Ecuación N° 25}$$

$$n = 0.081240Q - 0.764126q + 0.011563H_s - 0.005098H_d \quad \text{Ecuación N° 26}$$

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Para que los sistemas de bombeo con BAH tengan un mejor funcionamiento, se recomienda usar como máximo 03 válvulas de pie en serie, además en la cámara de aire se sugiere poner elementos compresibles, como pelotas de tenis o esferas jebe, ya que el aire se va acabando poco a poco.
- Se recomienda fabricar la BAH con materiales de F°G°; para las válvulas de ariete, se recomienda fabricarlas con resortes para regular la presión y así funcione a diferentes alturas de suministro.
- Para un mejor trabajo de la BAH se recomienda poner la tubería de suministro un diámetro superior al diámetro de la tubería de la bomba de ariete hidráulico.
- Tener en cuenta que la eficiencia hidráulica ( $n$ ) no solo varía por el incremento o disminución del número de válvulas de ariete, sino también por la altura de suministro ( $H_s$ ) y la altura de descarga ( $H_d$ )

## CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Acción contra el hambre. (s.f.).** *¿Cómo resolver la escasez de agua? Medidas para el futuro.* <https://www.accioncontraelhambre.org/es/como-resolver-escasez-agua>.
2. **Arangurí Cayetano, D. J. (2018).** *Efectividad del sistema de bombeo con ariete hidráulico en la zona rural de la provincia de San Pablo – Cajamarca.* [Tesis de posgrado]. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú. Repositorio Institucional UNC.
3. **Arapa Quispe, J. B. (2016).** *Evaluación del rendimiento del ariete hidráulico BAH-1.1/2 variando la longitud de la tubería de alimentación y condiciones de operación de la válvula de impulso.* Anales científicos UNALM, 77 (2), 155-165.
4. **Bedón, E. A. y Navas, J. S. (2021).** *Diseño de válvulas de impulso check para bomba de ariete multipulsor bóxer de dos vías de carga horizontal.* [Tesis de grado]. Universidad Técnica De Cotopaxi, Latacuanga, Ecuador. Repositorio Institucional.
5. **Blanco, E., Velarde, S. y Fernández, J. (1994).** *Sistemas de bombeo.* ISBN 84. Gijón.
6. **Chero Lizana, A. (2018).** *Diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico.* [Tesis de grado]. Universidad de Piura, Piura, Perú. Repositorio Institucional PIRHUA.
7. **Galarza Chacón, R.F. (2013).** *Estudio de factores hidráulicos en una bomba de ariete y su efecto sobre la eficiencia.* [Tesis de grado]. Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Repositorio Institucional.
8. **Hadzich Marín, M. (2021, 2 de abril).** *Bombas de ariete para las zonas rurales.* Agroperu Informa. <https://www.agroperu.pe/bombas-de-ariete-para-las-zonas->

rurales/#:~:text=Las%20bombas%20de%20ariete%20aprovechan,del%20equip  
o%20que%20se%20necesita.

9. **Malca, J. R. y Quiroz, R. A. (2016).** *Eficiencia de un sistema de suministro de agua por impulsión utilizando bombas de ariete hidráulico con válvulas en serie y en paralelo.* [Tesis de grado]. Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. Repositorio Institucional UPN.
10. **Mancebo U. (1994).** *Teoría del golpe de ariete y sus aplicaciones en ingeniería hidráulica.* Editorial LIMUSA, Grupo Noriega Editores. México, D.F.
11. **Pauro, R. (2016).** *Diseño de bomba de ariete hidráulico, en la asociación San Miguel – Yacango distrito Torata región Moquegua, 2016.* [Tesis de grado]. Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua, Perú. Repositorio Institucional UJCM.
12. **Pérez, M. (2018).** *Cómo subir agua sin motor, Información y divulgación de la bomba de ariete.* Bomba de Ariete Hidráulico. <https://bombariete.blogspot.com/search/label/%C3%8DNDICE>
13. **Ramírez, B. S. y González, J. M. (2019).** *Construcción e instalación de una bomba de ariete hidráulico para alimentar el sistema de riego en un área definida para una finca agrícola.* [Tesis de grado]. Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Bogotá, Colombia. Repositorio Institucional RIUD.
14. **Rivadeneira, S. X. y Silva L. F. (2013).** *Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico con el desarrollo de un software para su dimensionamiento.* [Tesis de grado]. Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. Repositorio Institucional.

- 15. Sarmiento, G. (1982).** *Diseño y construcción de una bomba de ariete.* [Tesis de grado]. Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia. Repositorio Institucional.
- 16. Velasquez, S. M. y Quintana R. E. (2022).** *Diseño de un sistema de riego aplicando el sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en el tramo km 02+000 al 06+000 del río Lircay– Angaraes.* [Tesis de grado]. Universidad Nacional De Huancavelica, Huancavelica, Perú. Repositorio Institucional UNH.
- 17. Yachaywasi. (2021).** *Ficha Tecnológica Bomba de Ariete Hidráulico.* Obtenido de [https://yachaywasiecotecnologico.pe/renov\\_web/images/pdfsTecnos/4.pdf](https://yachaywasiecotecnologico.pe/renov_web/images/pdfsTecnos/4.pdf).
- 18. MVCS (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento) (2018).** Norma técnica de diseño: Opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural.

## CAPÍTULO VII. ANEXOS

### ANEXO A. DATOS DE LA NIVELACIÓN OBTENIDAS EN CAMPO

a) Altura de suministro N°1 Hs= 1.49 m.

Tabla A. 1. Nivelación Insitu – Escenario N°1

<b>NIVELACIÓN E1-1</b>					
<b>Punto</b>	<b>Distancia</b>	<b>Vista atrás</b>	<b>Altura Inst.</b>	<b>Vista adelante</b>	<b>Cota</b>
Suministro		107.30	127.10		149.20
Bomba	5.54	477.50		256.50	0.00
Descarga	4.45		76.10	-172.20	649.70
<b>NIVELACIÓN E1-2</b>					
Suministro		110.35	130.15		149.10
Bomba	5.52	487.55		259.45	0.00
Descarga	4.43		80.10	-162.25	649.80

Tabla A. 2. Nivelación Insitu – Escenario N°2

<b>NIVELACIÓN E2-1</b>					
<b>Punto</b>	<b>Distancia</b>	<b>Vista atrás</b>	<b>Altura Inst.</b>	<b>Vista adelante</b>	<b>Cota</b>
Suministro		107.30	127.10		149.20
Bomba	5.54	477.50		256.50	0.00
Descarga	4.60		76.10	-88.80	566.30
<b>NIVELACIÓN E2-2</b>					
Suministro		110.35	130.15		149.10
Bomba	5.52	487.55		259.45	0.00
Descarga	4.62		80.10	-89.05	576.60

**Tabla A. 3. Nivelación Insitu – Escenario N°3**

<b>NIVELACIÓN E3-1</b>					
<b>Punto</b>	<b>Distancia</b>	<b>Vista atrás</b>	<b>Altura Inst.</b>	<b>Vista adelante</b>	<b>Cota</b>
Suministro		107.30	127.10		149.20
Bomba	5.54	477.50		256.50	0.00
Descarga	4.42		76.10	-10.12	487.62
<b>NIVELACIÓN E3-2</b>					
Suministro		110.35	130.15		149.10
Bomba	5.52	487.55		259.45	0.00
Descarga	4.45		80.10	-9.94	497.49

**b) Altura de suministro promedio N°2 Hs= 1.69 m.**

**Tabla A. 4. Nivelación Insitu – Escenario N°4**

<b>NIVELACIÓN E4-1</b>					
<b>Punto</b>	<b>Distancia</b>	<b>Vista atrás</b>	<b>Altura Inst.</b>	<b>Vista adelante</b>	<b>Cota</b>
Suministro		89.45	127.10		167.05
Bomba	5.54	477.50		256.50	0.00
Descarga	4.45		76.10	-172.20	649.70
<b>NIVELACIÓN E4-2</b>					
Suministro		89.50	130.15		169.95
Bomba	5.52	487.55		259.45	0.00
Descarga	4.43		80.10	-162.25	649.80

**Tabla A. 5. Nivelación Insitu – Escenario N°5**

<b>NIVELACIÓN E5-1</b>					
<b>Punto</b>	<b>Distancia</b>	<b>Vista atrás</b>	<b>Altura Inst.</b>	<b>Vista adelante</b>	<b>Cota</b>
Suministro		89.45	127.10		167.05
Bomba	5.54	477.50		256.50	0.00
Descarga	4.60		76.10	-88.80	566.30
<b>NIVELACIÓN E5-2</b>					
Suministro		89.50	130.15		169.95
Bomba	5.52	487.55		259.45	0.00
Descarga	4.62		80.10	-89.05	576.60

**Tabla A. 6. Nivelación Insitu – Escenario N°6**

<b>NIVELACIÓN E6-1</b>					
<b>Punto</b>	<b>Distancia</b>	<b>Vista atrás</b>	<b>Altura Inst.</b>	<b>Vista adelante</b>	<b>Cota</b>
Suministro		89.45	127.10		167.05
Bomba	5.54	477.50		256.50	0.00
Descarga	4.42		76.10	-10.12	487.62
<b>NIVELACIÓN E6-2</b>					
Suministro		89.50	130.15		169.95
Bomba	5.52	487.55		259.45	0.00
Descarga	4.45		80.10	-9.94	497.49

c) Altura de suministro promedio N°3= 2.21 m.

Tabla A. 7. Nivelación Insitu – Escenario N°7

<b>NIVELACIÓN E7-1</b>					
<b>Punto</b>	<b>Distancia</b>	<b>Vista atrás</b>	<b>Altura Inst.</b>	<b>Vista adelante</b>	<b>Cota</b>
Suministro		37.15	127.10		219.35
Bomba	5.54	477.50		256.50	0.00
Descarga	4.45		76.10	-172.20	649.70
<b>NIVELACIÓN E7-2</b>					
Suministro		37.20	130.15		222.25
Bomba	5.52	487.55		259.45	0.00
Descarga	4.43		80.10	-162.25	649.80

Tabla A. 8. Nivelación Insitu – Escenario N°8

<b>NIVELACIÓN E8-1</b>					
<b>Punto</b>	<b>Distancia</b>	<b>Vista atrás</b>	<b>Altura Inst.</b>	<b>Vista adelante</b>	<b>Cota</b>
Suministro		37.15	127.10		219.35
Bomba	5.54	477.50		256.50	0.00
Descarga	4.60		76.10	-88.80	566.30
<b>NIVELACIÓN E8-2</b>					
Suministro		37.20	130.15		222.25
Bomba	5.52	487.55		259.45	0.00
Descarga	4.62		80.10	-89.05	576.60

**Tabla A. 9. Nivelación Insitu – Escenario N°9**

<b>NIVELACIÓN E9-1</b>					
<b>Punto</b>	<b>Distancia</b>	<b>Vista atrás</b>	<b>Altura Inst.</b>	<b>Vista adelante</b>	<b>Cota</b>
Suministro		37.15	127.10		219.35
Bomba	5.54	477.50		256.50	0.00
Descarga	4.42		76.10	-10.12	487.62

<b>NIVELACIÓN E9-2</b>					
<b>Punto</b>	<b>Distancia</b>	<b>Vista atrás</b>	<b>Altura Inst.</b>	<b>Vista adelante</b>	<b>Cota</b>
Suministro		37.20	130.15		222.25
Bomba	5.52	487.55		259.45	0.00
Descarga	4.45		80.10	-9.94	497.49

## ANEXO B. MEDICIÓN DEL CAUDAL DE SUMINISTRO Y CAUDAL DE ENTREGA

### 1. Escenario N°1 (Hs=1.49 m y Hd=6.50 m)

#### a) BAH con una válvula de pie.

Tabla B. 1. E1 - Caudal de suministro para la BAH con una válvula

Caudal de suministro para la BAH con una válvula de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	4.16	4.12	4.16	4.15	0.9646
2	4.12	4.12	4.11	4.12	0.9717
3	4.14	4.14	4.11	4.13	0.9685
4	4.14	4.14	4.15	4.14	0.9654
5	4.17	4.15	4.10	4.14	0.9662
6	4.15	4.16	4.16	4.16	0.9623
7	4.17	4.15	4.11	4.14	0.9654
8	4.16	4.17	4.15	4.16	0.9615
9	4.13	4.11	4.11	4.12	0.9717
10	4.13	4.18	4.17	4.16	0.9615
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>0.9659</b>

Tabla B. 2. E1 - Caudal de entrega para la BAH con una válvula de pie

Caudal de entrega para la BAH con una válvula de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	483.56	509.30	524.53	505.80	0.0079
2	509.15	484.93	512.07	502.05	0.0080
3	534.63	522.31	493.92	516.95	0.0077
4	499.55	501.85	538.72	513.37	0.0078
5	506.58	489.12	519.38	505.03	0.0079
6	526.27	480.44	491.07	499.26	0.0080
7	527.80	492.12	543.14	521.02	0.0077
8	485.82	493.90	535.10	504.94	0.0079
9	486.25	533.65	504.42	508.11	0.0079
10	523.41	511.30	490.70	508.47	0.0079
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0079</b>

b) BAH con una válvula de pie.

Tabla B. 3. E1 - Caudal de suministro para la BAH con dos válvulas de pie

Caudal de suministro para la BAH con dos válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	4.08	4.11	4.15	4.11	0.9724
2	4.11	4.11	4.12	4.11	0.9724
3	4.13	4.14	4.13	4.13	0.9677
4	4.11	4.08	4.15	4.11	0.9724
5	4.09	4.13	4.13	4.12	0.9717
6	4.14	4.09	4.14	4.12	0.9701
7	4.08	4.11	4.15	4.11	0.9724
8	4.12	4.12	4.09	4.11	0.9732
9	4.14	4.11	4.15	4.13	0.9677
10	4.08	4.08	4.08	4.08	0.9804
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>0.9721</b>

Tabla B. 4. E1 - Caudal de entrega para la BAH con dos válvulas de pie

Caudal de entrega para la BAH con dos válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	365.14	360.30	369.57	365.00	0.0110
2	366.53	366.42	367.51	366.82	0.0109
3	360.61	362.32	361.32	361.42	0.0111
4	361.44	369.92	360.20	363.85	0.0110
5	363.98	364.81	362.50	363.76	0.0110
6	366.95	363.29	366.30	365.51	0.0109
7	363.27	360.81	368.45	364.18	0.0110
8	361.37	367.86	361.32	363.52	0.0110
9	361.70	365.41	362.38	363.16	0.0110
10	360.89	366.80	367.75	365.15	0.0110
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0110</b>

c) BAH con tres válvulas de pie.

Tabla B. 5. E1 - Caudal de suministro para la BAH con tres válvulas de pie

Caudal de suministro para la BAH con tres válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	3.97	3.96	3.96	3.96	1.0093
2	3.93	3.95	3.95	3.94	1.0144
3	3.97	3.97	3.96	3.97	1.0084
4	3.94	3.95	3.97	3.95	1.0118
5	3.92	3.93	3.93	3.93	1.0187
6	3.92	3.97	3.95	3.95	1.0135
7	3.94	3.92	3.93	3.93	1.0178
8	3.95	3.92	3.97	3.95	1.0135
9	3.94	3.92	3.97	3.94	1.0144
10	3.97	3.96	3.94	3.96	1.0110
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>1.0133</b>

Tabla B. 6. E1 - Caudal de entrega para la BAH con tres válvulas de pie

Caudal de entrega para la BAH con tres válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	300.37	307.74	309.15	305.75	0.0131
2	309.19	300.52	305.63	305.11	0.0131
3	305.19	308.29	302.51	305.33	0.0131
4	307.89	308.87	310.99	309.25	0.0129
5	310.03	305.88	300.56	305.49	0.0131
6	301.01	305.00	306.50	304.17	0.0132
7	303.42	305.88	303.37	304.22	0.0131
8	306.31	306.75	300.74	304.60	0.0131
9	303.20	304.49	306.21	304.63	0.0131
10	303.00	302.88	302.55	302.81	0.0132
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0131</b>

2. Escenario N°2 (Hs= 1.49 m y Hd= 5.71 m)

a) BAH con una válvula de pie.

Tabla B. 7. E2 - Caudal de suministro para la BAH con una válvula de pie

Caudal de suministro para la BAH con una válvula de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	4.14	4.11	4.12	4.12	0.9701
2	4.11	4.14	4.12	4.12	0.9701
3	4.14	4.16	4.12	4.14	0.9662
4	4.14	4.15	4.12	4.14	0.9670
5	4.11	4.14	4.11	4.12	0.9709
6	4.16	4.15	4.11	4.14	0.9662
7	4.14	4.15	4.12	4.14	0.9670
8	4.13	4.15	4.12	4.13	0.9677
9	4.15	4.11	4.15	4.14	0.9670
10	4.16	4.15	4.15	4.15	0.9631
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>0.9675</b>

Tabla B. 8. E2 - Caudal de entrega para la BAH con una válvula de pie

Caudal de entrega para la BAH con una válvula de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	441.97	440.70	438.30	440.32	0.0091
2	438.42	443.63	441.18	441.08	0.0091
3	436.59	437.40	439.71	437.90	0.0091
4	438.24	437.27	441.93	439.15	0.0091
5	440.12	439.60	443.26	440.99	0.0091
6	442.69	439.16	441.12	440.99	0.0091
7	436.80	442.76	442.17	440.58	0.0091
8	439.84	442.29	442.99	441.71	0.0091
9	436.48	439.46	441.40	439.11	0.0091
10	440.52	442.55	441.29	441.45	0.0091
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0091</b>

b) BAH con dos válvulas de pie.

Tabla B. 9. E2 - Caudal de suministro para la BAH con dos válvulas de pie

Caudal de suministro para la BAH con dos válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	4.08	4.11	4.09	4.09	0.9772
2	4.08	4.08	4.12	4.09	0.9772
3	4.07	4.12	4.07	4.09	0.9788
4	4.11	4.12	4.10	4.11	0.9732
5	4.08	4.10	4.12	4.10	0.9756
6	4.10	4.11	4.12	4.11	0.9732
7	4.10	4.10	4.09	4.10	0.9764
8	4.09	4.08	4.11	4.09	0.9772
9	4.10	4.12	4.09	4.10	0.9748
10	4.08	4.11	4.07	4.09	0.9788
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>0.9762</b>

Tabla B. 10. E2 - Caudal de entrega para la BAH con dos válvulas de pie

Caudal de entrega para la BAH con dos válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	312.42	308.25	308.24	309.64	0.0129
2	311.50	315.48	320.00	315.66	0.0127
3	314.07	310.45	311.80	312.11	0.0128
4	308.26	310.47	319.47	312.73	0.0128
5	310.46	311.69	313.08	311.74	0.0128
6	312.47	308.11	319.73	313.44	0.0128
7	316.26	314.13	309.10	313.16	0.0128
8	310.53	319.93	313.85	314.77	0.0127
9	312.10	310.34	317.70	313.38	0.0128
10	308.84	313.38	312.26	311.49	0.0128
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0128</b>

c) BAH con tres válvulas de pie.

Tabla B. 11. E2 - Caudal de suministro para la BAH con tres válvulas de pie

Caudal de suministro para la BAH con tres válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	3.95	3.94	3.90	3.93	1.0178
2	3.90	3.94	3.94	3.93	1.0187
3	3.92	3.90	3.90	3.91	1.0239
4	3.95	3.91	3.92	3.93	1.0187
5	3.93	3.95	3.95	3.94	1.0144
6	3.93	3.90	3.90	3.91	1.0230
7	3.94	3.94	3.91	3.93	1.0178
8	3.92	3.90	3.94	3.92	1.0204
9	3.93	3.95	3.95	3.94	1.0144
10	3.95	3.91	3.91	3.92	1.0195
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>1.0189</b>

Tabla B. 12. E2 - Caudal de entrega para la BAH con tres válvulas de pie

Caudal de entrega para la BAH con tres válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	268.01	245.18	259.46	257.55	0.0155
2	259.72	256.92	258.60	258.41	0.0155
3	255.51	267.44	257.29	260.08	0.0154
4	265.45	252.02	242.47	253.31	0.0158
5	240.15	264.04	262.37	255.52	0.0157
6	252.60	240.54	267.92	253.69	0.0158
7	246.21	245.24	250.18	247.21	0.0162
8	262.70	259.87	266.49	263.02	0.0152
9	245.62	266.27	253.08	254.99	0.0157
10	268.37	242.56	250.97	253.97	0.0158
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0156</b>

### 3. Escenario N°3 (Hs= 1.49 m y Hd= 4.93 m)

#### a) BAH con una válvula de pie.

Tabla B. 13. E3 - Caudal de suministro para la BAH con una válvula de pie

Caudal de suministro para la BAH con una válvula de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	4.12	4.11	4.12	4.12	0.9717
2	4.12	4.13	4.13	4.13	0.9693
3	4.13	4.11	4.12	4.12	0.9709
4	4.12	4.13	4.12	4.12	0.9701
5	4.12	4.12	4.11	4.12	0.9717
6	4.13	4.11	4.11	4.12	0.9717
7	4.12	4.11	4.11	4.11	0.9724
8	4.11	4.13	4.11	4.12	0.9717
9	4.13	4.11	4.12	4.12	0.9709
10	4.13	4.13	4.13	4.13	0.9685
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>0.9709</b>

Tabla B. 14. E3 - Caudal de entrega para la BAH con una válvula de pie

Caudal de entrega para la BAH con una válvula de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	370.32	370.00	373.42	371.25	0.0108
2	370.12	369.19	369.24	369.52	0.0108
3	370.11	373.20	369.70	371.00	0.0108
4	374.90	369.79	371.81	372.17	0.0107
5	374.52	374.85	372.89	374.09	0.0107
6	372.36	374.13	373.83	373.44	0.0107
7	373.58	370.76	371.43	371.92	0.0108
8	370.98	373.98	375.16	373.37	0.0107
9	371.26	373.49	374.38	373.04	0.0107
10	372.86	375.11	372.73	373.57	0.0107
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0107</b>

b) BAH con dos válvulas de pie.

Tabla B. 15. E3 - Caudal de suministro para la BAH con dos válvulas de pie

Caudal de suministro para la BAH con dos válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	4.06	4.08	4.09	4.08	0.9812
2	4.10	4.07	4.11	4.09	0.9772
3	4.09	4.07	4.11	4.09	0.9780
4	4.09	4.06	4.11	4.09	0.9788
5	4.10	4.09	4.10	4.10	0.9764
6	4.06	4.10	4.07	4.08	0.9812
7	4.11	4.10	4.09	4.10	0.9756
8	4.10	4.10	4.08	4.09	0.9772
9	4.09	4.11	4.07	4.09	0.9780
10	4.11	4.07	4.06	4.08	0.9804
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>0.9784</b>

Tabla B. 16. E3 - Caudal de entrega para la BAH con dos válvulas de pie

Caudal de entrega para la BAH con dos válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	249.61	249.60	250.76	249.99	0.0160
2	256.51	250.48	255.88	254.29	0.0157
3	257.10	249.81	257.09	254.67	0.0157
4	254.08	249.08	252.63	251.93	0.0159
5	252.79	255.78	250.05	252.87	0.0158
6	253.26	257.43	255.47	255.39	0.0157
7	256.24	256.96	255.66	256.29	0.0156
8	255.46	252.21	250.26	252.64	0.0158
9	257.18	256.74	249.51	254.48	0.0157
10	254.24	257.98	256.38	256.20	0.0156
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0158</b>

c) BAH con tres válvulas de pie.

Tabla B. 17. E3 - Caudal de suministro para la BAH con tres válvulas de pie

Caudal de suministro para la BAH con tres válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	3.88	3.88	3.90	3.89	1.0292
2	3.86	3.88	3.87	3.87	1.0336
3	3.90	3.87	3.87	3.88	1.0309
4	3.89	3.88	3.90	3.89	1.0283
5	3.86	3.86	3.90	3.87	1.0327
6	3.89	3.89	3.86	3.88	1.0309
7	3.85	3.87	3.86	3.86	1.0363
8	3.86	3.85	3.86	3.86	1.0372
9	3.88	3.89	3.87	3.88	1.0309
10	3.88	3.86	3.86	3.87	1.0345
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>1.0324</b>

Tabla B. 18. E3 - Caudal de entrega para la BAH con tres válvulas de pie

Caudal de entrega para la BAH con tres válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	209.49	213.81	207.50	210.27	0.0190
2	213.69	213.72	209.03	212.15	0.0189
3	213.89	209.78	209.44	211.04	0.0190
4	207.47	214.16	210.36	210.66	0.0190
5	208.22	209.41	211.73	209.79	0.0191
6	213.69	212.62	208.74	211.68	0.0189
7	213.63	208.65	208.48	210.25	0.0190
8	208.14	212.06	209.08	209.76	0.0191
9	210.04	214.70	211.96	212.23	0.0188
10	213.23	209.67	211.50	211.47	0.0189
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0190</b>

4. Escenario N°4 (Hs= 1.69 m y Hd=6.50 m)

a) BAH con una válvula de pie.

Tabla B. 19. E4 - Caudal de suministro para la BAH con una válvula de pie

Caudal de suministro para la BAH con una válvula de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	4.07	4.09	4.10	4.09	0.9788
2	4.11	4.08	4.10	4.10	0.9764
3	4.09	4.12	4.08	4.10	0.9764
4	4.08	4.11	4.07	4.09	0.9788
5	4.12	4.11	4.10	4.11	0.9732
6	4.07	4.11	4.12	4.10	0.9756
7	4.08	4.11	4.09	4.09	0.9772
8	4.09	4.10	4.10	4.10	0.9764
9	4.10	4.12	4.08	4.10	0.9756
10	4.12	4.12	4.12	4.12	0.9709
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>0.9759</b>

Tabla B. 20. E4 - Caudal de entrega para la BAH con una válvula de pie

Caudal de entrega para la BAH con una válvula de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	443.95	441.44	440.72	442.04	0.0090
2	440.80	440.45	442.78	441.34	0.0091
3	443.72	443.61	444.88	444.07	0.0090
4	441.40	441.79	444.91	442.70	0.0090
5	441.69	442.37	441.88	441.98	0.0091
6	442.24	443.51	444.95	443.57	0.0090
7	440.56	443.25	443.69	442.50	0.0090
8	440.24	442.44	440.65	441.11	0.0091
9	440.21	441.57	441.14	440.97	0.0091
10	442.14	443.24	441.16	442.18	0.0090
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0090</b>

b) BAH con dos válvulas de pie.

Tabla B. 21. E4 - Caudal de suministro para la BAH con dos válvulas de pie

Caudal de suministro para la BAH con dos válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	4.10	4.06	4.10	4.09	0.9788
2	4.08	4.08	4.05	4.07	0.9828
3	4.09	4.10	4.10	4.10	0.9764
4	4.07	4.07	4.08	4.07	0.9820
5	4.10	4.07	4.10	4.09	0.9780
6	4.05	4.08	4.08	4.07	0.9828
7	4.10	4.08	4.08	4.09	0.9788
8	4.08	4.06	4.07	4.07	0.9828
9	4.09	4.05	4.07	4.07	0.9828
10	4.06	4.06	4.07	4.06	0.9844
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>0.9810</b>

Tabla B. 22. E4 - Caudal de entrega para la BAH con dos válvulas de pie

Caudal de entrega para la BAH con dos válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	314.00	316.62	317.83	316.15	0.0127
2	316.56	317.01	316.05	316.54	0.0126
3	315.92	316.03	316.70	316.22	0.0126
4	316.46	316.12	314.48	315.69	0.0127
5	315.03	317.45	317.34	316.61	0.0126
6	316.33	316.13	314.50	315.65	0.0127
7	315.19	315.91	315.38	315.49	0.0127
8	316.84	316.05	317.35	316.75	0.0126
9	316.00	317.08	316.77	316.62	0.0126
10	316.34	314.68	314.64	315.22	0.0127
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0127</b>

c) BAH con tres válvulas de pie.

Tabla B. 23. E4 - Caudal de suministro para la BAH con tres válvulas de pie

Caudal de suministro para la BAH con tres válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	3.87	3.91	3.93	3.90	1.0248
2	3.93	3.93	3.88	3.91	1.0221
3	3.88	3.89	3.92	3.90	1.0265
4	3.90	3.95	3.88	3.91	1.0230
5	3.94	3.94	3.94	3.94	1.0152
6	3.87	3.87	3.94	3.89	1.0274
7	3.88	3.87	3.87	3.87	1.0327
8	3.91	3.95	3.93	3.93	1.0178
9	3.87	3.92	3.92	3.90	1.0248
10	3.92	3.87	3.94	3.91	1.0230
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>1.0237</b>

Tabla B. 24. E4 - Caudal de entrega para la BAH con tres válvulas de pie

Caudal de entrega para la BAH con tres válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	256.51	259.75	257.17	257.81	0.0155
2	264.78	260.05	260.55	261.79	0.0153
3	260.25	258.94	263.87	261.02	0.0153
4	258.53	257.69	261.69	259.30	0.0154
5	258.69	263.57	263.22	261.83	0.0153
6	264.73	258.27	261.83	261.61	0.0153
7	264.70	256.86	261.34	260.97	0.0153
8	264.07	262.63	257.04	261.25	0.0153
9	263.81	260.57	257.39	260.59	0.0153
10	257.83	258.33	260.33	258.83	0.0155
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0154</b>

5. Escenario N°5 (Hs= 1.69 m y Hd= 5.71 m)

a) BAH con una válvula de pie.

Tabla B. 25. E5 - Caudal de suministro para la BAH con una válvula de pie

Caudal de suministro para la BAH con una válvula de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	4.12	4.12	4.09	4.11	0.9732
2	4.08	4.11	4.11	4.10	0.9756
3	4.12	4.13	4.08	4.11	0.9732
4	4.07	4.12	4.06	4.08	0.9796
5	4.09	4.13	4.09	4.10	0.9748
6	4.12	4.08	4.09	4.10	0.9764
7	4.13	4.07	4.10	4.10	0.9756
8	4.09	4.12	4.06	4.09	0.9780
9	4.12	4.11	4.07	4.10	0.9756
10	4.06	4.08	4.10	4.08	0.9804
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>0.9763</b>

Tabla B. 26. E5 - Caudal de entrega para la BAH con una válvula de pie

Caudal de entrega para la BAH con una válvula de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	379.10	379.31	380.64	379.68	0.0105
2	378.99	382.52	381.46	380.99	0.0105
3	382.94	383.92	380.75	382.54	0.0105
4	378.02	383.35	382.82	381.40	0.0105
5	382.59	382.29	379.36	381.41	0.0105
6	383.34	382.74	380.78	382.29	0.0105
7	380.31	380.42	378.41	379.71	0.0105
8	382.22	379.11	380.85	380.73	0.0105
9	379.19	381.02	379.66	379.96	0.0105
10	380.10	382.12	382.20	381.47	0.0105
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0105</b>

b) BAH con dos válvulas de pie.

Tabla B. 27. E5 - Caudal de suministro para la BAH con dos válvulas de pie

Caudal de suministro para la BAH con dos válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	4.05	4.09	4.11	4.08	0.9796
2	4.06	4.11	4.05	4.07	0.9820
3	4.08	4.04	4.05	4.06	0.9860
4	4.10	4.12	4.06	4.09	0.9772
5	4.10	4.07	4.10	4.09	0.9780
6	4.08	4.06	4.06	4.07	0.9836
7	4.08	4.05	4.04	4.06	0.9860
8	4.08	4.06	4.11	4.08	0.9796
9	4.04	4.07	4.11	4.07	0.9820
10	4.08	4.05	4.11	4.08	0.9804
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>0.9814</b>

Tabla B. 28. E5 - Caudal de entrega para la BAH con dos válvulas de pie

Caudal de entrega para la BAH con dos válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	273.53	272.84	273.76	273.38	0.0146
2	271.15	270.76	270.87	270.93	0.0148
3	272.75	272.81	274.32	273.29	0.0146
4	271.75	270.22	273.34	271.77	0.0147
5	270.47	274.44	271.62	272.18	0.0147
6	271.90	271.52	273.23	272.22	0.0147
7	274.34	270.79	274.81	273.31	0.0146
8	272.99	270.76	270.01	271.25	0.0147
9	273.65	274.03	270.77	272.82	0.0147
10	271.12	272.04	270.56	271.24	0.0147
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0147</b>

c) BAH con tres válvulas de pie.

Tabla B. 29. E5 - Caudal de suministro para la BAH con tres válvulas de pie

Caudal de suministro para la BAH con tres válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	3.90	3.90	3.89	3.90	1.0265
2	3.86	3.87	3.93	3.89	1.0292
3	3.93	3.92	3.88	3.91	1.0230
4	3.86	3.84	3.92	3.87	1.0327
5	3.90	3.84	3.91	3.88	1.0300
6	3.88	3.85	3.88	3.87	1.0336
7	3.85	3.89	3.94	3.89	1.0274
8	3.95	3.92	3.88	3.92	1.0213
9	3.94	3.86	3.85	3.88	1.0300
10	3.94	3.95	3.91	3.93	1.0169
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>1.0271</b>

Tabla B. 30. E5 - Caudal de entrega para la BAH con tres válvulas de pie

Caudal de entrega para la BAH con tres válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	223.04	224.66	225.90	224.53	0.0178
2	221.32	226.78	226.99	225.03	0.0178
3	226.23	225.31	226.42	225.99	0.0177
4	222.79	223.56	223.55	223.30	0.0179
5	225.35	224.34	226.75	225.48	0.0177
6	224.18	221.93	222.92	223.01	0.0179
7	222.28	220.18	223.12	221.86	0.0180
8	225.26	220.79	221.49	222.51	0.0180
9	226.56	225.30	223.92	225.26	0.0178
10	226.82	221.39	220.62	222.94	0.0179
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0179</b>

6. Escenario N°6 (Hs= 1.69 m y Hd= 4.93 m)

a) BAH con una válvula de pie.

Tabla B. 31. E6 - Caudal de suministro para la BAH con una válvula de pie

Caudal de suministro para la BAH con una válvula de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	4.12	4.10	4.06	4.09	0.9772
2	4.05	4.14	4.09	4.09	0.9772
3	4.08	4.08	4.12	4.09	0.9772
4	4.12	4.14	4.06	4.11	0.9740
5	4.15	4.06	4.12	4.11	0.9732
6	4.11	4.05	4.13	4.10	0.9764
7	4.04	4.14	4.13	4.10	0.9748
8	4.06	4.04	4.06	4.05	0.9868
9	4.05	4.15	4.08	4.09	0.9772
10	4.05	4.11	4.13	4.10	0.9764
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>0.9771</b>

Tabla B. 32. E6 - Caudal de entrega para la BAH con una válvula de pie

Caudal de entrega para la BAH con una válvula de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	324.94	324.83	327.97	325.91	0.0123
2	324.91	325.67	324.27	324.95	0.0123
3	326.66	327.89	326.39	326.98	0.0122
4	325.53	325.81	327.99	326.44	0.0123
5	325.24	326.81	325.92	325.99	0.0123
6	326.79	326.25	325.18	326.07	0.0123
7	327.40	324.87	327.01	326.43	0.0123
8	325.80	325.87	325.18	325.62	0.0123
9	327.36	325.21	325.88	326.15	0.0123
10	327.02	327.65	325.33	326.67	0.0122
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0123</b>

b) BAH con dos válvulas de pie.

Tabla B. 33. E6 - Caudal de suministro para la BAH con dos válvulas de pie

Caudal de suministro para la BAH con dos válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	4.11	4.05	4.01	4.06	0.9860
2	4.11	4.10	4.10	4.10	0.9748
3	4.10	4.09	4.07	4.09	0.9788
4	4.10	4.09	4.09	4.09	0.9772
5	4.04	4.09	4.02	4.05	0.9877
6	4.05	4.09	4.02	4.05	0.9868
7	4.02	4.04	4.12	4.06	0.9852
8	4.11	4.03	4.11	4.08	0.9796
9	4.07	4.05	4.11	4.08	0.9812
10	4.03	4.09	4.07	4.06	0.9844
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>0.9822</b>

Tabla B. 34. E6 - Caudal de entrega para la BAH con dos válvulas de pie

Caudal de entrega para la BAH con dos válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	219.46	224.78	220.72	221.65	0.0180
2	220.77	223.67	220.99	221.81	0.0180
3	225.39	225.26	225.69	225.45	0.0177
4	221.57	221.96	222.30	221.94	0.0180
5	224.86	225.28	225.11	225.08	0.0178
6	222.29	224.83	226.00	224.37	0.0178
7	219.51	220.53	219.87	219.97	0.0182
8	221.99	224.46	219.91	222.12	0.0180
9	222.24	221.19	223.67	222.37	0.0180
10	223.89	225.93	219.04	222.95	0.0179
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0180</b>

c) BAH con tres válvulas de pie.

Tabla B. 35. E6 - Caudal de suministro para la BAH con tres válvulas de pie

Caudal de suministro para la BAH con tres válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	3.93	3.85	3.84	3.87	1.0327
2	3.84	3.91	3.94	3.90	1.0265
3	3.88	3.95	3.86	3.90	1.0265
4	3.95	3.89	3.87	3.90	1.0248
5	3.95	3.90	3.91	3.92	1.0204
6	3.87	3.90	3.90	3.89	1.0283
7	3.81	3.83	3.92	3.85	1.0381
8	3.94	3.95	3.90	3.93	1.0178
9	3.84	3.90	3.89	3.88	1.0318
10	3.88	3.91	3.85	3.88	1.0309
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>1.0278</b>

Tabla B. 36. E6 - Caudal de entrega para la BAH con tres válvulas de pie

Caudal de entrega para la BAH con tres válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	175.17	181.45	177.40	178.01	0.0225
2	176.41	182.66	174.61	177.89	0.0225
3	195.29	194.58	194.49	194.79	0.0205
4	181.02	187.29	192.30	186.87	0.0214
5	180.95	185.35	176.27	180.86	0.0221
6	193.76	188.90	195.23	192.63	0.0208
7	180.62	193.18	180.44	184.75	0.0217
8	193.63	188.67	183.00	188.43	0.0212
9	186.13	187.73	188.21	187.36	0.0213
10	178.87	184.79	186.06	183.24	0.0218
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0216</b>

7. Escenario N°7 (Hs= 2.21 m y Hd= 6.50 m)

a) BAH con una válvula de pie.

Tabla B. 37. E7 - Caudal de suministro para la BAH con una válvula de pie

Caudal de suministro para la BAH con una válvula de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	4.11	4.12	4.11	4.11	0.9724
2	4.03	4.05	4.08	4.05	0.9868
3	4.12	4.12	4.05	4.10	0.9764
4	4.03	4.05	4.10	4.06	0.9852
5	4.09	4.06	4.09	4.08	0.9804
6	4.05	4.03	4.04	4.04	0.9901
7	4.11	4.06	4.08	4.08	0.9796
8	4.09	4.10	4.12	4.10	0.9748
9	4.12	4.09	4.09	4.10	0.9756
10	4.09	4.08	4.06	4.08	0.9812
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>0.9803</b>

Tabla B. 38. E7 - Caudal de entrega para la BAH con una válvula de pie

Caudal de entrega para la BAH con una válvula de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	329.83	336.31	334.08	333.41	0.0120
2	329.12	330.30	333.34	330.92	0.0121
3	331.34	332.28	332.46	332.03	0.0120
4	328.98	328.53	328.92	328.81	0.0122
5	333.72	336.30	328.62	332.88	0.0120
6	328.56	329.28	328.73	328.86	0.0122
7	336.04	336.44	331.17	334.55	0.0120
8	332.83	336.53	333.67	334.34	0.0120
9	329.87	333.01	329.79	330.89	0.0121
10	328.37	329.71	332.03	330.04	0.0121
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0121</b>

b) BAH con dos válvulas de pie.

Tabla B. 39. E7 - Caudal de suministro para la BAH con dos válvulas de pie

Caudal de suministro para la BAH con dos válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	4.04	4.06	4.08	4.06	0.9852
2	4.08	4.08	4.08	4.08	0.9804
3	4.06	4.07	4.07	4.07	0.9836
4	4.04	4.07	4.05	4.05	0.9868
5	4.06	4.08	4.08	4.07	0.9820
6	4.07	4.07	4.07	4.07	0.9828
7	4.07	4.07	4.06	4.07	0.9836
8	4.07	4.07	4.08	4.07	0.9820
9	4.04	4.05	4.05	4.05	0.9885
10	4.04	4.06	4.07	4.06	0.9860
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>0.9841</b>

Tabla B. 40. E7 - Caudal de entrega para la BAH con dos válvulas de pie

Caudal de entrega para la BAH con dos válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	238.13	236.73	235.44	236.77	0.0169
2	238.82	239.13	239.58	239.18	0.0167
3	237.12	236.68	238.43	237.41	0.0168
4	237.60	238.10	239.21	238.30	0.0168
5	236.86	236.68	237.52	237.02	0.0169
6	236.79	236.84	238.35	237.33	0.0169
7	239.94	239.42	236.03	238.46	0.0168
8	237.51	235.38	238.74	237.21	0.0169
9	237.17	236.43	237.76	237.12	0.0169
10	237.97	236.73	236.43	237.04	0.0169
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0168</b>

c) BAH con tres válvulas de pie.

Tabla B. 41. E7 - Caudal de suministro para la BAH con tres válvulas de pie

Caudal de suministro para la BAH con tres válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	3.84	3.90	3.92	3.89	1.0292
2	3.85	3.91	3.88	3.88	1.0309
3	3.88	3.82	3.90	3.87	1.0345
4	3.92	3.89	3.83	3.88	1.0309
5	3.87	3.83	3.87	3.86	1.0372
6	3.84	3.85	3.89	3.86	1.0363
7	3.84	3.87	3.83	3.85	1.0399
8	3.84	3.88	3.84	3.85	1.0381
9	3.83	3.89	3.83	3.85	1.0390
10	3.89	3.88	3.81	3.86	1.0363
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>1.0352</b>

Tabla B. 42. E7 - Caudal de entrega para la BAH con tres válvulas de pie

Caudal de entrega para la BAH con tres válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	196.44	194.80	194.27	195.17	0.0205
2	197.68	192.13	194.04	194.62	0.0206
3	193.12	197.69	194.19	195.00	0.0205
4	195.55	195.34	196.64	195.84	0.0204
5	197.67	196.22	195.17	196.35	0.0204
6	195.94	197.76	196.19	196.63	0.0203
7	192.74	192.11	192.12	192.32	0.0208
8	195.32	192.14	192.81	193.42	0.0207
9	195.08	195.95	194.00	195.01	0.0205
10	192.48	194.46	194.38	193.77	0.0206
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0205</b>

8. Escenario N°8 (Hs= 2.21 m y Hd= 5.71 m)

a) BAH con una válvula de pie.

Tabla B. 43. E8 - Caudal de suministro para la BAH con una válvula de pie

Caudal de suministro para la BAH con una válvula de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	4.07	4.09	4.11	4.09	0.9780
2	4.05	4.08	4.06	4.06	0.9844
3	4.04	4.09	4.06	4.06	0.9844
4	4.12	4.05	4.06	4.08	0.9812
5	4.08	4.08	4.07	4.08	0.9812
6	4.12	4.12	4.12	4.12	0.9709
7	4.05	4.10	4.09	4.08	0.9804
8	4.04	4.06	4.10	4.07	0.9836
9	4.05	4.11	4.10	4.09	0.9788
10	4.04	4.06	4.08	4.06	0.9852
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>0.9808</b>

Tabla B. 44. E8 - Caudal de entrega para la BAH con una válvula de pie

Caudal de entrega para la BAH con una válvula de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	286.88	283.74	288.27	286.30	0.0140
2	287.78	286.53	288.13	287.48	0.0139
3	285.75	283.23	289.07	286.02	0.0140
4	287.84	285.46	284.01	285.77	0.0140
5	285.11	287.67	284.80	285.86	0.0140
6	289.59	288.78	283.15	287.17	0.0139
7	285.16	282.62	289.61	285.80	0.0140
8	283.28	288.71	288.05	286.68	0.0140
9	283.52	284.04	287.34	284.97	0.0140
10	282.58	287.08	286.35	285.34	0.0140
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0140</b>

b) BAH con dos válvulas de pie.

Tabla B. 45. E8 - Caudal de suministro para la BAH con dos válvulas de pie

Caudal de suministro para la BAH con dos válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	4.08	4.09	4.06	4.08	0.9812
2	4.03	4.08	4.07	4.06	0.9852
3	4.10	4.08	4.09	4.09	0.9780
4	4.10	4.06	4.04	4.07	0.9836
5	4.02	4.06	4.05	4.04	0.9893
6	4.06	4.05	4.03	4.05	0.9885
7	4.10	4.08	4.06	4.08	0.9804
8	4.09	4.08	4.03	4.07	0.9836
9	4.06	4.04	4.07	4.06	0.9860
10	4.09	4.03	4.10	4.07	0.9820
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>0.9838</b>

Tabla B. 46. E8 - Caudal de entrega para la BAH con dos válvulas de pie

Caudal de entrega para la BAH con dos válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	205.43	202.46	207.69	205.19	0.0195
2	206.65	208.13	202.49	205.76	0.0194
3	200.72	205.46	206.79	204.32	0.0196
4	204.00	207.49	206.13	205.87	0.0194
5	202.02	201.92	200.47	201.47	0.0199
6	201.25	209.46	208.68	206.46	0.0194
7	204.38	204.66	209.50	206.18	0.0194
8	204.34	208.72	201.09	204.72	0.0195
9	205.63	207.17	200.31	204.37	0.0196
10	206.97	209.84	205.11	207.31	0.0193
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0195</b>

c) BAH con tres válvulas de pie.

Tabla B. 47. E8 - Caudal de suministro para la BAH con tres válvulas de pie

Caudal de suministro para la BAH con tres válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	3.84	3.86	3.90	3.87	1.0345
2	3.84	3.90	3.86	3.87	1.0345
3	3.87	3.89	3.84	3.87	1.0345
4	3.90	3.88	3.84	3.87	1.0327
5	3.87	3.87	3.90	3.88	1.0309
6	3.85	3.85	3.83	3.84	1.0408
7	3.90	3.84	3.83	3.86	1.0372
8	3.89	3.83	3.90	3.87	1.0327
9	3.89	3.87	3.84	3.87	1.0345
10	3.86	3.87	3.85	3.86	1.0363
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>1.0348</b>

Tabla B. 48. E8 - Caudal de entrega para la BAH con tres válvulas de pie

Caudal de entrega para la BAH con tres válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	168.22	166.65	169.05	167.97	0.0238
2	166.47	167.91	169.92	168.10	0.0238
3	169.21	167.95	169.71	168.96	0.0237
4	169.97	169.45	169.87	169.76	0.0236
5	167.23	166.74	168.41	167.46	0.0239
6	169.44	166.30	167.61	167.78	0.0238
7	167.93	169.93	167.43	168.43	0.0237
8	169.77	169.49	166.71	168.66	0.0237
9	168.15	168.24	167.06	167.82	0.0238
10	166.65	166.62	168.39	167.22	0.0239
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0238</b>

9. Escenario N°9 (Hs= 2.21 m y Hd= 4.93 m)

a) BAH con una válvula de pie.

Tabla B. 49. E9 - Caudal de suministro para la BAH con una válvula de pie

Caudal de suministro para la BAH con una válvula de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	4.08	4.10	4.06	4.08	0.9804
2	4.09	4.04	4.09	4.07	0.9820
3	4.12	4.07	4.06	4.08	0.9796
4	4.09	4.12	4.08	4.10	0.9764
5	4.08	4.12	4.06	4.09	0.9788
6	4.07	4.06	4.05	4.06	0.9852
7	4.06	4.04	4.11	4.07	0.9828
8	4.12	4.11	4.07	4.10	0.9756
9	4.05	4.04	4.07	4.05	0.9868
10	4.10	4.06	4.09	4.08	0.9796
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>0.9807</b>

Tabla B. 50. E9 - Caudal de entrega para la BAH con una válvula de pie

Caudal de entrega para la BAH con una válvula de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	246.47	246.50	246.12	246.36	0.0162
2	246.87	246.83	246.02	246.57	0.0162
3	246.07	246.59	246.09	246.25	0.0162
4	246.59	246.58	246.40	246.52	0.0162
5	246.90	246.09	246.18	246.39	0.0162
6	246.89	246.91	246.72	246.84	0.0162
7	246.90	246.88	246.68	246.82	0.0162
8	246.63	246.29	246.55	246.49	0.0162
9	246.53	246.92	246.58	246.68	0.0162
10	246.78	246.31	246.27	246.45	0.0162
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0162</b>

b) BAH con dos válvulas de pie.

Tabla B. 51. E9 - Caudal de suministro para la BAH con dos válvulas de pie

Caudal de suministro para la BAH con dos válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	4.09	4.03	4.05	4.06	0.9860
2	4.04	4.11	4.04	4.06	0.9844
3	4.04	4.03	4.09	4.05	0.9868
4	4.03	4.08	4.10	4.07	0.9828
5	4.10	4.11	4.08	4.10	0.9764
6	4.04	4.07	4.05	4.05	0.9868
7	4.09	4.09	4.07	4.08	0.9796
8	4.05	4.06	4.05	4.05	0.9868
9	4.06	4.09	4.04	4.06	0.9844
10	4.07	4.04	4.03	4.05	0.9885
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>0.9843</b>

Tabla B. 52. E9 - Caudal de entrega para la BAH con dos válvulas de pie

Caudal de entrega para la BAH con dos válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	167.87	169.70	167.12	168.23	0.0238
2	173.04	168.07	174.00	171.70	0.0233
3	167.27	168.15	167.12	167.51	0.0239
4	169.79	168.64	166.34	168.26	0.0238
5	166.47	166.61	166.75	166.61	0.0240
6	168.28	170.36	172.20	170.28	0.0235
7	170.74	168.09	166.90	168.58	0.0237
8	171.86	170.15	171.92	171.31	0.0233
9	169.63	167.36	171.80	169.60	0.0236
10	174.75	169.02	167.43	170.40	0.0235
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0236</b>

c) BAH con tres válvulas de pie.

Tabla B. 53. E9 - Caudal de suministro para la BAH con tres válvulas de pie

Caudal de suministro para la BAH con tres válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	Q (L/s)
1	3.88	3.92	3.88	3.89	1.0274
2	3.84	3.87	3.87	3.86	1.0363
3	3.80	3.91	3.85	3.85	1.0381
4	3.80	3.92	3.84	3.85	1.0381
5	3.90	3.84	3.89	3.88	1.0318
6	3.88	3.90	3.85	3.88	1.0318
7	3.85	3.83	3.91	3.86	1.0354
8	3.85	3.88	3.82	3.85	1.0390
9	3.90	3.84	3.87	3.87	1.0336
10	3.84	3.84	3.80	3.83	1.0453
<b>Caudal promedio de suministro (Q)</b>					<b>1.0357</b>

Tabla B. 54. E9 - Caudal de entrega para la BAH con tres válvulas de pie

Caudal de entrega para la BAH con tres válvulas de pie					
Ensayo N.º	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_{prom}$	q (L/s)
1	139.53	139.87	136.71	138.70	0.0288
2	136.76	138.51	136.76	137.34	0.0291
3	137.10	137.11	139.22	137.81	0.0290
4	136.47	137.14	138.82	137.48	0.0291
5	139.72	137.29	136.96	137.99	0.0290
6	138.95	138.38	138.60	138.64	0.0289
7	138.58	139.14	137.42	138.38	0.0289
8	137.44	138.07	138.38	137.96	0.0290
9	138.68	137.40	137.76	137.95	0.0290
10	139.64	138.92	137.67	138.74	0.0288
<b>Caudal promedio de entrega (q)</b>					<b>0.0290</b>

## ANEXO C. MATERIALES UTILIZADOS EN LA COSNTRUCCIÓN DE LA BAH

MATERIAL	CANTIDAD	IMAGEN
Válvula check de Ø1"	1	
Válvula de pie de Ø1"	3	
Manómetro de presión para agua	1	
Tee con rosca de 1"	4	
Tee con rosca de 1/2"	1	
Codo con rosca de 1" x 90°	1	
Codo de 1" x 45°	1	
Codo de 2" x 45°	1	
Niple HDP de 2"	1	

Unión universal de 1"	1	
Reducción 1"x1/2"	1	
Reducción tipo bushing de 1/2"x1/4"	1	
Niple de 1" roscado	9	
Niple de 1/2" roscado	2	
Adaptador mixto de 1"	2	
Adaptador CPVC de 1/2"	1	
Llave de paso de 1"	1	
Llave de paso de 1/2"	1	

Reducción 4"x2"	1	
Reducción 2"x1"	2	
Tubo PVC 2"x3m	2	
Tubo PVC 4"x0.50m	1	
Tubo CPVC 1/2"x0.40m	1	
Tapón hembra de 4"	1	
Manguera de 1/2"x10m	1	
Cinta teflón	3	
Pegamento para PVC	1	

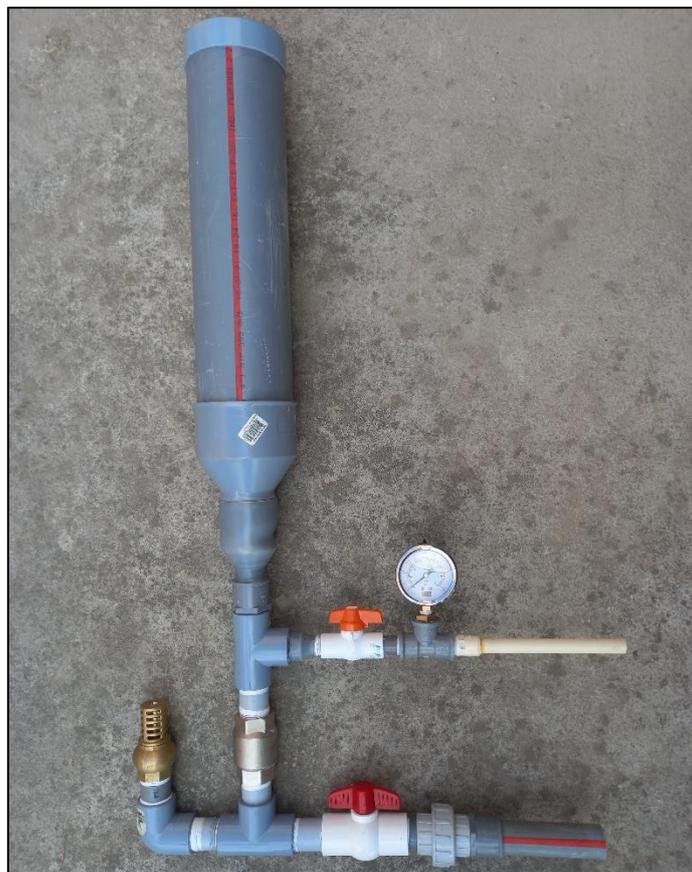
Cronómetro	1	
Wincha de 5m	1	
Balde graduado de 4L	1	
Balde graduado de 18L	1	

## ANEXO D. PANEL FOTOGRÁFICO

Figura D. 1. Nivelación Insitu.



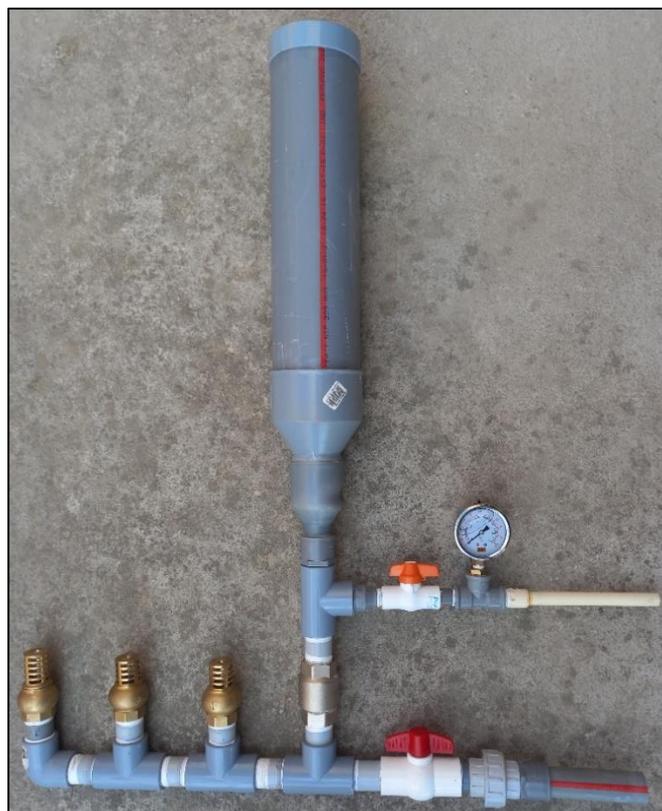
Figura D. 2. BAH con una válvula de pie.



**Figura D. 3. BAH con dos válvulas de pie.**



**Figura D. 4. BAH con tres válvulas de pie.**



**Figura D. 5. BAH con una válvula de pie.**



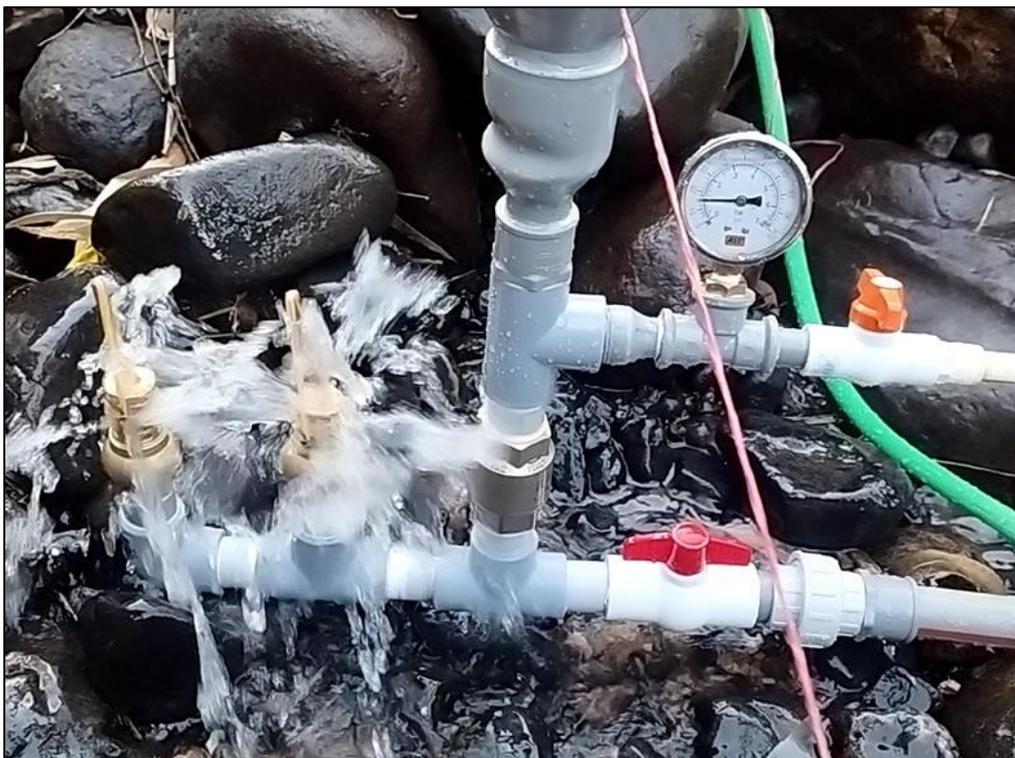
**Figura D. 6. Presión máxima de la BAH con una válvula de pie.**



**Figura D. 7. BAH con dos válvulas de pie.**



**Figura D. 8. Presión máxima de la BAH con dos válvulas de pie.**



**Figura D. 9. BAH con tres válvulas de pie.**



**Figura D. 10. Presión máxima de la BAH con tres válvulas de pie.**



**Figura D. 11. Ensayos para el caudal de entrega ( $q$ )**



**Figura D. 12. Ensayos para el caudal de suministro ( $Q$ )**



## **ANEXO E. CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN**

- Certificado de Calibración del manómetro AST EP-0001063

**CERTIFICADO DE CALIBRACION**

**EP - 0001063**

**FECHA DE EMISION 09/03/2023**

SOLICITANTE: QUIROZ SÁNCHEZ MEL DANMER  
RUC: 10748429153  
DIRECCION: -

**INSTRUMENTO DE MEDICION : MANOMETRO ANALOGO**

Marca : AST  
Modelo : NO INDICA  
Dial : 63MM  
N de serie : SIN ESPECIFICAR  
Intervala de Indicacion : 100 PSI  
Division de Escala : 2 PSI  
Clase de exactitud : 2.0%  
Diametro de Rosca : 1/4 NPT  
Posicion de Trabajo : INFERIOR  
Procedencia : CHINA  
Identificacion : EP - 0001063  
Fecha de Calibracion : 09/03/2023

**LUGAR DE CALIBRACION LABORATORIO DE EVALUA PERU SAC**

**METODO DE CALIBRACION**

La calibración se realizó por comparación directa con nuestro manómetro patrón según procedimiento PC - 004 Procedimiento para la calibración de instrumentos de medición de presión relativa con clase de exactitud igual o mayor a 0,05% f.s Segunda Edición - octubre 2017. DM - INACAL

**CONDICIONES AMBIENTALES**

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	20,2 °c	20,4 °c
Humedad Relativa	65,5 %	64,5%
Presión	1.002,6 hPa	1.002,8 hPa

EVALUA PERÚ S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y medición basado a la norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

EVALUA PERÚ S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso.

Los resultados en el presente documento no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

EVALUA PERÚ S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

**CERTIFICADO DE CALIBRACION**
**EP - 0001063**
**FECHA DE EMISION 09/03/2023**
**TRAZABILIDAD**

<i>Patron de Referencia</i>	<i>Patron de Trabajo</i>	<i>Certificado de Calibracion</i>
Balanza de Precisión	MANOMETRO DIGITAL	
Clase de Exactitud 0,005	0 BAR -50BAR	LFP - 022 - 2023
DM -INACAL	Clase de Exactitud 0,05% FS	

Indicación Manometro a Calibrar (PSI)	Indicación Instrumento Patrón		Error		
	Ascenso (PSI)	Ascenso (PSI)	De Indicación		De Histerisis (PSI)
			Ascenso (PSI)	Descenso (PSI)	
0	0	0	0.00	0.00	0.00
20	20.5	20.5	0.50	0.50	0.00
30	30.8	30.7	0.80	0.70	0.10
40	40.8	40.8	0.80	0.80	0.00
50	50.8	50.5	0.80	0.50	0.30
60	61.5	61.5	1.50	1.50	0.00
80	81.4	80.4	1.40	0.40	1.00
90	91.1	91.1	1.10	1.10	0.00
100	100	100	0.00	0.00	0.00

<b>INCERTIDUMBRE DE LA MEDICION</b>	<b>0.90 PSI</b>
-------------------------------------	-----------------

<b>Maximo Error de Indicación :</b>	<b>1.50 PSI</b>
<b>Maximo Error de Histerisis :</b>	<b>1.00 PSI</b>

El error máximo permitido para un Manometro 100 PSI con clase de exactitud 2.0 es + 2 PSI

**Observaciones**

No se realizo ningún ajuste al instrumento de medición.

EL DOCUMENTO CARECE DE VALOR SIN FIRMA Y SELLO

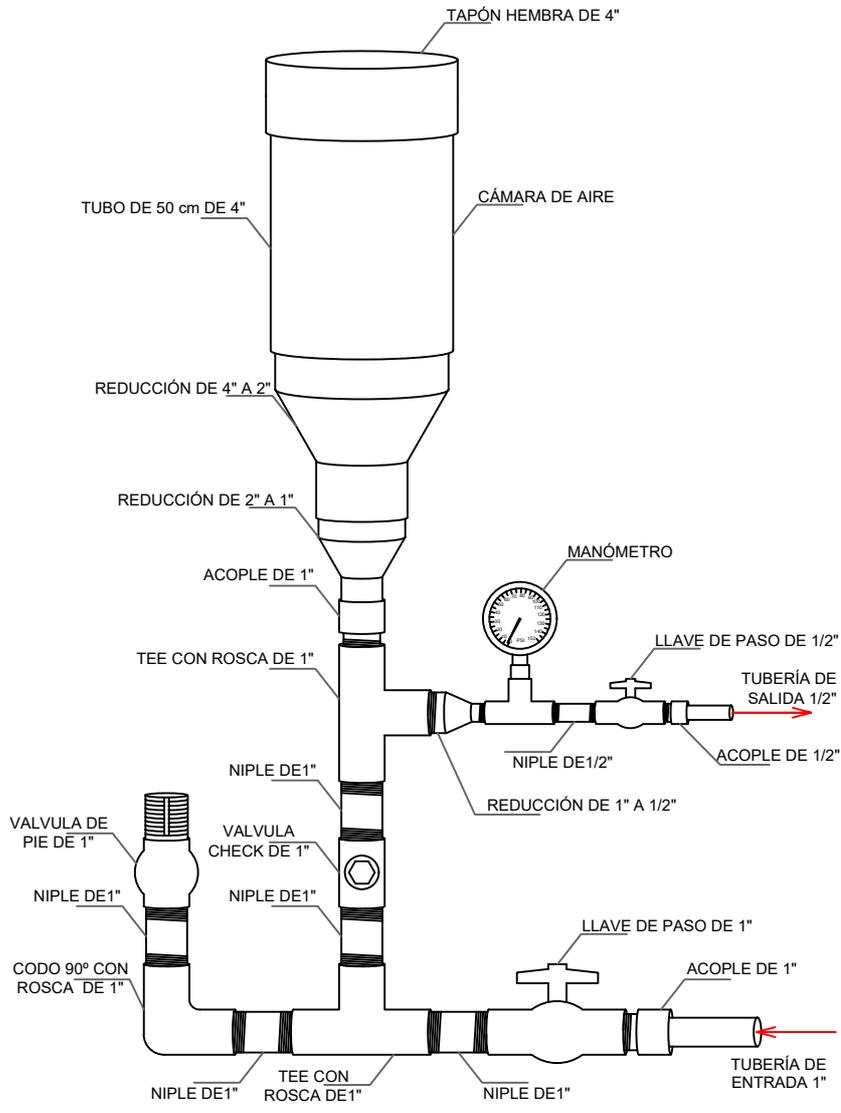


Edgaur Saldaña Salas  
Gerente Tecnico



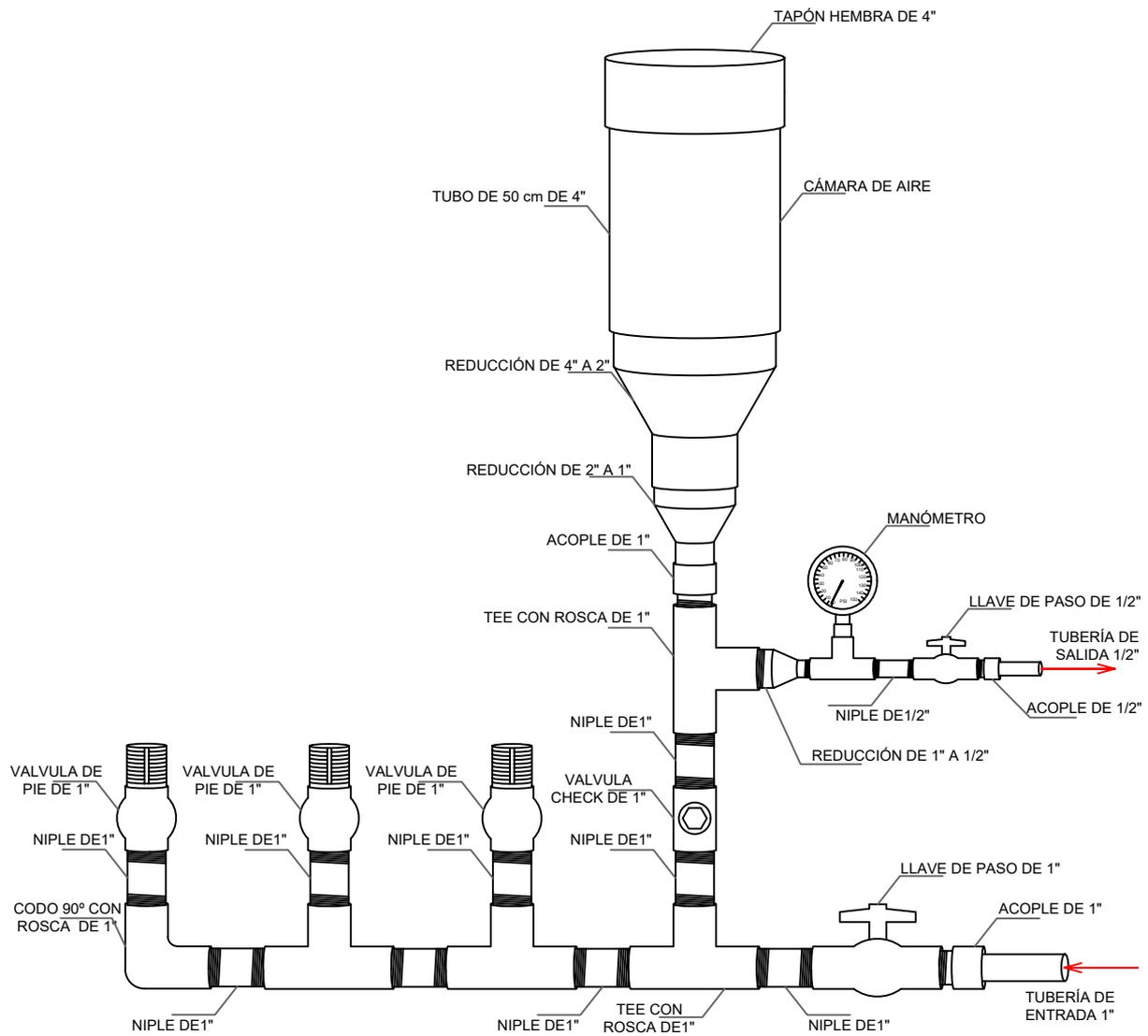
## **ANEXO F. PLANOS**

- **P-01:** Plano a detalle de la BAH con una válvula de pie.
- **P-02:** Plano a detalle de la BAH con dos válvulas de pie.
- **P-03:** Plano a detalle de la BAH con tres válvulas de pie.



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>		
	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>		
	<b>ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>		
	<b>PROYECTO:</b>		
	"VARIACIÓN DE LA EFICIENCIA HIDRÁULICA EN BOMBAS DE ARIETE CON UNA, DOS Y TRES VÁLVULAS DE PIE - CAJAMARCA, 2023"		
<b>PLANO:</b>	BAH CON UNA VÁLVULA DE PIE EN SERIE		<b>PLANO N°:</b>
<b>TESISTA:</b>	Bach. MEJÍA ROJAS ALEXANDER	<b>ESCALA:</b>	S/E
<b>REGIÓN:</b>	CAJAMARCA	<b>PROVINCIA:</b>	CAJAMARCA
	<b>DISTRITO:</b>	CAJAMARCA	<b>FECHA:</b>
			2023
			<b>P-01</b>





	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b>		
	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>		
	<b>ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>		
	<b>PROYECTO:</b> "VARIACIÓN DE LA EFICIENCIA HIDRÁULICA EN BOMBAS DE ARIETE CON UNA, DOS Y TRES VÁLVULAS DE PIE - CAJAMARCA, 2023"		
	<b>PLANO:</b> BAH CON TRES VÁLVULAS DE PIE EN SERIE	<b>PLANO N°:</b> <span style="font-size: 2em; font-weight: bold;">P-03</span>	
<b>TESISTA:</b> Bach. MEJÍA ROJAS ALEXANDER	<b>ESCALA:</b> S/E		
<b>REGIÓN:</b> CAJAMARCA	<b>PROVINCIA:</b> CAJAMARCA	<b>DISTRITO:</b> CAJAMARCA	<b>FECHA:</b> 2023