



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO  
CON ARIETE HIDRÁULICO PARA APROVECHAR RECURSO  
HÍDRICO EN TERRENO AGRÍCOLA DEL DISTRITO DE  
LLALLI MELGAR PUNO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. MAGNO NAYHUA CHARCA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



NOMBRE DEL TRABAJO

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO CON ARIETE HIDRÁULICO PARA APROVECHAR RECURSO HÍDRICO EN TERRENO AGRÍCOLA DEL DISTRITO DE LLALLI MELGAR PUNO**

AUTOR

**MAGNO NAYHUA CHARCA**

RECuento DE PALABRAS

**25914 Words**

RECuento DE CARACTERES

**129450 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**193 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**13.6MB**

FECHA DE ENTREGA

**Nov 21, 2023 9:40 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Nov 21, 2023 9:44 AM GMT-5**

● **17% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 17% Base de datos de Internet
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

  
ASESOR  
Dr. Edilberto Huayisto Ramos



Resumen



## DEDICATORIA

A Dios, gracias acompañarme siempre en mi camino, él me guía en todas las decisiones que tomo y con el soy valiente ante toda adversidad. Todo lo que soy es gracias a su bendición a su amor por mí. Padre nuestro, estás en mi corazón, mi alma, aunque sea imperfecto, no me dejes caer nunca.

A mi Madre Profería, que me hizo compañía durante mis largas horas de estudio, quien me apoyo en todas mis decisiones para que este proyecto de tesis se culmine satisfactoriamente. Mamita, siempre me apoyaste cuando más te necesitaba y me guiaste por el camino correcto. Gracias a ti que he llegado hasta aquí. Me has enseñado a ser valiente y perseverante, sean cuales sean las circunstancias. Eres mi ejemplo de lucha y de vida. Te quiero mucho Mamita Linda.

A mi Padre Pedro, que siempre me alentó seguir con mis estudios y me mantuvo anhelante, sus consejos a lo largo de mi vida, sus palabras siempre me han alentado.

A mi Tio Salvador e hija Joanna, por haberme apoyado en mi vida universitaria que se haga realidad este sueño de ser ingeniero, por sus consejos y guía en todo este proceso.

A mis Hermanas Fermina, Flora, Gladys, Dennis; mi hermano Abraham y sobrinos Jeyco Alain, Jaroly a quienes los quiero y aprecio mucho, por formar parte de mi familia y ser el pilar de mi felicidad.

A mi Tio Marcos Vilca y Familia, por su apoyo incondicional en la etapa de mi infancia, su gran calidad de ser humano inspira, las experiencias vividas siempre me harán pisar tierra y recordar de dónde vengo a donde voy, así mismo me pondrán feliz al recordar los momentos gratos que se vivió.



Para mí, por todos mis esfuerzos, sacrificios y por levantarme una vez más en cada caída, he llegado a apreciar que para lograr todo lo que te propongas es importante una **actitud positiva**, así mismo aprecio mucho ver personas que velan por el interés común de la sociedad.

Finalmente, la siguiente frase es la que me mantiene anhelante de seguir perseverante en tener una sociedad mejor, por lo que cito a la **Madre Teresa de Calcuta** a quien se le atribuye la frase de “**Quien no vive para servir, no sirve para Vivir**”.

**Magno NAYHUA CHARCA**



## AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater, la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, que me brindo estadía, conocimiento intelectual, humanístico de todo los Catedráticos en mi querida y respetada Facultad de Ingeniería Agrícola.

Al Dr. Edilberto Huaquisto Ramos por su calidad de persona, dirección, consejos, asesoramiento para la realización de esta tesis. A mis Jurados de tesis. Al M.Sc. Oscar Raúl Mamani Luque, Dr. Victoriano Rolando Apaza Campos, M.Sc. Willy Miguel Huanacuni Mamani, quienes con su conocimiento especializado en investigación y apoyo se logró culminar el presente proyecto de tesis. A quienes le estoy infinitamente agradecido por su magnífico aporte.

A la Dra. Rosario por la tutela en toda la elaboración de proyecto tesis, los consejos que aportaron para la culminación del proyecto de tesis es trascendental.

A mi Madrecita Proferia y familia mi tia Gabina, tio Mauro y primos Alex, Ruben, primas Doris, Juliana, Braulina y sobrinos Jampier, Diego, quienes me apoyaron en la ejecución de proyecto de investigación. A quienes les estoy infinitamente agradecido.

A señor Martin Chipana y familia por la amabilidad, quienes dispusieron el terreno para que el proyecto de tesis se ejecute.

A mis amigos y amigas por los momentos compartidos de valor académico, social y amistad a lo largo del desarrollo de mi Tesis.

**Magno NAYHUA CHARCA**



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>19</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>20</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>21</b>
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>23</b>
1.2.1. Problema general.....	23
1.2.2. Problema específico .....	23
<b>1.3. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>24</b>
1.3.1. Hipótesis general .....	24
1.3.2. Hipótesis específicas .....	24
<b>1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>24</b>
1.4.1. Objetivo general .....	24
1.4.2. Objetivos específicos.....	25



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1.</b>	<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>26</b>
2.1.1.	Antecedente de nivel internacional .....	26
2.1.2.	Antecedente de nivel nacional.....	27
2.1.3.	Antecedente de nivel regional .....	28
<b>2.2.</b>	<b>BASES TEORICAS .....</b>	<b>29</b>
2.2.1.	Agua .....	29
2.2.2.	Recurso hídrico .....	29
2.2.3.	Hidráulica.....	29
2.2.4.	Energía Hidráulica.....	30
2.2.5.	Energía potencial.....	30
2.2.6.	Energía Cinética .....	31
2.2.7.	Bomba de ariete hidráulico .....	31
<b>2.3.</b>	<b>COMPONENTES DEL ARIETE HIDRÁULICO .....</b>	<b>32</b>
2.3.1.	Cuerpo del ariete hidráulico .....	32
2.3.2.	Válvula de impulso.....	32
2.3.3.	Tipos de válvulas de impulso .....	32
2.3.4.	Válvula de descarga .....	36
2.3.5.	Tipos de válvulas de descarga.....	37
2.3.6.	Cámara de aire.....	40
2.3.7.	Válvula de aire .....	41
<b>2.4.</b>	<b>PARÁMETROS DE DISEÑO PARA LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO .....</b>	<b>41</b>
2.4.1.	Ubicación de la bomba.....	41



2.4.2. Altura de descarga.....	41
2.4.3. Altura de suministro .....	42
2.4.4. Tubería de suministro.....	42
2.4.5. Tubería de descarga.....	43
2.4.6. Caudal de descarga.....	44
2.4.7. Velocidad de cierre de la válvula de impulso .....	44
2.4.8. Coeficiente de descarga.....	45
2.4.9. Caudal libre .....	45
2.4.10. Perdidas mayores.....	47
2.4.11. Perdidas menores.....	47
2.4.12. Factor de fricción .....	48
2.4.13. Número de Reynolds.....	48
2.4.14. Rugosidad Relativa .....	49
2.4.15. Caudal de suministro.....	50
2.4.16. Caudal desechado.....	51
2.4.17. Rendimiento Volumétrico.....	52
2.4.18. Potencia de la bomba.....	52
2.4.19. Fuerza de arrastre para la válvula de impulso. ....	53
2.4.20. Peso máximo para la válvula de impulso .....	53

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA.....</b>	<b>55</b>
<b>3.2. UBICACIÓN POLITICA.....</b>	<b>55</b>
<b>3.3. LIMITES.....</b>	<b>57</b>



<b>3.4.</b>	<b>ACCESIBILIDAD .....</b>	<b>57</b>
<b>3.5.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....</b>	<b>57</b>
<b>3.6.</b>	<b>MATERIALES.....</b>	<b>59</b>
	3.6.1. Materiales de Gabinete.....	59
	3.6.2. Materiales de construcción de la bomba de ariete hidráulico. ....	59
<b>3.7.</b>	<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.....</b>	<b>61</b>
<b>3.8.</b>	<b>METODO .....</b>	<b>61</b>
	3.8.1. Metodología de investigación .....	61
	3.8.2. Población y muestra .....	63
	3.8.3. Procedimientos.....	63
<b>3.9.</b>	<b>SISTEMA DE BOMBEO .....</b>	<b>64</b>
	3.9.1. Cantidad de agua en la captación. ....	64
	3.9.2. Componentes integrantes del sistema de bombeo.....	66
	3.9.3. Ubicación de los componentes del sistema de bombeo .....	67
	3.9.4. Cálculo de la altura de suministro (H). ....	67
	3.9.5. Elección de tubería de suministro .....	68
	3.9.6. Cálculo de la demanda de agua de riego. ....	70
	3.9.7. Elección de la tubería de descarga. ....	71
	3.9.8. Reservorio de almacenamiento. ....	72
<b>3.10.</b>	<b>DISEÑO DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO.....</b>	<b>73</b>
	3.10.1. Cuerpo de la bomba de ariete hidráulico.....	73
	3.10.2. Diseño de la válvula de impulso. ....	73
	3.10.3. Selección de la válvula de descarga. ....	75
	3.10.4. Determinación de la altura de carga total.....	76
	3.10.5. Cálculo del caudal de descarga .....	87



3.10.6. Cálculo del caudal de suministro .....	95
3.10.7. Cálculo del caudal desechado .....	96
3.10.8. Cálculo de la Potencia de la Bomba.....	96
3.10.9. Cálculo del rendimiento volumétrico .....	97
3.10.10. Cálculo del peso para la válvula de impulso.....	97
3.10.11. Cálculo del peso para la válvula de impulso.....	99
3.10.12. Diseño de la válvula de aire .....	100
3.10.13. Diseño de la cámara de aire .....	101
<b>3.11. CONSTRUCCION DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO. ....</b>	<b>107</b>
3.11.1. Etapas de construcción de la bomba de ariete hidráulico.....	108
3.11.2. Construcción de la bomba de ariete hidráulico. ....	109
3.11.3. Montaje final de los componentes de la bomba de ariete hidráulico ....	115
3.11.4. Resumen de materiales con los que se construyó la bomba de ariete hidráulico .....	116
<b>3.12. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA .....</b>	<b>118</b>
3.12.1. Captación e instalación de la línea de suministro .....	119
3.12.2. Instalación de la bomba de ariete hidráulico.....	120
3.12.3. Instalación de la línea de descarga .....	121
3.12.4. Instalación de la línea conducción para riego .....	122
3.12.5. Resumen de los componentes .....	123

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. PUESTA EN MARCHA DE LA BOMBA DE ARIETE.....</b>	<b>124</b>
<b>4.2. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CAMPO .....</b>	<b>126</b>
4.2.1. Comportamiento de los componentes. ....	126



4.2.2. Aforo de caudal de alimentación a la captación.....	127
4.2.3. Evaluación de la bomba de ariete a 83 golpes/minuto .....	128
4.2.4. Evaluación de la bomba de ariete a 76 golpes/minuto .....	132
4.2.5. Evaluación de la bomba de ariete a 72 golpes/minuto .....	136
4.2.6. Evaluación de la bomba de ariete a 63 golpes/minuto .....	140
<b>4.3. CURVA DE OPERACIÓN DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO</b> .....	<b>144</b>
4.3.1. Curva de numero de golpes por minuto vs caudal de suministro.....	145
4.3.2. Curva de numero de golpes por minuto vs caudal de descarga .....	146
4.3.3. Curva de numero de golpes por minuto vs eficiencia de la bomba.....	146
<b>4.4. CONFIGURACION FINAL DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO</b> .....	<b>147</b>
<b>4.5. COSTO TOTAL DE LA INSTALACION DEL SISTEMA DE BOMBEO</b> .....	<b>148</b>
<b>4.6. DISCUSION DE RESULTADOS.....</b>	<b>153</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>156</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>158</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>159</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>161</b>
ANEXO 1. Catálogo de tubería tuboplast. ....	162
ANEXO 2. Catálogo de aspersor Xcel-Wobbler. ....	164
ANEXO 3. Catálogo de tubería Polietileno de Alta Densidad - Tigre. ....	166
ANEXO 4. Coeficiente de arrastre típicos.....	167
ANEXO 5. Diagrama de moody.....	168
ANEXO 6. Propiedades del Agua. ....	171



ANEXO 7. Matriz de consistencia .....	172
ANEXO 8. Panel fotográfico de la investigación desarrollada. ....	173
ANEXO 9. Hoja de consentimiento informado.....	180
ANEXO 10. Hoja de cuestionario pre-test y post-test.....	181
ANEXO 11. Hoja de experimento de la válvula de impulso.....	183
ANEXO 12. Planos del sistema de bombeo con ariete hidráulico. ....	186

**Área:** Ingeniería y Tecnología

**Línea:** Recursos Hídricos

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 27 de noviembre de 2023



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Acceso a la zona del proyecto.....	57
<b>Tabla 2</b> Materiales empleados para la construcción de la bomba de ariete .....	59
<b>Tabla 3</b> Equipos y herramientas utilizados en campo.....	61
<b>Tabla 4</b> Datos de caudal aforado en captación.....	65
<b>Tabla 5</b> Cálculo de velocidad para tuberías del catálogo tuboplast .....	69
<b>Tabla 6</b> Rango de valores de longitud para tubería de suministro .....	70
<b>Tabla 7</b> Accesorios del cuerpo de la bomba de ariete.....	73
<b>Tabla 8</b> Coeficientes de pérdidas de cargas locales .....	81
<b>Tabla 9</b> Características técnicas de la tubería seleccionada PVC-PN-7.5 .....	87
<b>Tabla 10</b> Materiales para la construcción del cuerpo de la bomba .....	109
<b>Tabla 11</b> Materiales para la construcción de la cámara de aire .....	110
<b>Tabla 12</b> Materiales que se utilizaron para la construcción de la válvula de impulso .....	112
<b>Tabla 13</b> Materiales que se utilizaron para la construcción de la válvula de descarga .....	115
<b>Tabla 14</b> Materiales para la construcción del cuerpo de la bomba .....	116
<b>Tabla 15</b> Componentes instalados en el sistema de bombeo .....	123
<b>Tabla 16</b> Aforo de caudal de alimentación en la captación .....	128
<b>Tabla 17</b> Evaluación de la bomba de ariete a 83 golpes por minuto .....	131
<b>Tabla 18</b> Evaluación de la bomba de ariete a 76 golpes por minuto .....	135
<b>Tabla 19</b> Evaluación de la bomba de ariete a 72 golpes por minuto .....	139
<b>Tabla 20</b> Evaluación de la bomba de ariete a 63 golpes por minuto .....	143



<b>Tabla 21</b>	Resumen obtenido en la prueba para una altura de descarga de 20 metros. .....	145
<b>Tabla 22</b>	Costo total de la instalación del sistema de bombeo .....	148



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Válvula con resorte de pletina.....	33
<b>Figura 2</b> Válvula con plato perforado.....	34
<b>Figura 3</b> Válvula con resorte.....	34
<b>Figura 4</b> Válvula con pesas encima.....	36
<b>Figura 5</b> Válvula de solapa.....	37
<b>Figura 6</b> Válvula de solapa.....	38
<b>Figura 7</b> Válvula de bisagra.....	38
<b>Figura 8</b> Válvula de disco suelto.....	39
<b>Figura 9</b> Válvula de tapón.....	40
<b>Figura 10</b> Esquema de funcionamiento respecto a diferentes caudales.....	51
<b>Figura 11</b> Ubicación geográfica del distrito de Llalli.....	56
<b>Figura 12</b> Ubicación del sector de Buena Vista.....	56
<b>Figura 13</b> Ruta de Puno al Distrito de Llalli, sector Buena Vista.....	58
<b>Figura 14</b> Reservorio de almacenamiento de agua.....	72
<b>Figura 15</b> Válvula de descarga tipo cabezal.....	76
<b>Figura 16</b> Se observa el esquema de captación y bomba de ariete.....	88
<b>Figura 17</b> Componentes de la bomba de ariete hidráulico.....	108
<b>Figura 18</b> Construcción del cuerpo de la bomba.....	110
<b>Figura 19</b> Construcción de la cámara de aire.....	111
<b>Figura 20</b> Construcción de la válvula de impulso.....	113
<b>Figura 21</b> Plano vista frontal de la válvula de impulso.....	113
<b>Figura 22</b> Válvula de descarga construido.....	114
<b>Figura 23</b> Montaje de los componentes de la bomba de ariete.....	116



<b>Figura 24</b>	Construcción de captación de agua .....	119
<b>Figura 25</b>	Instalación de tubería de suministro .....	120
<b>Figura 26</b>	Instalación de la bomba de ariete hidráulico .....	121
<b>Figura 27</b>	Línea de descarga está conformado por tubería HPDE.....	121
<b>Figura 28</b>	La tubería de descarga a 20metros del nivel de la bomba de ariete .....	122
<b>Figura 29</b>	Se aprecia la tubería que conduce hasta el aspersor.....	122
<b>Figura 30</b>	Se observa la tubería que conduce el agua hasta el aspersor.....	123
<b>Figura 31</b>	Configuración de la válvula de impulso.....	125
<b>Figura 32</b>	Puesta en marcha y medición de presión.....	125
<b>Figura 33</b>	Medición de caudal de descarga.....	129
<b>Figura 34</b>	Medición de caudal desechado.....	130
<b>Figura 35</b>	Altura de descarga vs Caudal de descarga para 83 golpes/min.....	131
<b>Figura 36</b>	Medición de caudal de descarga.....	133
<b>Figura 37</b>	Medición de presión de 2.0 bar .....	133
<b>Figura 38</b>	Medición de caudal desechado.....	134
<b>Figura 39</b>	Altura de descarga vs Caudal de descarga para 76 golpes/min.....	135
<b>Figura 40</b>	Medición de caudal de descarga.....	137
<b>Figura 41</b>	Medición de presión de 2.1 bar .....	137
<b>Figura 42</b>	Medición de caudal de desechado .....	138
<b>Figura 43</b>	Altura de descarga vs Caudal de descarga para 72 golpes/min.....	139
<b>Figura 44</b>	Medición de caudal de descarga.....	140
<b>Figura 45</b>	Medición de presión de 2.1 bar .....	141
<b>Figura 46</b>	Medición de caudal de desechado .....	142
<b>Figura 47</b>	Altura de descarga vs Caudal de descarga para 63 golpes/min.....	144
<b>Figura 48</b>	Numero de golpes por minuto vs caudal de suministro .....	145



<b>Figura 49</b>	Numero de golpes por minuto vs caudal de descarga .....	146
<b>Figura 50</b>	Numero de golpes por minuto vs eficiencia (%).....	147



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>GEP</b>	: Google Earth Pro
<b>Hs</b>	: Altura de suministro (m)
<b>Hd</b>	: Altura de descarga (m)
<b>q</b>	: Caudal de descarga
<b>Cd</b>	: Coeficiente de descarga
<b>Ql</b>	: Caudal libre (m <sup>3</sup> /s)
<b>g</b>	: Gravedad (m/s <sup>2</sup> )
<b>Δh</b>	: Diferencia de altura (m)
<b>L</b>	: Longitud (m)
<b>f</b>	: Factor de fricción
<b>ε</b>	: Rugosidad (m)
<b>NRE</b>	: Numero de Reynolds
<b>Rr</b>	: Rugosidad relativa
<b>Ca</b>	: Coeficiente de arrastre
<b>PVC</b>	: Polietileno de alta densidad
<b>HDPE</b>	: Polietileno de alta densidad
<b>λ</b>	: Coeficiente de fricción o resistencia de la tubería
<b>e</b>	: Rugosidad relativa
<b>RNE</b>	: Reglamento Nacional de Edificaciones.
<b>OS</b>	: Obras de Saneamiento.
<b>γ</b>	: Peso específico del agua (N/m <sup>3</sup> ).



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó mediante un diseño experimental propiamente dicho entre el diseño e implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico y recurso hídrico para aprovechar en terreno agrícola del sector de Buena Vista del distrito de Llalli. La muestra estuvo constituida por un terreno agrícola de 2400 metros cuadrados, un río de donde deriva un canal con caudal aforado de 2.89 litros por segundo y una bomba de ariete hidráulico. Se emplearon como instrumentos: cuestionario escala Likert para medir la existencia del recurso hídrico antes y después del diseño e implementación de la bomba de ariete y hojas de experimento. Los resultados indican que existe una relación de dependencia entre el recurso hídrico y el sistema de bombeo con ariete hidráulico. En el desarrollo del cuestionario de escala de Likert pre-test se tuvo resultado, que la actitud del propietario es sumamente desfavorable debido a la falta de conocimiento de investigaciones realizadas de esta naturaleza, así mismo en la implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico se logró la configuración de la válvula de impulso a 63 golpes por minuto, donde se aprovecha un caudal de 7.41 litros por minuto de esa manera cumpliendo con el objetivo específico dos y finalmente se logró mediante cuestionario de escala de Likert post-test la actitud del propietario del terreno demostrativo es sumamente favorable debido con la implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico se logra aprovechar el recurso hídrico en terreno agrícola para el uso en riego por aspersión.

**Palabras clave:** Ariete hidráulico, caudal, diseño, implementación, recurso hídrico.



## ABSTRACT

This research work was carried out through an experimental design itself between the design and implementation of the pumping system with hydraulic ram and water resources to take advantage of agricultural land in the Buena Vista sector of the Llalli district. The sample consisted of an agricultural land of 2,400 square meters, a river from which a canal with a gauged flow of 2.89 liters per second and a hydraulic ram pump derives. The following instruments were used: Likert scale questionnaire to measure the existence of water resources before and after the design and implementation of the ram pump and experiment sheets. The results indicate that there is a dependency relationship between the water resource and the hydraulic ram pumping system. In the development of the pre-test Likert scale questionnaire, it was found that the owner's attitude is extremely unfavorable due to the lack of knowledge of research carried out of this nature, likewise in the implementation of the hydraulic ram pumping system. The configuration of the impulse valve was achieved at 63 strokes per minute, where a flow rate of 7.41 liters per minute is used, thus complying with specific objective two and finally it was achieved through a post-test Likert scale questionnaire on the owner's attitude. The demonstration land is extremely favorable because with the implementation of the hydraulic ram pumping system it is possible to take advantage of the water resource in agricultural land for use in sprinkler irrigation.

**Keywords:** Hydraulic ram, flow, design, implementation, water resource.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

“El agua constituye un elemento natural indispensable para el desarrollo de la vida y de las actividades humanas; por lo tanto, resulta complicado imaginar cualquier tipo de actividad en la que no se la utilice” (Galarza, 2013).

Desde hace mucho tiempo uno de los problemas más frecuentes es transportar el fluido hacia los lugares más elevados de la superficie, en lugares donde aún no se cuenta con energía eléctrica y el uso de combustibles fósiles que resultan costosos, no es posible usar bombas eléctricas ni bombas de combustión interna (Pauro, 2018).

El presente trabajo de investigación se origina de la necesidad de generar estudios en torno a tecnologías económicas, sociales y ambientalmente apropiadas que se adapten a la problemática actual del país y del departamento de Puno. En el Perú la falta de agua en terrenos agrícolas ha sido un problema permanente durante años hasta la actualidad, siendo un limitante en la actividad agrícola, principalmente para trabajar tierras por el poblador en el medio rural, siendo tan importante este recurso para su desarrollo económico social. En ese sentido, uno de los métodos bastante efectivos y económicos es la implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico para aprovechar el recurso hídrico.

En el Sector de Buena Vista, distrito de Llallí región Puno, muestran todas las condiciones y existe la disponibilidad de terreno agrícola siendo carente el recurso hídrico para riego de pastos cultivados como la alfalfa, motivo que es indispensable realizar



trabajos de investigación que permita implementar diseños sobre sistemas de bombeo de agua, que sean económicos para su acceso del poblador rural.

Para dar solución a la problemática detallada se propone en el presente trabajo de investigación el diseño e Implementación de un sistema de bombeo con ariete hidráulico para aprovechar el recurso hídrico, dicha bomba no requiere energía eléctrica ni combustible para su funcionamiento, el cual hace que sea amigable con el medio ambiente. Para cumplir ese fin, la estructura del presente trabajo de investigación se ha dividido en cuatro partes principales.

El primer capítulo se refiere a la introducción que contiene los conceptos más importantes que ayudaran a comprender este problema. Así como la revisión literaria de las investigaciones vinculadas al tema de diversa literatura internacional y nacional, igualmente se desarrolla problema de investigación e identificación, los objetivos e hipótesis de la investigación.

El segundo capítulo está referido a revisión literaria para el contenido de antecedentes utilizados en la investigación, bases teóricas para el diseño e implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico.

El tercer capítulo de materiales y métodos se detalla el proceso realizado para diseño y materiales utilizados, para ello las consideraciones importantes son la ubicación geográfica y política, metodología de la investigación, diseño de sistema de bombeo, diseño de la bomba de ariete hidráulico, construcción de la bomba de ariete e instalación del sistema.

En el cuarto capítulo se discuten los resultados, se analizan y se comentan los hallazgos resaltantes de acuerdo a los objetivos, comparando con lo que otros autores encontraron en estudios similares.



Finalmente se aborda las conclusiones y se añade algunas recomendaciones para futuras investigaciones y acciones que se pondrían poner en práctica para aprovechar el recurso hídrico.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema general**

¿Es posible diseñar e implementar un sistema de bombeo con ariete hidráulico para aprovechar el recurso hídrico en terreno agrícola del sector Buena Vista Llallí y que permita solucionar el problema del agua?

### **1.2.2. Problema específico**

1. ¿Cómo son las condiciones de recurso hídrico en el terreno agrícola del sector Buena Vista, antes del diseño e implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico?
2. ¿Cómo se puede determinar un diseño y buena implementación de un sistema de bombeo con ariete hidráulico y un óptimo funcionamiento de la válvula de impulso para aprovechar un caudal superior a 6.25 l/m?
3. ¿Cómo son las condiciones de recurso hídrico en el terreno agrícola del sector Buena Vista, después del diseño e implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico?



### **1.3. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. Hipótesis general**

Mediante el diseño e implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico se aprovechará el recurso hídrico en terreno agrícola del sector Buena Vista Llallí y permitirá solucionar el problema de agua.

#### **1.3.2. Hipótesis específicas**

1. Evaluando las condiciones del recurso hídrico en el terreno agrícola del sector Buena Vista, antes del diseño e implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico nos permite describir la cantidad que existe, uso en que se emplea, la cantidad que bombea y si económicamente es accesible.
2. Planteando el diseño e implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico y un óptimo funcionamiento de la válvula de impulso para aprovechar un caudal superior a 6.25 l/min.
3. Evaluando el recurso hídrico en el terreno agrícola del sector Buena Vista, después del diseño e implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico, nos permite describir cantidad de recurso hídrico que existe, el uso que se le da, la cantidad de recurso hídrico bombeado y si económicamente es accesible.

### **1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Diseñar e implementar un sistema de bombeo con ariete hidráulico para aprovechar el recurso hídrico en terreno agrícola del sector Buena Vista Llallí.



### 1.4.2. Objetivos específicos

1. Describir el recurso hídrico en el terreno agrícola del sector Buena Vista, antes del diseño e implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico.
2. Determinar el diseño e implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico para un óptimo funcionamiento de la válvula de impulsión y aprovechar un caudal superior a 6.25 l/min.
3. Describir el recurso hídrico en el terreno agrícola del sector Buena Vista, después del diseño e implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

##### 2.1.1. Antecedente de nivel internacional

Estudio paramétrico de la bomba de ariete en la ciudad Cartagena del País de España, el objetivo general del estudio fue conocer los parámetros que rigen su funcionamiento y corroborar que es una alternativa viable en su utilización, la muestra estuvo constituida por un modelo en el que se utilizarán tuberías de  $\frac{3}{4}$  “para la aspiración y de  $\frac{1}{2}$  “para la impulsión, el diseño que se utilizó fue experimental, los instrumentos que se usaron fueron tuberías, recipientes y manómetro y los resultados obtenidos más destacados corresponden a los obtenidos con una ratio 1:5 entre la presión de aspiración y la de impulsión. En estas condiciones, la relación de caudales es del 17.75% y la eficiencia de 70.5 % (Lofrio, 2020).

El estudio titulado construcción e instalación de una bomba de ariete hidráulico para alimentar el sistema de riego en un área definida para una finca agrícola, en la ciudad Bogotá D.C del País de Colombia. El objetivo general del estudio fue Diseñar y desarrollar una bomba de ariete útil para un área de riego de una finca en Bituima, Cundinamarca. La muestra estuvo constituida por construcción e instalación de la bomba, el diseño que se utilizó fue experimental, los instrumentos que se usaron fueron tanques de recolección y tuberías de transporte para su óptimo funcionamiento y los resultados obtenidos se instaló una bomba con una altura de salida de 26 metros y un caudal de 0,2479 LPM para



cubrir una demanda de 0,143LPM, cumpliendo con los cálculos, dando como eficaz el diseño (Ramírez y González, 2019).

### **2.1.2. Antecedente de nivel nacional**

El estudio titulado Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico de 2 pulgadas para el fundo Pachaticgra – Pinaya distrito de Santa Lucia Región Puno, 2020 en la ciudad Puno –Perú. El objetivo general el diseño de la bomba de ariete logra cumplir con los requisitos de caudal y altura de descarga para abastecer de agua al fundo Pachaticgra, la muestra bomba de ariete hidráulico, el diseño que se utilizó fue experimental, los instrumentos que se usaron fueron manómetro, cronometro, recipiente para medir caudales y como resultado se calibro la válvula de impulsión a 50 golpes por minuto obteniendo un caudal de descarga de 7.06 l/min a través de una tubería de ½ pulgada, bombeando una distancia de 50 metros y 35 metros de altura donde se localiza el punto más alto. (Condori y Mamani, 2021).

El estudio titulado Diseño de una bomba de ariete hidráulico monopulsor para el aprovechamiento de aguas del manantial, anexo Anucariri Puno - 2021 en el Anexo Anucariri del Distrito de Acora Puno Perú. El objetivo general del estudio fue Determinar el diseño de la bomba de ariete hidráulico monopulsor para cumplir con los requisitos de caudal y altura necesario para suministrar de agua, la muestra estuvo constituida por ariete hidráulico monopulsor, el diseño que se utilizó fue experimental, los instrumentos que se usaron fueron libreta de apuntes, computadora, cámara fotográfica, filmadora y los resultados obtenidos han sido con un caudal de bombeo de 1.92 litros por minuto, con un diámetro de ½ pulgada, con una carrera de 10 milímetros, con 41 latidos por minuto, con un caudal



desechado de 22.80 litros por minuto, que equivale a 32,832 litros por día. Teniendo un rendimiento de bombeo de 2,764.80 litros por día para abastecer la zona de anexo Anucariri; en las pruebas experimentales solo llegando alcanzar a 14 metros de elevación con una presión de 20 PSI. Logrando superar la altura de elevación en un 5.51 metros más al punto de bombeo. (Callata, 2021)

### **2.1.3. Antecedente de nivel regional**

El estudio titulado: Efectividad del Sistema de Bombeo con Ariete Hidráulico en la Zona Rural de La Provincia de San Pablo – Cajamarca. en la ciudad Cajamarca Perú. El objetivo general del estudio fue determinar La Efectividad del Sistema de Bombeo con Ariete Hidráulico en la zona rural de La Provincia de San Pablo-Cajamarca, La muestra estuvo constituida por una bomba de ariete hidráulico, el diseño que se utilizó fue experimental. Los instrumentos que se usaron fueron entrevistas, observación directa, técnicas de medición de parámetros hidráulicos, escala de Likert para determinar grado de satisfacción y los resultados obtenidos han sido la demanda total del recurso hídrico es de 8.072 l/min; lo cual considera demanda doméstica, ganado y riego de pasturas, mientras que la oferta es de 15 a 25 l/s de agua. Los parámetros de diseño y operación del sistema de bombeo se rigen para un cuerpo de bomba de 1”, siendo el sistema en paralelo; proporcionando 8.9 l/min donde la eficiencia total del sistema es de 55.23%. (Aranguri, 2018)



## **2.2. BASES TEORICAS**

### **2.2.1. Agua**

“El agua es uno de los principales recursos que brinda la tierra, utilizados por la humanidad para la vida y su subsistencia, este en un compuesto con características únicas que da lugar a la gran mayoría de procesos químicos, físicos y biológicos de la naturaleza”. (Gutiérrez y Vargas, 2018) cita a García et al., (2016)

### **2.2.2. Recurso hídrico**

“todas las aguas existentes en un territorio, disponibles para su interacción con el ser humano”. (Gutiérrez y Vargas, 2018) cita a (Rodríguez, 2012)

### **2.2.3. Hidráulica**

“La hidráulica es una de las ramas de la física, que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los fluidos (líquidos) dependiendo de las fuerzas a que pueden ser sometidos” (Condori y Mamani, 2021, p. 25).

“Es una rama de la física que estudia el comportamiento de los fluidos en base a sus propiedades específicas, y a las fuerzas a las que estas se encuentran sometidas relacionando la viscosidad de estas” (Sánchez, 2020, p. 17).

En el presente estudio nos adherimos al autor de Condori y Mamani (2021), por la siguiente razón, que la hidráulica se encarga del estudio de propiedades mecánicas del fluido (líquidos).



#### **2.2.4. Energía Hidráulica**

“Es una energía renovable que aprovecha la energía cinética y potencial de una corriente en su mayoría de casos agua, y que se puede transformar en diferentes escalas” (Sánchez, 2020, p. 18).

“Es la energía renovable que se obtiene de los fluidos (agua), provenientes de ríos, embalses, cuencas, saltos naturales o cualquier otra fuente que aumente la energía cinética y potencial del fluido” (Condori y Mamani, 2021, p. 24).

Por lo que en este estudio nos adherimos al autor Sánchez (2020) por la siguiente razón: Es la energía renovable que aprovecha la energía cinética y potencial de un corriente en su mayoría de casos de agua.

#### **2.2.5. Energía potencial**

“Es la energía almacenada en virtud a la posición de que tiene un cuerpo dentro de un sistema lo que ocasiona que el sistema que actúa sobre él es de tipo conservatorio” (Sánchez, 2020, p. 18).

“Es la energía que almacena un objeto y que depende de su posición con respecto a otros objetos, o de que exista un campo de fuerzas dentro de él” (Condori y Mamani, 2021, p. 24).

En este estudio nos adherimos al autor Condori y Mamani (2021) por la siguiente razón: Es la energía que almacena un objeto y que depende de su posición con respecto a otros objetos.

### **2.2.6. Energía Cinética**

“Dentro de la hidráulica, se le define como el trabajo necesario para aumentar la velocidad de los fluidos desde su estado de reposo hasta alcanzar su máxima velocidad” (Condori y Mamani, 2021, p. 25).

“Es la energía que posea un cuerpo debido a su movimiento, también se define en hidráulica como el trabajo necesario que necesita un cuerpo para cambiar de velocidad los fluidos desde su estado de reposo hasta alcázar su máxima velocidad” (Sánchez, 2020, p. 18).

### **2.2.7. Bomba de ariete hidráulico**

Es un dispositivo que se utiliza para trasladar fluidos de un punto de partida hasta un punto de llegada con una diferencia de nivel, mediante un aumento de la presión en el líquido que vence las pérdidas por la presión de cargas y la diferencia de alturas (Sánchez, 2020, p. 18).

“Es una maquina capaz de transformar la energía con la que funciona (generalmente mecánica o eléctrica) en energía del fluido que intenta mover. Dicho de otra forma, suministra al fluido el caudal y la presión necesaria para cumplir determinada función” (Condori y Mamani, 2021, p. 25).

Una bomba de Ariete Hidráulico, es una máquina que funciona de modo muy diferente de cualquier otra clase de bomba y no necesita motor para su funcionamiento. Esto quiere decir que aprovecha parte del agua para su funcionamiento y entrega el resto forzando el agua a un nivel más elevado (Aranguri, 2018, p. 12).



## **2.3. COMPONENTES DEL ARIETE HIDRÁULICO**

### **2.3.1. Cuerpo del ariete hidráulico**

La estructura del cuerpo del ariete está construida por una caja de válvulas el cual debe estar formado por un té y un codo el cual pueden estar unidos los elementos por pernos, tornillos, elementos roscados o mediante soldadura y el parámetro de diseño más elemental es la ubicación relativa de las válvulas de impulso y descarga ya que estas se encargarán de crear la sobrepresión y dar paso al líquido hacia la descarga (Condori y Mamani, 2021, p. 35).

### **2.3.2. Válvula de impulso**

Una de las partes más importantes de la bomba de ariete vendría a ser la válvula de impulso, la cual una correcta selección y diseño nos asegurara la mayor eficiencia durante el funcionamiento del dispositivo. Constituirá la parte móvil más importante durante el funcionamiento del equipo. La cual se encargará de generar el golpe de ariete debido al cierre brusco que se genera debido al incremento de la velocidad del líquido. Haciendo variar el número de golpes por minuto, esta válvula nos permitirá regular la cantidad de líquido que ingresará a la cámara de aire (Condori y Mamani, 2021, pp. 35-36).

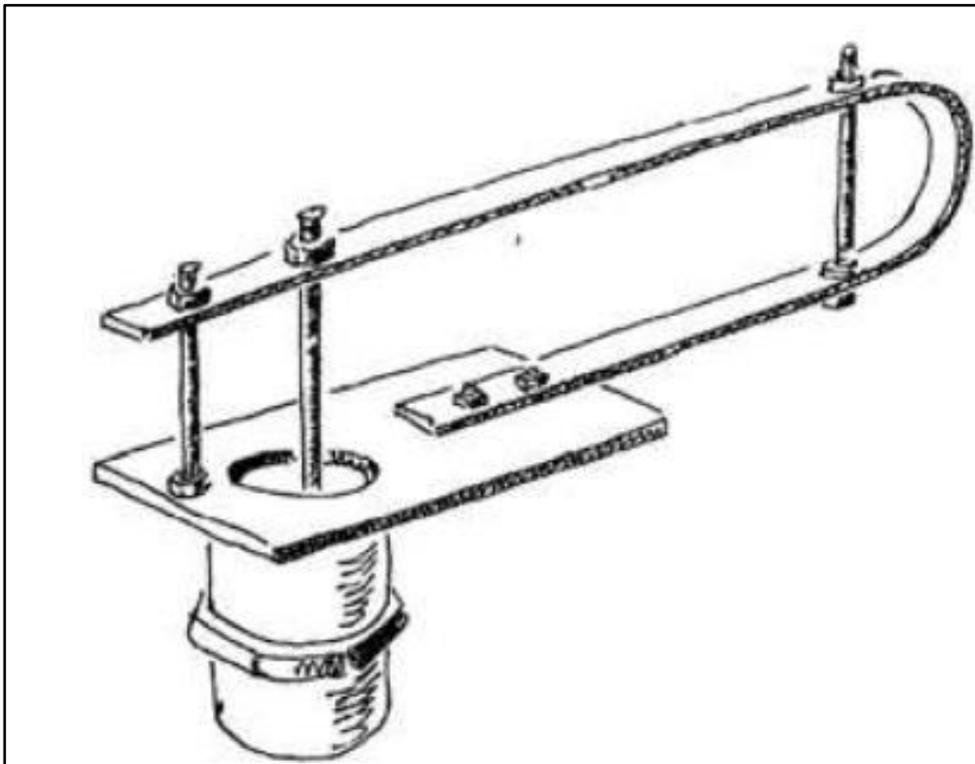
### **2.3.3. Tipos de válvulas de impulso**

#### **a). Válvula con resorte de pletina**

“Este tipo de válvula se puede construir artesanalmente ya que está construida de materiales que fácilmente se pueden encontrar como planchas, pernos, pletina y tubos, este se puede fabricar fácilmente en cualquier taller mecánico” (Condori y Mamani, 2021).

Figura 1

*Válvula con resorte de pletina*



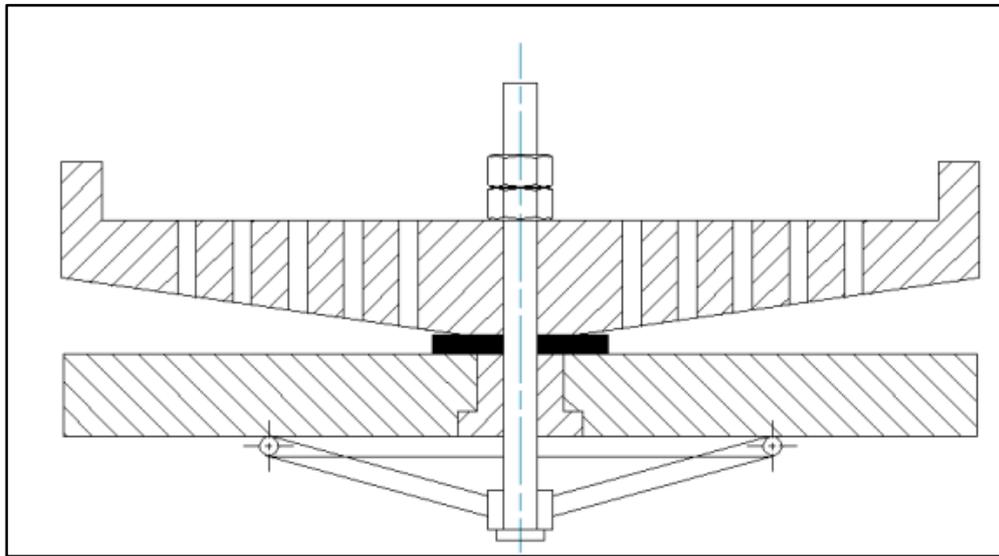
**Fuente:** (Condori y Mamani, 2021) cita (Watt, 1981)

**b). Válvula con plato perforado**

Esta válvula tiene un alto índice de tolerancia a la fatiga ya que tiene un plato perforado de geometría variable y compleja ya que el material con el que este hecho tiene una gran flexibilidad y resistencia al desgaste. Los materiales con los que está construido son muy costosos y hay una probabilidad de no tener acceso a estos, su construcción vendría a ser muy complicada y la vida útil es muy corta (Condori y Mamani, 2021).

Figura 2

*Válvula con plato perforado*



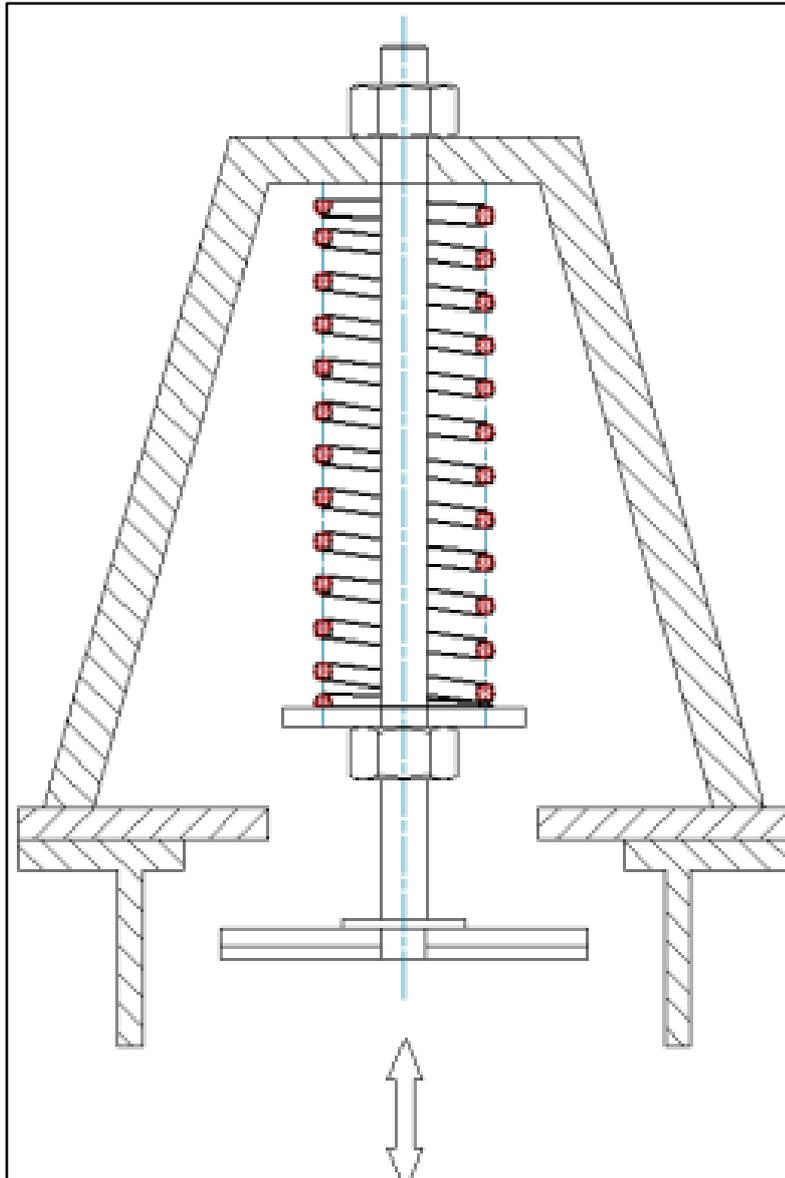
**Fuente:** (Condori y Mamani, 2021) cita a (Schiller, 1986)

**c). Válvula regulada con resorte**

“La válvula tiene una construcción con elementos exactos debido a que implica cálculos previos de tal manera que el desplazamiento de la carreta lo gobernara un resorte y la válvula puede estar colocada en forma horizontal o vertical” (Condori y Mamani, 2021, p. 37).

Figura 3

*Válvula con resorte*



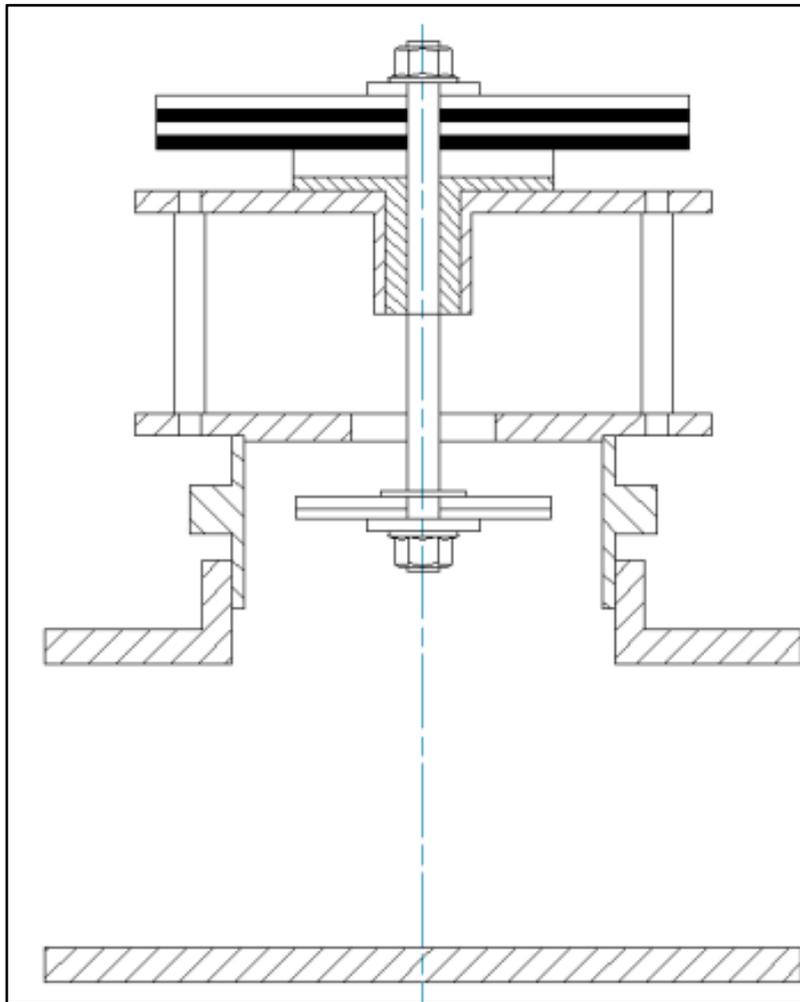
**Fuente:** (Condori y Mamani, 2021) cita a (Rivadeneira y Silva, 2013)

#### **d). Válvula con pesas encima**

Este diseño tiene la ventaja de poder ajustar su carrera y su velocidad de cierre con la modificación de su conjunto de pesas, su construcción es robusta lo que garantiza una gran durabilidad para un ciclo de vida elevado. Como desventaja se tiene que este tipo de válvulas solo pueden trabajar en forma vertical para que las pesas actúen por la gravedad (Rivadeneira y Silva, 2013, p. 25).

Figura 4

*Válvula con pesas encima*



**Fuente:** (Rivadeneira y Silva, 2013) cita a International Development Research Centre (IDRC)

#### 2.3.4. Válvula de descarga

Es la que permite el paso del agua, desde la caja de válvulas hasta la cámara de aire, no permitiendo su retroceso al cerrarse por los efectos del rebote que se produce con el aire comprimido dentro de la cámara, lo que hace que el agua sea impulsada hasta un nivel superior al de captación. Debe estar construida de forma tal que se logre una buena hermeticidad, lo que evita pérdidas en la eficiencia y el rendimiento (Rivadeneira y Silva, 2013, p. 26).

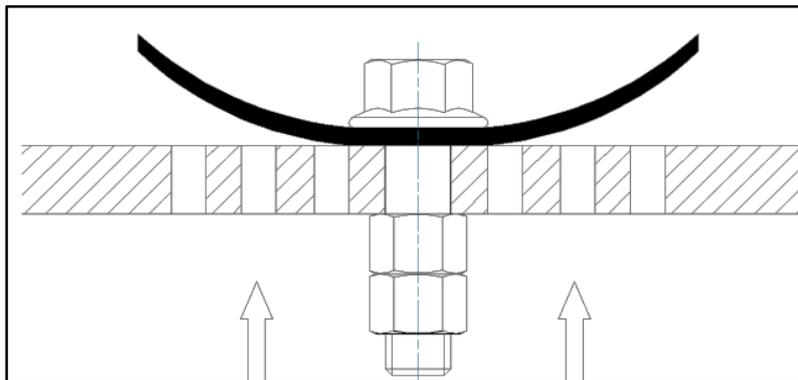
### 2.3.5. Tipos de válvulas de descarga

#### a). Válvula de Solapa

Compuesta de una tapa de goma sencilla fijada en el centro contra una placa plana perforada. El movimiento está restringido por el tipo y espesor del caucho utilizado. La cantidad de flujo que atraviesa el agujero en la placa de entrega está limitada por la resistencia del caucho y la presión de entrega. Su baja inercia brinda una respuesta más rápida que otros tipos de válvulas (Rivadeneira y Silva, 2013, pp. 26-27).

Figura 5

*Válvula de solapa*



**Fuente:** (Rivadeneira y Silva, 2013) cita a A guide to ram pump water supply systems

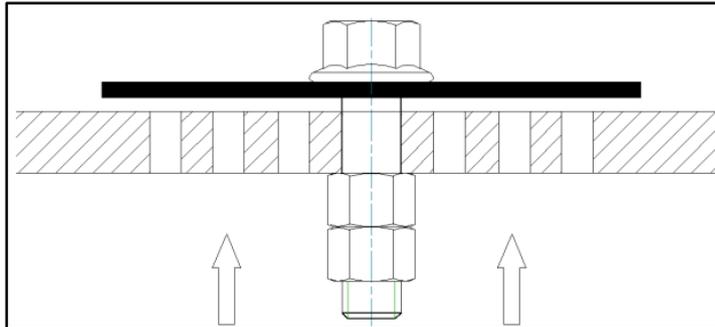
#### b). Válvula tipo cabezal

Esta válvula se caracteriza por que el obturador utiliza caucho más rígido como el material de la suela de zapato subiendo y bajando con un eje central, la carreta de esta válvula debe ser regulada haga desplazamientos muy cortos (menos de 5 mm) esto ayudara a prevenir el reflujos.

En este tipo de válvulas están sujetas a un desgaste muy breve, pero tiene la ventaja de permitir agujeros de gran diámetro en la placa de entrega. (Condori y Mamani, 2021, p. 40)

Figura 6

*Válvula de solapa*



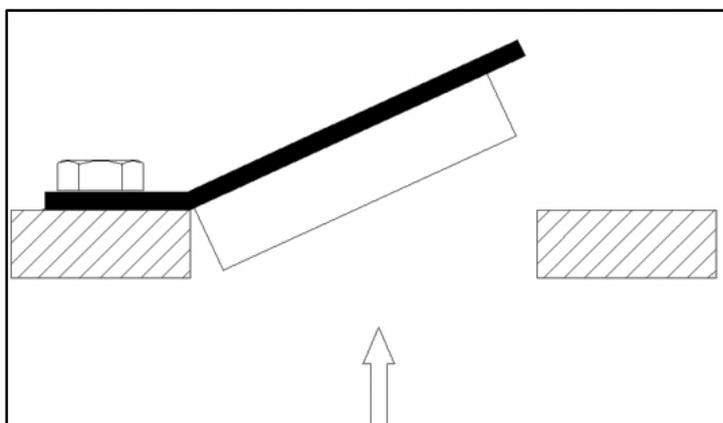
**Fuente:** Condori y Mamani (2021) cita a Jeffrey (1992)

**c). Válvula de bisagra**

“Este tipo de válvula permite un agujero grande en la placa de entrega de esta manera minimiza la resistencia al flujo. Para construir esta bisagra serán crucial los materiales y el método de fijación ya que con frecuencia causan problemas” (Condori y Mamani, 2021, p. 41).

Figura 7

*Válvula de bisagra*



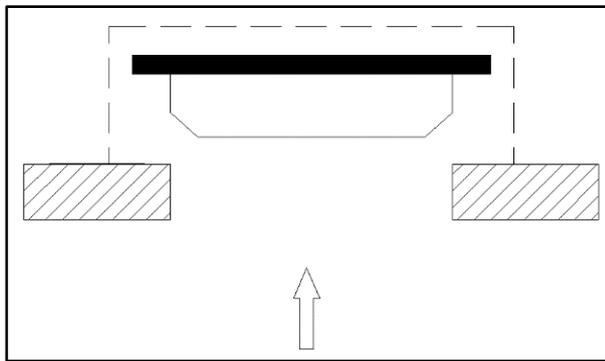
**Fuente:** Condori y Mamani (2021) cita a Jeffrey (1992)

#### d). Válvula de disco suelto

Esta válvula utiliza materiales similares al de tipo cabezal ya que está restringido por una jaula unida a la placa de suministro y esto hará que sea más difícil de fabricar, pero tiene una similitud a la válvula del tipo cabezal (Condori y Mamani, 2021) cita a (Jeffrey, 1992).

Figura 8

*Válvula de disco suelto*



**Fuente:** Condori y Mamani (2021) cita a Jeffrey (1992)

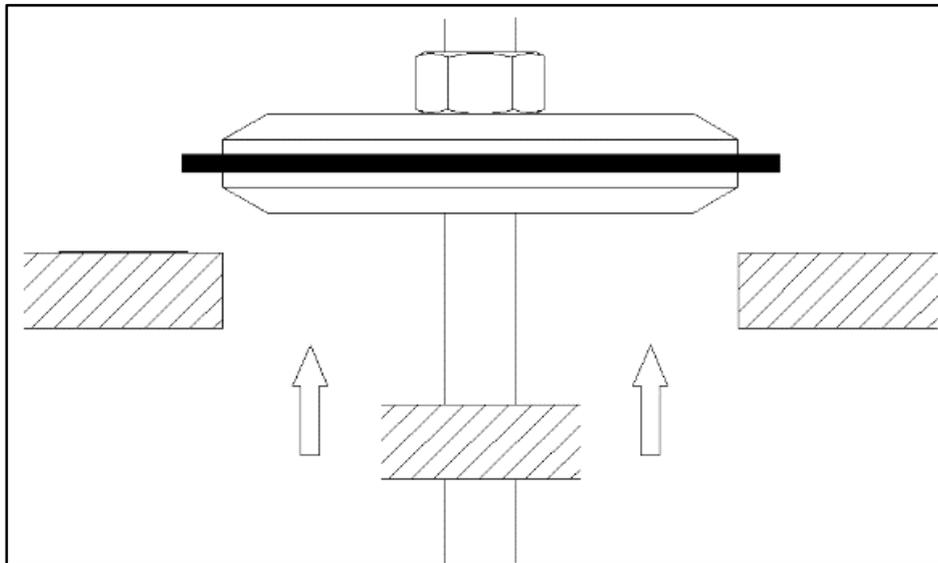
#### e). Válvula de tapón

En esta válvula se tendrá que superar el peso de la válvula con el motivo de levantarlo y esto se logrará con impulsos efectivamente invertida con la presión diferencial.

Una ventaja vendría a ser el flujo grande de la placa de entrega, también realiza la conducción a un flujo grande de retorno, mientras que la válvula se cierra. Podríamos facilitar un cierre rápido añadiendo un resorte, solo que esto se sumara a la presión diferencial requerida para abrirlo (Condori y Mamani, 2021) cita a (Jeffrey, 1992).

Figura 9

*Válvula de tapón*



**Fuente:** Condori y Mamani (2021) cita a Jeffrey (1992)

### 2.3.6. Cámara de aire

Este componente absorbe la sobrepresión (logrando amortiguar los golpes de ariete) e impulsa el líquido por la tubería, esto se da porque regula el flujo del líquido hacia la tubería de descarga, de esta forma se da un flujo casi continuo y logra un nivel superior al de captación, va puesta sobre su propia base en la caja de válvulas mediante tornillos o enroscados.

Debido a las condiciones de funcionamiento en el interior de la cámara de aire se produce dos presiones, una presión máxima cuando el líquido ingresa y el aire de la cámara se comprime y otra presión mínima cuando la cantidad de aire soporta la columna del líquido presente en la tubería de entrega, se utiliza la Ley de Boyle como cálculo de estas presiones que relacionan el volumen y la presión de una cierta cantidad de aire que se mantiene a una constante temperatura (Condori y Mamani, 2021, p. 42-43).



$$P_1 * V1_{aire} = P_2 * V2_{aire}$$

Donde:

$P_1$  = Presion minima (Pa)

$V1_{aire}$  = Volumen inicial de aire en la camara (m<sup>2</sup>).

$P_2$  = Presion maxima (Pa)

$V2_{aire}$  = Volumen dos de aire en la camara (m<sup>2</sup>).

### 2.3.7. Válvula de aire

“Esta válvula permite renovar el aire absorbido por el líquido que se pierde de la cámara y a su vez regular el aire. También permite el ingreso de aire de acuerdo al requerimiento de la cámara y esta se encuentra debajo de la válvula de descarga” (Condori y Mamani, 2021, p. 43).

## 2.4. PARÁMETROS DE DISEÑO PARA LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO

### 2.4.1. Ubicación de la bomba

“Determinar el lugar donde se va a utilizar la bomba es la etapa primordial que marcará factores determinantes para el diseño de la misma, debido a las necesidades en el caso específico para su funcionamiento” (Condori y Mamani, 2021, p. 43).

### 2.4.2. Altura de descarga

La altura de descarga tiene el requerimiento de elevar el fluido a un nivel establecido, para indicar la utilización del líquido hacia una función específica



entre las cuales se pueden mencionar; riego, almacenamiento de agua, distribución, potabilización del agua, entre otros (Condori y Mamani, 2021, p. 44).

### 2.4.3. Altura de suministro

Para establecer la altura con la cual se debe contar para llegar al nivel de descarga requerido se hace uso de relaciones matemáticas realizadas por fabricantes y estudiosos del tema como Wáter S.B Watt que en su publicación expresa que la altura de suministro se determina por medio de la siguiente formula y debe estar entre 1 y 12 m como rangos recomendados (Condori y Mamani, 2021, p. 44).

$$Hs = \frac{1}{3} Hd$$

Donde:

Hs = Altura de suministro (m).

Hd = Altura de descarga (m).

### 2.4.4. Tubería de suministro

La tubería de suministro se identifica con dos objetivos fundamentales que son:

- Permitir la entrada de agua al cuerpo de la bomba desde el tanque de suministro con una ganancia adicional de velocidad.
- Soportar el efecto del impacto de martillo producidos por el golpe de ariete.

Los valores del diámetro y longitud de la tubería de suministro son factores determinantes para asegurar el buen funcionamiento de la bomba de ariete, ya que



lleva el agua desde la fuente a la bomba y retiene la onda de presión producida por el golpe de ariete. Estas deben cumplir con ciertas relaciones desarrolladas de manera experimental y obviamente de acuerdo al espacio físico disponible. Es recomendable utilizar acero galvanizado de primera calidad o tuberías de hierro. El uso de otro tipo de materiales no apropiados conllevará a rutinas de mantenimiento seguidas y posibles fugas en la tubería de suministro.

Según S.B Watt en su publicación que menciona la siguiente relación como la más recomendada. Idealmente, el tren de tubos debe tener una longitud de al menos 100 veces su propio diámetro. Generalmente, la longitud del tren de tubos debe ser alrededor de tres a siete veces la altura de suministro. Los estudiosos del tema y los expertos fabricantes mencionan que, tanto el diámetro como la longitud de la tubería de caída son muy importantes, existen relaciones matemáticas desarrolladas experimentalmente que garantizan el buen funcionamiento del ariete.

La bomba funcionará bien si la relación entre la longitud (L) y el diámetro interno (D) se encuentra dentro de los límites. (Condori y Mamani, 2021, p. 44-45)

$$\frac{L}{D} = 150 \text{ a } 500$$

#### **2.4.5. Tubería de descarga**

La tubería de descarga tiene un propósito principal que es llevar el fluido hasta su altura de descarga, la cual se compone de elementos de acople como uniones, codos, niples, etc. Son necesarios para armar el tren de tubos que cumpla con la distancia establecida. El diámetro de la tubería de descarga normalmente se



calcula como la mitad del diámetro de la tubería de suministro. (Condori y Mamani, 2021, p. 45-46)

#### 2.4.6. Caudal de descarga

“Es el caudal que la bomba de ariete descarga una vez puesta en marcha, se utiliza la siguiente fórmula para su cálculo” (Condori y Mamani, 2021, p. 46).

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

$q$  = Caudal de descarga (m<sup>3</sup>/s).

$H_s$  = Altura de suministro (m).

$H_d$  = Altura de descarga (m).

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

$u_c$  = Velocidad de cierre de la válvula de impulso (m/s)

$C_d$  = Coeficiente de descarga.

De donde el caudal de descarga queda:

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

#### 2.4.7. Velocidad de cierre de la válvula de impulso

“Para hallar la velocidad de cierre de la válvula de impulso es necesario utilizar la siguiente relación matemática” (Condori y Mamani, 2021, p. 47).

$$u_c = 0.135 * C_{vi}$$

Donde:

$u_c$  = Velocidad de cierre de la válvula de impulso (m/s)

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

#### 2.4.8. Coeficiente de descarga

“El coeficiente de descarga es un factor adimensional el cual relaciona el caudal con el cual el fluido se desplaza libremente por una tubería, junto al nivel del fluido en el embalse ( $\Delta h$ )” (Condori y Mamani, 2021, pp. 47-48).

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

El coeficiente de descarga es igual a:

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

Donde:

$Q_l$  = Caudal libre (m<sup>3</sup>/s).

$C_d$  = Coeficiente de descarga.

$g$  = Gravedad (m/s<sup>2</sup>).

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

$A$  = Área a la salida del fluido (m<sup>2</sup>)

#### 2.4.9. Caudal libre

El caudal libre se obtiene tomando la siguiente consideración, la válvula de impulso tiene que mantenerse inmóvil permitiendo que el agua fluya hacia la atmosfera sin interrupción.



Mediante la Ecuación General de la Energía que es una expansión de la Ecuación de Bernoulli, es posible resolver problemas con presencia de pérdidas, las cuales aparecen a medida que un flujo fluye por un conducto debido a la fricción interna en el fluido, la cual nos permite saber cuál será la velocidad del fluido en el interior de la tubería. (Condori y Mamani, 2021, pp. 48-49)

Ecuación General de la Energía:

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

Donde:

$P_1$  = Presión en el punto uno (Pa).

$P_2$  = Presión en el punto dos (Pa).

$\gamma$  = Peso específico del agua (N/m<sup>3</sup>).

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

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

$V_1$  = Velocidad en el punto uno (m/s).

$V_2$  = Velocidad en el punto dos (m/s).

$g$  = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

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

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



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

#### 2.4.10. Pérdidas mayores

“Las pérdidas mayores son producto de la fricción del fluido con el conducto” (Condori y Mamani, 2021, p. 49).

Se expresa por la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{V_2^2}{2g}$$

Donde:

$h_L$  = Pérdida mayor (m).

L = Longitud de la corriente de flujo (m).

D = Diámetro interno de la tubería (m).

$V_2$  = Velocidad en el punto dos (m/s).

$f$  = Factor de fricción.

#### 2.4.11. Pérdidas menores

“Las pérdidas menores ocurren cuando hay un cambio u obstrucción de la trayectoria del flujo, debido a la presencia de conectores, válvulas o accesorios” (Condori y Mamani, 2021, pp. 49-50).

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

Donde:



$h_{Lm}$  = Pérdida menor (m).

$k$  = Coeficiente de resistencia al flujo.

$V_2$  = Velocidad en el punto dos (m/s).

$g$  = Gravedad ( $m/s^2$ ).

#### 2.4.12. Factor de fricción

“La siguiente ecuación fue desarrollada por P. K. Swamee y A. K. Jain que permite el cálculo directo del factor de fricción” (Condori y Mamani, 2021, p. 50).

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 * \left( \frac{D}{\varepsilon} \right)} + \frac{5.74}{N_{RE}^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Donde:

$f$  = Factor de fricción.

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

$\varepsilon$  = Rugosidad (m).

$N_{RE}$  = Numero de Reynolds.

#### 2.4.13. Número de Reynolds

Para calcular la pérdida de energía debido a la fricción en un sistema de fluido, es necesario caracterizar la naturaleza del flujo. Un flujo lento y



uniforme se conoce como fluido laminar, mientras que un flujo rápido y caótico se conoce como flujo turbulento (Condori y Mamani, 2021, p. 51).

$$N_{RE} < 2000 \text{ flujo laminar.}$$

$$N_{RE} > 4000 \text{ flujo Turbulento.}$$

$$2000 < N_{RE} < 4000 \text{ flujo Impredecible.}$$

El tipo de flujo puede predecirse mediante al cálculo de Numero de Reynolds:

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

Donde:

$V$  = Velocidad de flujo (m/s).

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

$\nu$  = Viscosidad cinética (m/s<sup>2</sup>).

#### 2.4.14. Rugosidad Relativa

“Es la relación del diámetro de la tubería y la rugosidad promedio de su pared” (Condori y Mamani, 2021, p. 51).

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

Donde:

$R_r$  = Rugosidad relativa.

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



$\varepsilon$  = Rugosidad (m)

#### 2.4.15. Caudal de suministro

Un sistema ideal vendría a ser una buena transferencia de líquido de donde se tiene:

$$q * Hd = Q * Hs$$

Donde:

$q$  = Caudal de descarga ( $m^3/s$ ).

$Hd$  = Altura de descarga (m).

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

$Hs$  = Altura de suministro (m).

Pero esto no sucede en un sistema real, ya que existen varias pérdidas producidas por fricción entre el líquido y los componentes que se utilizan para la configuración de la red de tubería que tienen como finalidad transportar el líquido.

El ariete no aprovechara toda el agua proveniente de la tubería de entrada. Su eficiencia puede variar desde 20 hasta 90 % en algunos casos y depende de la relación entre la cota de la toma y la cota de suministro, con el nivel de referencia en el aparato. La eficiencia vendría a ser directamente proporcional al valor de esta relación, es decir inversamente proporcional a la altura a la que se va a suministrar el agua. Con el fin de calcular el caudal de suministro, si no se tiene la eficiencia se puede utilizar un valor asumido de 50 % (Condori y Mamani, 2021, pp. 52-53).

$$\eta = \frac{q * Hd}{Q * Hs}$$

$$Q = \frac{q * Hd}{\eta * Hs}$$

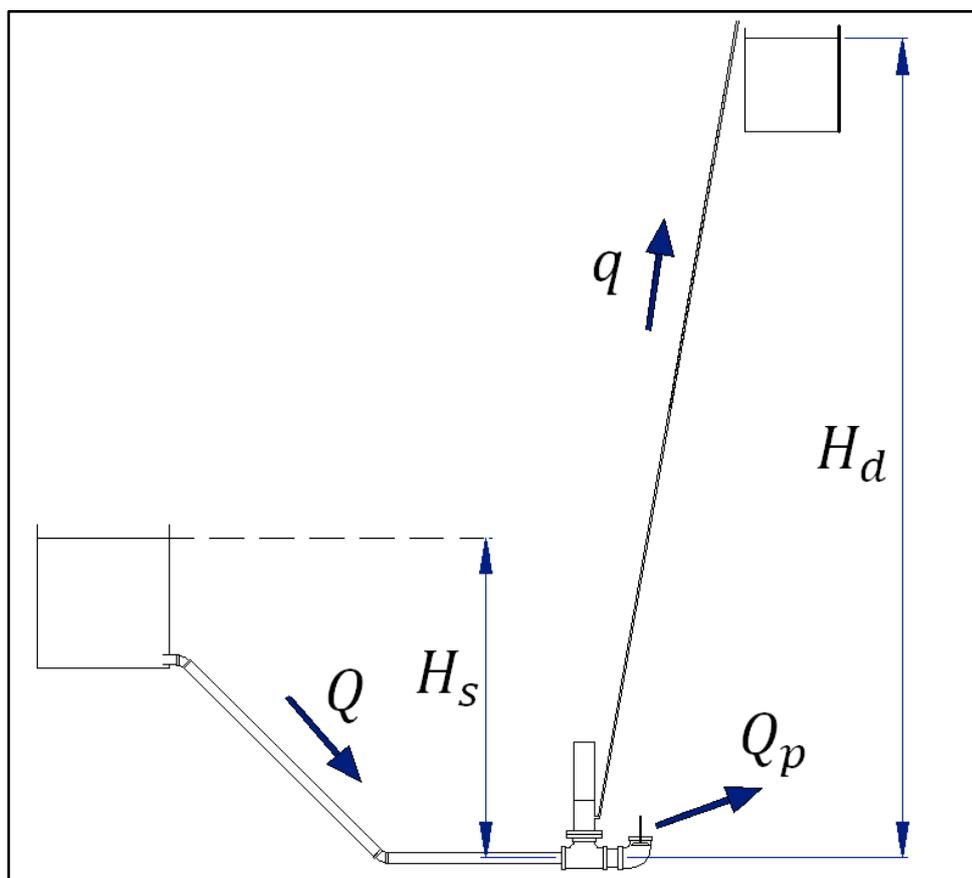
#### 2.4.16. Caudal desechado

“El caudal desechado vendría a ser la cantidad de líquido que la bomba de ariete hidráulico hacia la atmosfera cuando está en funcionamiento” (Condori y Mamani, 2021, p. 53).

$$Q = q + Q_p$$

**Figura 10**

Esquema de funcionamiento respecto a diferentes caudales



**Fuente:** Rivadeneira y Silva (2013, p. 52)



Donde:

$Q$  = Caudal de suministro (m<sup>3</sup>/s).

$Q_p$  = Caudal desechado (m<sup>3</sup>/s).

$q$  = Caudal de descarga (m<sup>3</sup>/s).

#### 2.4.17. Rendimiento Volumétrico.

“Vendría a ser la relación que existe entre el caudal de entrega y el caudal de suministro de la bomba de ariete hidráulico” (Condori y Mamani, 2021, p. 54).

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

Donde:

$n_v$  = Rendimiento volumétrico (%).

$q$  = Caudal de descarga (m<sup>3</sup>/s).

$Q$  = Caudal de suministro (m<sup>3</sup>/s).

#### 2.4.18. Potencia de la bomba

“La potencia que se necesita para elevar el fluido es proporcional a la tasa de flujo de agua multiplicado por la altura de descarga de la bomba de ariete y el peso específico del agua” (Condori y Mamani, 2021, pp. 54-55).

$$P = \gamma * q * Hd$$

Donde:

$P$  = Potencia (W).



$\gamma$  = Peso específico del agua ( $N/m^3$ ).

$q$  = Caudal de descarga ( $m^3/s$ ).

$H_d$  = Altura de descarga (m).

#### 2.4.19. Fuerza de arrastre para la válvula de impulso.

Según el autor Condori y Mamani (2020, p.55) cita a E. J. Schiller en su publicación menciona que “cuando el líquido acelera lo suficiente para cerrar la válvula de impulso se produce una fuerza de arrastre que genera este cierre y se describe por la siguiente formula”.

$$F_a = C_a * A_v * \rho * \frac{V^2}{g}$$

Donde:

$F_a$  = Fuerza de arrastre sobre la válvula de impulso (Kaf).

$C_a$  = Coeficiente de arrastre.

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

$\rho$  = Densidad del agua ( $Kg/m^3$ ).

$V$  = Velocidad del fluido en el cuerpo del ariete (m/s).

$g$  = Gravedad ( $m/s^2$ ).

#### 2.4.20. Peso máximo para la válvula de impulso

Según Condori y Mamani (2021) refiere que “para calcular el peso de la válvula de impulso se utiliza la siguiente relación” p.56.



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

Donde:

$C_a$  = Coeficiente de arrastre para la válvula de impulso.

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

$H_s$  = Altura de suministro (m).

$M$  = Sumatoria de pérdidas totales (m).

$\rho$  = Densidad de agua de 20 grados Celsius ( $kg/m^3$ ).



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA

La región Puno se ubica en la sierra sur este del país, en la meseta del Collao a  $13^{\circ}00'66''00''$  y  $17^{\circ}17'30''$  de latitud sur y los  $71^{\circ}06'57''$  y  $68^{\circ}48'46''$  de longitud oeste del meridiano de Greenwich.

En el Sector de Buena Vista se encuentra en el distrito de Llalli, en la provincia de Melgar, departamento de Puno a una altitud de 4135 msnm, entre las coordenadas UTM 19 L N 8337507.00 y E 289176.00.

#### 3.2. UBICACIÓN POLITICA

Políticamente la zona donde se llevó desarrollo la presente investigación corresponde a:

Región	:	Puno
Provincia	:	Melgar
Distrito	:	Llalli
Sector	:	Buena Vista

**Figura 11**

*Ubicación geográfica del distrito de Llalli*



**Figura 12**

*Ubicación del sector de Buena Vista*



### 3.3. LIMITES

El distrito de Llalli delimita con los siguientes distritos:

- Por el Norte, con el distrito de Cupi - Puno
- Por el Sur, con el distrito de Ocuvi - Puno
- Por el Este, con los distritos de Ocuvi, Cupi - Puno
- Por el Oeste, con el distrito de Pallpata - Cusco

### 3.4. ACCESIBILIDAD

El acceso principal es la carretera asfaltada de Puno – Juliaca – Ayaviri – Llalli de la región Puno.

**Tabla 1**

*Acceso a la zona del proyecto*

<b>Destino</b>		<b>Kilometro</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Tipo de vía</b>
Puno	Juliaca	44	45 min	Asfaltada
Juliaca	Ayaviri	95	80 min	Asfaltada
Ayaviri	Llalli	40	30 min.	Asfaltada
Llalli	Buena Vista	11	10 min	Asfaltada y trocha

### 3.5. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de influencia donde se desarrollará el estudio presenta una topografía irregular, donde esta, está conformada por laderas, planicies y cerros. El presente trabajo de investigación se sujeta al sistema WGS84 (World Geodetic System 1984), zona 19S.

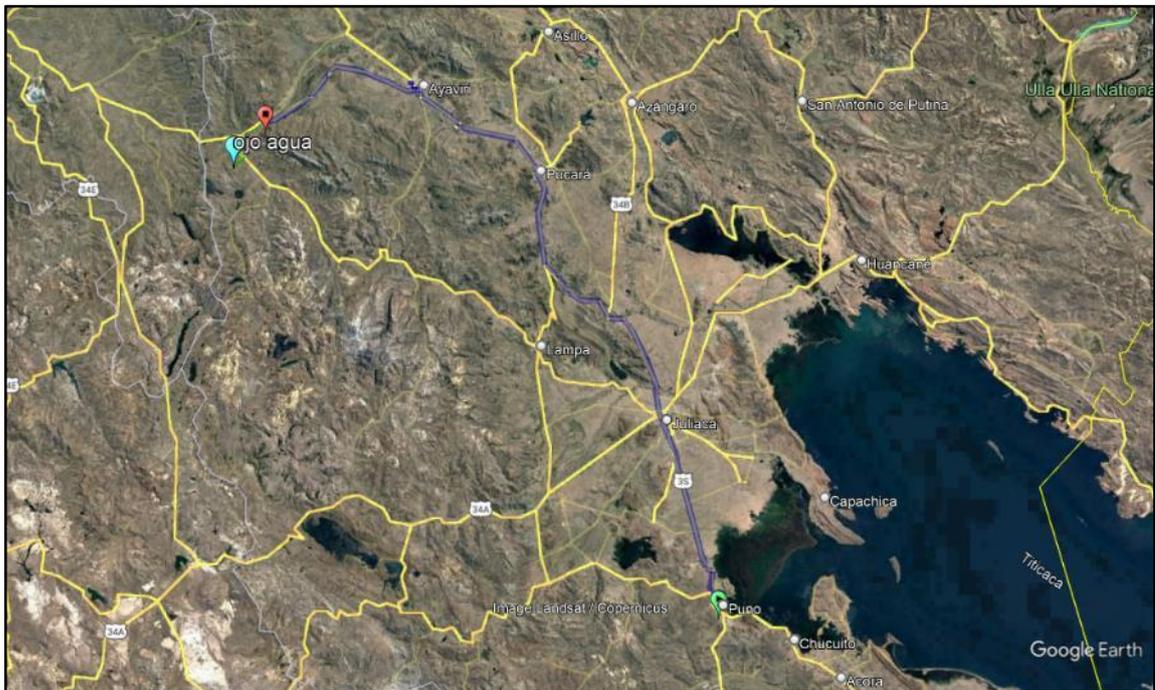
Es una zona dedicada a la agricultura, lo cual se dedican en la crianza de vacuno, ovino, alpaca, llama y a la producción de avena. Tiene un clima frígido y seco, con temperaturas que fluctúan entre los 16°C (Máximo) y 4°C (Mínima), esta última básicamente en la estación de invierno, durante los meses de junio y julio. La

precipitación pluvial promedio anual bordea los 760 mm, siendo abundante los meses de enero, febrero y marzo, el resto del año totalmente seco.

El acceso al lugar de influencia de la presente investigación es por medio de la carretera asfaltada que conecta el departamento de Puno con la provincia de San Román Juliaca que corresponde una distancia de 44 km, de la provincia de San Román Juliaca hacia la provincia de Melgar Ayaviri se recorre 95 km carretera asfaltada, de la provincia de Melgar Ayaviri hacia el distrito de Llalli hace un recorrido de 40 km carretera asfaltada, del Distrito de Llalli hacia el sector Buena Vista se recorre 11 km de carretera asfaltada y trocha.

### Figura 13

Ruta de Puno al Distrito de Llalli, sector Buena Vista



Fuente: Google Earth Pro (GEP)



### 3.6. MATERIALES

#### 3.6.1. Materiales de Gabinete

- 01 laptop I7
- 01 impresora
- AutoCAD Civil 3D 2020
- Microsoft office.
- Google Earth Pro
- 01 calculadora hp prime graphing calculator

#### 3.6.2. Materiales de construcción de la bomba de ariete hidráulico.

**Tabla 2.**

*Materiales empleados para la construcción de la bomba de ariete*

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Tubería pvc PN-7.5 de 3" L= 6m	und	5.00
Abrazadera de 3"x1/2" PVC	und	1.00
Canastilla de 4" x 3" PVC	und	1.00
Codo pvc de 22.5° 3" PN-7.5	und	1.00
Pegamento Oatey	und	0.50
Brida pvc de 3" s/p	und	2.00
Tee pvc de 3" s/p	und	1.00
Codo pvc de 90° de 3" s/p	und	1.00
Niple pvc de 8" x 3" s/p	und	4.00
Pegamento Oatey	und	1.00
Tubería pvc de 12 x 4 pulg	und	1.00
Tapón hembra de 4 pulg s/p	und	1.00
Abrazadera de 2 cuerpos termoplástica de 4 pulg con salida a 1/2 pulg	und	1.00
Brida de 3 pulg s/p	und	1.00
Niple de 2 x 1/2 pulg c/r	und	3.00
Llave de paso de 1/2 pulg c/r	und	3.00



<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
Tee hidro de 1/2 pulg c/r	und	1.00
Válvula check bronce de 1/2 pulg c/r	und	1.00
Manómetro de glicerina 1/2 pulg	und	1.00
Bushing galvanizado 1" x 1/2"	und	1.00
Vástago eje Ø 1/2" L=180mm A-36	und	1.00
Placa Acero A-36 Ø 190mm e=5mm	und	1.00
Bocin Ø 3/8" e=8mm	und	1.00
Empaque de jebe Ø 190mm, e=5mm	und	1.00
Pesas acero A-36 Ø 190mm, e=5mm	und	1.00
Perno acero A-36 Ø 11mm, L=110mm	und	4.00
Tuerca hexagonal de Ø 11mm	und	8.00
Arandela diámetro Ø 11mm, e=2mm	und	10.00
Placa acero A-36 Ø 190mm e=5mm	und	1.00
Solapa acero A-36 Ø 60 mm, e=5mm	und	1.00
Empaque de jebe para solapa Ø 60 mm, e=5mm	und	1.00
Perno de 1 1/2", e=6mm	und	1.00
Tuerca Ø 6mm	und	2.00
Empaque de jebe Ø 190 mm, e=5mm	und	2.00
Cemento	bol	1.00
Arena gruesa	m3	0.50
Piedra chancada 1/2"	m3	0.30
Agua	m3	0.35
Manguera de 1/2" x 50 metros	und	1.00
Adaptador HDPE de 1/2"	und	3.00
Unión HDPE de 1/2"	und	4.00
Manguera de 1/2" x 50 metros	und	1.00
Unión HDPE de 1/2"	und	5.00
Aspersor Xcel-Wobbler	und	40.00



### 3.7. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

**Tabla 3.**

*Equipos y herramientas utilizados en campo*

Descripción	Cantidad	Unidad
Pala	2	und
Pico	2	und
Alicate a presión	1	und
Llave loro	1	und
Máquina de soldar	1	máquina
Cámara fotográfica	1	und
Cronometro	1	und
Wincha de 50 metros	1	und
Flexómetro	1	und
Taladro	1	máquina
Amoladora	1	máquina
Carretilla	1	und
Nivel topográfico	1	máquina
Balde de 20 litros	1	und
Motocard	1	máquina
Moto Lineal	1	máquina

### 3.8. METODO

#### 3.8.1. Metodología de investigación

##### a). Tipo de investigación

El proyecto de investigación se ajusta al método científico hipotético deductivo, se ajusta al nivel experimental propiamente dicho por lo que se realizó cuestionario de escala Likert para medir la existencia del recurso hídrico en el terreno agrícola antes y después de implementar de la bomba de ariete hidráulico. Así mismo se realizó la manipulación de la válvula de impulso donde se tomó



datos para cuatro escenarios distintos con la finalidad de comprobar o rechazar la hipótesis.

#### **b). Nivel de investigación**

De acuerdo al proyecto de investigación realizado, el nivel de investigación que se utilizó fue descriptivo y exploratorio.

En la investigación se consideró las siguientes acciones:

- Tener contacto directo con la problemática de la investigación sobre las condiciones del recurso hídrico en el terreno agrícola.
- Desarrollar el cuestionario mediante escala de Likert sobre el recurso hídrico antes del diseño e implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico.
- Mediante una hoja de experimento tomar información de altura de suministro, altura de descarga.
- Desarrollar el diseño e implementación de la bomba de ariete.
- Realizar la manipulación de la válvula de impulso en cuatro escenarios.
- Desarrollar el cuestionario mediante escala de Likert sobre el recurso hídrico después del diseño e implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico.

#### **c). Diseño de investigación**

El diseño de investigación para el presente proyecto se denominó como experimental propiamente dicho. Por lo que se tomó cuestionario para ver antes y después de la implementación del proyecto de tesis la existencia de recurso hídrico



y a su vez se maniobra la válvula de impulso con el fin de determinar un eficiente diseño e implementación.

### **3.8.2. Población y muestra**

#### **a). Población**

El tamaño de la población está constituido por una bomba de ariete hidráulico, río Winipalcca, el terreno agrícola con sembrío de pasto cultivado alfalfa existente de 2400 m<sup>2</sup> en el sector de Buena Vista distrito de Llalli.

#### **b). Muestra**

La muestra para el desarrollo del proyecto de investigación se considera la propiedad del Señor Martin Chipana Vílchez ubicado en el sector Buena Vista, el terreno agrícola seleccionado como muestra cuenta con un área con sembrío de alfalfa de 2400m<sup>2</sup>, un río de donde deriva un canal con un caudal aforado de 2.89 l/s y una bomba de ariete hidráulico.

### **3.8.3. Procedimientos**

El procedimiento que se desarrolla en la ejecución del presente proyecto de investigación se describe de la siguiente forma:

#### **a). Etapa preliminar gabinete**

Se realiza la recolección de información del tema de estudio, reconocimiento y análisis de la información disponible, determinación de la información que se necesita para recabar en campo.



#### **b). Etapa de campo**

En esta etapa se moviliza hacia el terreno del Sr Martin Chipana Vilchez ubicado en el sector Buena Vista para realizar el levantamiento topográfico, recolección de datos de caudal de agua por el método volumétrico en un recipiente de 20 litros, determinación del área de terreno demostrativo y determinación de la ubicación de los componentes tales como captación, ubicación de la bomba de ariete, altura de descarga y el nivel del área de riego.

#### **c). Etapa de Gabinete**

Procesamiento de la información, elaboración de plano, diseño y construcción de ariete hidráulico y determinación de los componentes del sistema.

#### **d). Etapa final de campo**

En esta etapa se implementa el sistema de bombeo con ariete hidráulico, se pone en funcionamiento, se evalúa mediante hoja de experimento para cuatro escenarios de la válvula de impulso y finalmente se toma el cuestionario al propietario del terreno demostrativo.

#### **e). Etapa final de gabinete**

Procesamiento de datos obtenidos en la parte final del campo, análisis e interpretación de los datos y redacción final del trabajo de investigación.

### **3.9. SISTEMA DE BOMBEO**

#### **3.9.1. Cantidad de agua en la captación.**

Para determinar la cantidad de agua que suministrara la captación se empleara el método volumétrico, para ello en el mes de Julio del 2023 se hace la

salida a campo para recolectar información que posteriormente se utilizara para el diseño:

**Tabla 4**

*Datos de caudal aforado en captación*

<b>Muestra</b>	<b>Volumen (litros)</b>	<b>Tiempo (seg)</b>
1	19.54	6.69
2	19.54	6.72
3	19.54	6.88
4	19.54	6.63
5	19.54	6.86
6	19.54	6.70
<b>Promedio</b>	<b>19.54</b>	<b>6.75</b>

Para calcular el caudal se tomará los valores promedio de tiempo y volumen, y seguidamente se reemplaza en la siguiente formula:

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{19.54}{6.75}$$

$$Q = 2.89 \text{ litros/seg}$$

Donde se obtuvo 2.89 litros/seg como caudal aforado en la captación para el mes de Julio, donde la cantidad de agua es mínima por época de estiaje, a diferencia de los meses en noviembre a abril donde incrementa el agua hasta 10 veces.



### **3.9.2. Componentes integrantes del sistema de bombeo**

En la implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico se emplearán los siguientes componentes:

#### **a). Captación**

Lugar donde se almacena el agua del río Winipalcca trasladado mediante un canal existente y su posterior traslado mediante tuberías de suministro hacia la bomba de ariete hidráulico.

#### **b). Tubería de suministro**

Tubería de material PVC Clase-7.5, que conecta la captación y la bomba de ariete hidráulico, el cual deberá ser resistente al fenómeno denominado como golpe de ariete.

#### **c). Bomba de ariete hidráulico**

Es el componente que aprovecha la velocidad del agua derivado de la captación hasta la bomba de ariete, creándose una presión en el ariete, para posteriormente bombear el agua a un nivel superior de la misma.

#### **d). Tubería de descarga**

Se le atribuye a la tubería que traslada el agua desde la bomba de ariete hidráulico hasta el reservorio de almacenamiento de agua, cuya tubería es de un material de polietileno de alta densidad (HDPE).



### e). Depósito de almacenamiento

Es el componente que almacena el agua que traslada la línea de descarga, para su posterior uso en el terreno agrícola, mediante riego.

#### 3.9.3. Ubicación de los componentes del sistema de bombeo

Ubicar el lugar donde se va utilizar el sistema de bomba con ariete hidráulico es una decisión importante, debido a que partirá de ello los cálculos que se determinará dentro del diseño y su correcto funcionamiento.

#### 3.9.4. Cálculo de la altura de suministro (H).

Para determinar la altura de suministro se empleará la siguiente ecuación:

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

Donde:

$H_s$  = Altura de suministro (m)

$H_d$  = Altura de descarga (m)

Si reemplazamos en la ecuación

$$H_s = 4.07 \text{ m}$$

La altura de suministro se determinó en campo, con un nivel topográfico desde el punto de captación de agua hasta la ubicación de la bomba de ariete hidráulico, donde se determinó una altura de suministro  $H_s = 4.07$  m.



### 3.9.5. Elección de tubería de suministro

#### a). Determinar diámetro de tubería de suministro

Para la elección de la tubería se calculará primero el diámetro de la tubería en base a la fórmula de BRISSE, para ello se conoce el Q (Caudal de suministro), donde  $Q = 2.89$  l/seg.

$$D = K * \sqrt{Q}$$

Donde:

D = Diámetro (m)

K = Constante  $1.1 < K < 1.3$

Q = Caudal de suministro (m<sup>3</sup>/seg)

$$D = 1.3 * \sqrt{\frac{2.89}{1000}} = 0.070 \text{ m}$$

Según Tixe (2004), indica que para determinar un diámetro (D), se escogen dos (2) diámetros comerciales en referencia al valor de BRESSE calculado, con velocidades comprendidas entre 0,6 a 2,0 m/s.

Por lo que para determinar la velocidad se utiliza la ecuación de continuidad en la tabla 5, para diámetros del catálogo tuboplast, ver anexo 1.

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

Donde:

V = Velocidad (m/s)



D = Diámetro (m); del catálogo de tubería agua fría – NTP 399.002

Q = Caudal de suministro (m<sup>3</sup>/seg)

Reemplazando en la ecuación:

$$V = \frac{4 * \frac{2.89}{1000}}{\pi * 0.070^2}$$

$$V = 0.75 \text{ m/s}$$

En la tabla 5 se observa el cálculo de la velocidad, con diámetros comerciales según el catálogo TUBOPLAST para agua fría (tubos para fluidos a presión – simple presión -NTP 399.002) y con datos de Caudal de suministro.

**Tabla 5**

*Cálculo de velocidad para tuberías del catálogo tuboplast*

<b>Diámetro(pulgadas)</b>	<b>Diámetro interior (m)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
2"	0.054	1.25
2 1/2"	0.066	0.84
3"	0.080	0.57
4"	0.103	0.35
6"	0.152	0.16

Finalmente, de acuerdo a lo que indica BRESSE se debe elegir dos diámetros comerciales, en función al cálculo del diámetro de BRESSE para velocidad que se encuentre en el rango de 0.20 a 2.00 m/s, en la tabla identificamos los valores próximos a D = 0.070 m. Para ello se identifica en la tabla D = 0.066 m con V = 0.84 m/s y un D = 0.080 con una V = 0.057 m/s. En la presente investigación se tomó el valor de diámetro D = 0.080 m (3") por lo que este valor es más próximo al diámetro de BRESSE calculado.

### b). Determinar longitud de tubería de suministro

Según el autor Lofrio (2020) cita a Smith (2015) quien señala que para determinar la longitud de tubería se tomara valores mínimos y máximos, siguiendo los siguientes criterios:

$$L_{min} = 150 \times d_{suministro}$$

$$L_{max} = 1000 \times d_{suministro}$$

El diámetro de la tubería de suministro es de 3" (0.080m), por lo que su longitud de tubería se determinara dentro de los siguientes valores ver la tabla 6:

**Tabla 6**

*Rango de valores de longitud para tubería de suministro*

<b>Diámetro tubería suministro (Pulgadas)</b>	<b>Longitud mínima (metro)</b>	<b>Longitud máxima (metro)</b>
3"	12.00	80.00

En coherencia con la tabla 6 y trabajos de ubicación en campo se tomará una longitud de tubería suministro  $L = 19.50$  m.

### 3.9.6. Cálculo de la demanda de agua de riego.

De acuerdo a la ubicación del proyecto de investigación se encuentra dentro de la provincia de Melgar, por lo que para el cálculo de la demanda de agua se tomara de referencia la investigación realizada por Arizaca (2022) el cual también se encuentra dentro de la misma provincia, donde calcula datos de lámina bruta ( $L_b = 1.42$  mm/día) para el cultivo de alfalfa.



De acuerdo a este valor se obtiene el volumen de almacenamiento de agua para su aprovechamiento en terrenos agrícolas mediante riego, por lo que para calcular se utiliza la siguiente ecuación:

$$D_a = A \times L_b$$

Donde:

$D_a$  = Demanda de agua de riego

$A$  = Área de riego (m<sup>2</sup>)

$L_b$  = Lamina bruta de riego (m)

Reemplazando en la ecuación:

$$D_a = 2400 \times 1.42$$

$$D_a = 3.41 \text{ m}^3$$

### **3.9.7. Elección de la tubería de descarga.**

Para seleccionar la tubería de descarga, se definirá viendo diversos materiales en PVC, HDPE que puedan soportar la presión del agua que asciende hacia el tanque de almacenamiento de agua.

Por lo que en este estudio se define utilizar tubería HDPE de 1/2", siendo esta de fácil manejo, instalación en el terreno, el cual cumple con el requerimiento de presión.

### 3.9.8. Reservorio de almacenamiento.

Para el presente estudio el reservorio se instaló de forma experimental un reservorio con capacidad de 1100 litros, accesibles en el mercado como rotoplast donde se almacena el agua trasladada por la tubería de descarga para su posterior uso mediante riego. El reservorio en mención se encuentra a una distancia del ariete hidráulico de 70m y a un desnivel de la bomba de ariete hidráulico a 20 metros.

**Figura 14**

*Reservorio de almacenamiento de agua*



**Fuente:** Elaborado por Condori y Mamani (2020, p.85)



### 3.10. DISEÑO DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO

#### 3.10.1. Cuerpo de la bomba de ariete hidráulico

Las características serán similares a la tubería de suministro, así como el diámetro, resistencia a la presión, por lo que el cuerpo de ariete alojará los componentes internos como válvula de impulso, descarga y cámara de aire. En la presente investigación el diámetro de tubería de suministro se consideró de 3 pulgadas, por lo que a su misma vez el diámetro de la bomba de ariete hidráulico se considera de 3 pulgadas.

Así mismo los componentes se construyeron a base de un material PVC y fierro, los cuales se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 7**

*Accesorios del cuerpo de la bomba de ariete*

<b>Nro.</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
1	Tee de 3"	PVC	1	pza
2	Codo de 90° de 3"	PVC	1	pza
3	Niple de 3" x 10"	PVC	3	pza
4	Niple de 3" x 15"	PVC	1	pza

#### 3.10.2. Diseño de la válvula de impulso.

##### a). Diámetro del pie de la válvula de impulso

Se determinará en relación al cuerpo físico de la bomba de ariete hidráulico con diámetro interno igual a 80 mm, por lo que se determina que el diámetro del pie de la válvula de impulso será de 50 mm, para que el desplazamiento vertical y horizontal sean optimo.



### b). Cálculo del orificio del asiento de la válvula

“El diámetro del orificio de asiento de la válvula viene determinado por la siguiente relación” (Rivadeneira y Silva, 2013, p. 59).

$$dv = 1.15 \times do$$

Donde:

$dv$  = Diámetro del pie de la válvula (m).

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

Si:

$dv = 0.050$  m.

Por lo tanto:

$$do = \frac{0.050 \text{ m}}{1.15}$$

$$do = 0.043 \text{ m}$$

### c). Espesor del pie de la válvula

Rivadeneira y Silva (2013) cita a NEKRASOV, (1968) quien en su libro hidráulica “el espesor de las válvulas de asiento se calcula con la siguiente formula”.

$$e_{vi} = 0.14 \times do$$

Donde:

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



do = Diámetro del orificio de asiento (m).

$$e_{vi} = 0.14 \times 0.043$$

$$e_{vi} = 0.006 \text{ m}$$

#### **d). Diámetro del vástago de la válvula de impulso**

El diámetro del vástago que se selecciona es de 13 mm en base a consideraciones físicas requeridas de la bomba de ariete hidráulico.

#### **e). Longitud del vástago**

Para seleccionar la longitud del vástago se considera los espacios suficientes que permitirá alojar las pesas, tuerca, contratuerca y la variación de la carrera, por lo que la longitud del vástago será de 180 mm para un correcto funcionamiento.

### **3.10.3. Selección de la válvula de descarga.**

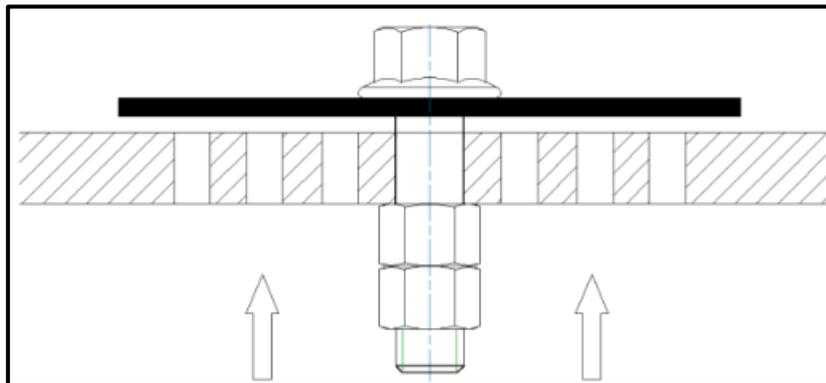
Algunos criterios a considerar para seleccionar una válvula de descarga.

- Presentar baja resistencia al flujo de suministro que pasa a través de esta.
- Responder muy rápidamente a cambios en la presión a través de esta, de modo que tenga la capacidad de cerrarse y abrirse instantáneamente.
- Resistir los grandes y repetitivos cambios en la presión
- Sellar completamente cuando se cierra.

Una buena opción para bombas de cabeza alta, así también la carrera de la válvula debe ser regulada para que realice desplazamientos muy breves (menos de 5 mm) para ayudar a prevenir el reflujo.(Condori y Mamani, 2021)

Figura 15

*Válvula de descarga tipo cabezal*



**Fuente:** Condori y Mamani (2021) cita a Jeffery (1992)

### 3.10.4. Determinación de la altura de carga total

Se determinará con el criterio de Condori y Mamani (2021), por lo que dice la línea de suministro nos permite determinar la altura de la carga total realizando el cálculo de las características físicas del sistema, los siguientes:

#### a). Velocidad del flujo en la tubería de suministro

Se determinará utilizando la fórmula de Hazen – Williams

$$V = 0.8494 * C * (Rh)^{0.63} * S^{0.54}$$

Donde:

V = Velocidad media del agua en el tubo en (m/s).

C = Coeficiente que depende de la rugosidad del tubo.

- 90 para tubos de acero soldado.
- 100 para tubos de hierro fundido.
- 150 para tubos de PVC.
- 150 para tubos de PRFV.



- 128 para tubos de fibrocemento.
- 140 para tubos de polietileno de alta densidad (HDPE)

Rh = Radio hidráulico.

S = Pendiente – Perdida de carga por unidad de longitud del conducto  
(m/m).

Hallando en radio hidráulico (Rh)

$$Rh = \frac{D}{4}$$

Donde:

Diámetro (D) = 3”

$$Rh = 0.75 \text{ pulg.}$$

Hallando pendiente (S) – Perdida de carga por unidad de longitud del  
conducto (m/m).

$$S = \frac{10.679 * Q^{1.852}}{C^{1.852} * D^{4.87}}$$

Caudal de suministro(Q) = 0.00289 m<sup>3</sup>/s

Coficiente que depende de la rugosidad del tubo (C) = 150

Diámetro tubería suministro(D) = 0.080 m

$$S = \frac{10.679 * 0.00289^{1.852}}{150^{1.852} * 0.080^{4.87}}$$

$$S = 0.00434 \frac{m.c.a}{m}$$



Reemplazando en la ecuación de Hazen – Williams

Si:

$$C = 150$$

$$R_h = 0.75 \text{ pulg} = 0.01905 \text{ m}$$

$$S = 0.00434 \frac{m.c.a}{m}$$

$$V = 0.8494 * 150 * (0.01905)^{0.63} * 0.00434^{0.54}$$

$$V = 0.5569 \text{ m/s}$$

#### b). Cálculo de coeficiente total de pérdidas

Este cálculo viene determinado por la siguiente ecuación:

$$H_r = 1 + \lambda * \frac{L}{D_i} + \Sigma K$$

Donde:

$H_r$  = Coeficiente total de pérdidas (m)

$\lambda$  = Coeficiente de fricción o resistencia de la tubería.

$L$  = Longitud de la tubería de impulso.

$D_i$  = Diámetro interno de la tubería de impulso.

$\Sigma K$  = Sumatoria de coeficiente de resistencia por accesorios.



### i. Cálculo de $\lambda$

El coeficiente de fricción o resistencia ( $\lambda$ ), está en función del número de Reynolds ( $Re$ ) y la Rugosidad relativa ( $\epsilon$ ).

### ii. Número de Reynolds

Se determina con la siguiente formula.

$$Re = \frac{V * Di}{\gamma}$$

Donde:

$Re$  = Numero de Reynolds.

$V$  = Velocidad del agua disponible (m/s).

$Di$  = Diametro interno de la tuberia de suministro (m).

$\gamma$  = Viscosidad cinemática del agua a 10 C°

Datos:

$V = 0.5569$  m/s

$Di = 0.080$  m

$\gamma = 1.3 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$

$$Re = \frac{0.5569 * 0.0821}{1.3 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 35,170.37$$



Se observa que el número de Reynolds  $Re \geq 4000$ , por lo tanto, decimos que el flujo es turbulento.

### iii. Rugosidad relativa

Para determinar está dada por la siguiente formula:

$$\varepsilon = \frac{Di}{e}$$

Donde:

$\varepsilon$  = Rugosidad relativa

$e$  = Rugosidad Absoluta

$Di$  = Diámetro interior de la tubería (m)

Datos:

$e = 1.0 \times 10^{-5}$  m. para tubería de PVC según (Heras, 2011).

$Di = 0.080$  m.

$$\varepsilon = \frac{0.0821}{1.0 \times 10^{-5}}$$

$$\varepsilon = 8210$$

Así mismo para determinar factor de fricción mediante el diagrama de moody se utilizará la siguiente relación entre la rugosidad relativa  $\left(\frac{e}{Di}\right)$  y numero de Reynolds ( $Re$ ), interceptando cuyos datos se obtuvo el valor del factor de fricción:

$$\lambda = 0.024$$

#### iv. Cálculo de la $\Sigma K$

Los accesorios que fueron considerados en la línea de impulsión son a simple presión con diámetro nominal de 3 pulgadas.

**Tabla 8**

*Coefficientes de pérdidas de cargas locales*

Accesorio	Cantidad	Le/D	fr	K
Entrada a la tubería	1	-	-	0.50
Tee pvc 3"	1	20	0.019	0.038
Codo de 90° pvc 3"	1	30	0.019	0.57
	$\Sigma$			<b>1.11</b>

**Fuente:** Condori y Mamani (2021) cita a Crane-Mc Graw Hill

#### v. Coeficiente de pérdida de la válvula de impulso

El coeficiente de paso (K) de la válvula de impulso está dada por la ecuación:

$$K = \left( 1.645 * \frac{Ac}{Ap} - 1 \right)^2$$

$$Ac = \frac{\pi * (Dc)^2}{4}$$

$$Ap = \pi * D_0 * C_{vi}$$

Donde:

Ac = Área del cuerpo del ariete ( $m^2$ ).

Ap = Área de paso de la válvula de impulso ( $m^2$ ).

Dc =  $D_0$  = Diametro del cuerpo del ariete (m).



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

Datos:

$$D_c = D_0 = 0.080 \text{ m}$$

$$C_{vi} = 0.030 \text{ m}$$

Se calcula:

$$A_c = \frac{\pi * (D_c)^2}{4} = \frac{\pi * (0.080)^2}{4} = 0.00503 \text{ m}^2$$

$$A_p = \pi * D_0 * C_{vi} = \pi * 0.080 * 0.030 = 0.00754 \text{ m}^2$$

$$K = \left( 1.645 * \frac{A_c}{A_p} - 1 \right)^2 = \left( 1.645 * \frac{0.00503}{0.00754} - 1 \right)^2$$

$$K = 0.009486$$

La sumatoria total será igual a:

$$\Sigma K = 1.11 + 0.009486$$

$$\Sigma K = 1.119486$$

Los valores calculados anteriormente se reemplazarán en la ecuación de coeficiente total de pérdidas.

$$H_r = 1 + \lambda * \frac{L}{D_i} + \Sigma K$$

$$H_r = 1 + 0.024 * \frac{19.50}{0.080} + 1.119486$$

$$H_r = 7.97$$



### c). Cálculo de la velocidad de cierre de la válvula de impulso

Para que se cierre la válvula de impulso por la velocidad del agua, se calculara con la siguiente ecuación.

$$V_c = 0.50 * \sqrt{\frac{2 * g * H_s}{H_r}}$$

Donde:

$V_c$  = Velocidad de cierre de la válvula de impulso (m/s)

$g$  = Gravedad ( $m/s^2$ )

$H_s$  = Altura suministro (m)

$H_r$  = Perdidas

Datos:

$H_s = 4.07$  m

$H_r = 7.97$

$g = 9.81$   $m/s^2$

Reemplazamos los datos en la ecuación:

$$V_c = 0.50 * \sqrt{\frac{2 * 9.81 * 4.07}{7.97}}$$

$$V_c = 1.58 \text{ m/seg}$$



#### d). Cálculo de la presión total de carga

Se determina por la suma de la subida de presión debido al golpe de ariete ( $h_a$ ) y la altura se suministró ( $H_s$ ), y está dada por la siguiente ecuación.

$$H_t = H_s + h_a$$

Para determinar la subida de presión debido al golpe de ariete hidráulico se considera la siguiente ecuación:

$$h_a = \frac{V_c * a}{g}$$

Donde:

$a$  = Velocidad de propagación de la onda de presión (m/s)

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

$g$  = Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

#### i. Cálculo de la velocidad de propagación de la onda de presión

Se determinará con la siguiente ecuación.

$$a = \frac{\sqrt{\frac{E_o}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{E_o * D}{E * \delta}}}$$

Donde:

$a$  = Velocidad de propagación de la onda de presión (m/seg)

$E_o$  = Modulo de elasticidad de volumen del fluido ( $N/m^2$ )



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

D = Diámetro de la tubería (m)

E = Modulo de elasticidad del material de la tubería ( $\text{N/m}^2$ )

$\delta$  = Espesor de la tubería (m)

Datos:

$$E_o = 2.11 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} (10^\circ\text{C})$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$D = 0.080 \text{ m}$$

$$E = 2.8 \times 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\delta = 0.0032 \text{ m}$$

Reemplazando en la ecuación

$$a = \frac{\sqrt{\frac{E_o}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{E_o * D}{E * \delta}}}$$

$$a = \frac{\sqrt{\frac{2.11 \times 10^9}{1000}}}{\sqrt{1 + \frac{2.11 \times 10^9 * 0.080}{2.8 \times 10^8 * 0.0032}}}$$

$$a = 105.55 \text{ m/seg}$$



## ii. Cálculo de la sobrepresión

Luego de haber calculado la velocidad de propagación de la onda de depresión se procederá a calcular la sobrepresión que se produce cuando se genera el golpe de ariete con la siguiente ecuación.

$$ha = \frac{Vc * a}{g}$$

Donde:

$$Vc = 1.58 \text{ m/s}$$

$$a = 105.55 \text{ m/s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$ha = \frac{1.58 * 105.55}{9.81}$$

$$ha = 17.00 \text{ mca}$$

Con los datos de la subida de presión debido al golpe de ariete ( $ha$ ) y la altura de suministro ( $Hs$ ), se determinará en la siguiente ecuación la presión total de carga.

$$Ht = Hs + ha$$

$$Ht = 4.07 + 17.00$$

$$Ht = 21.07 \text{ m. c. a}$$

### e). Verificación de la clase de tubería seleccionada para la línea de suministro

En este apartado se verifica la selección de la tubería, por lo que la selección de tubería se hizo antes del diseño, la misma por criterio técnico se eligió tuberías de clase 7.5 la misma que está diseñada para soportar una presión de 7.5 bar (76.5 m.c.a.), así mismo comprobando con el cálculo del diseño de la presión máxima de carga 21.07 m.c.a. se corrobora que la elección de tubería fue adecuada, por lo que esta soportara la presión con la que funciona el ariete hidráulico.

**Tabla 9**

*Características técnicas de la tubería seleccionada PVC-PN-7.5*

Diámetro Exterior		Longitud		PN-7.5
Nominal (pulg.)	Real (mm)	Total (metros)	Útil (metros)	Espesor (mm)
3	88.50	5	4.95	3.20

**Fuente:** Tuboplast tuberías y conexiones de pvc – NTP 399.002

### 3.10.5. Cálculo del caudal de descarga

Por medio de la siguiente ecuación se determina el caudal de descarga:

$$q = \frac{Hs * D^2 * V_c * \pi * C_d}{Hd * 10}$$

Primeramente, se calculará la velocidad de cierre de la válvula de impulso y el coeficiente de descarga.

### a). Cálculo del coeficiente de descarga

Para determinar el coeficiente de descarga, primero determinaremos caudal que se desplaza desde la captación hasta la salida del sistema, con la válvula de impulso inmóvil que se denominara caudal libre.

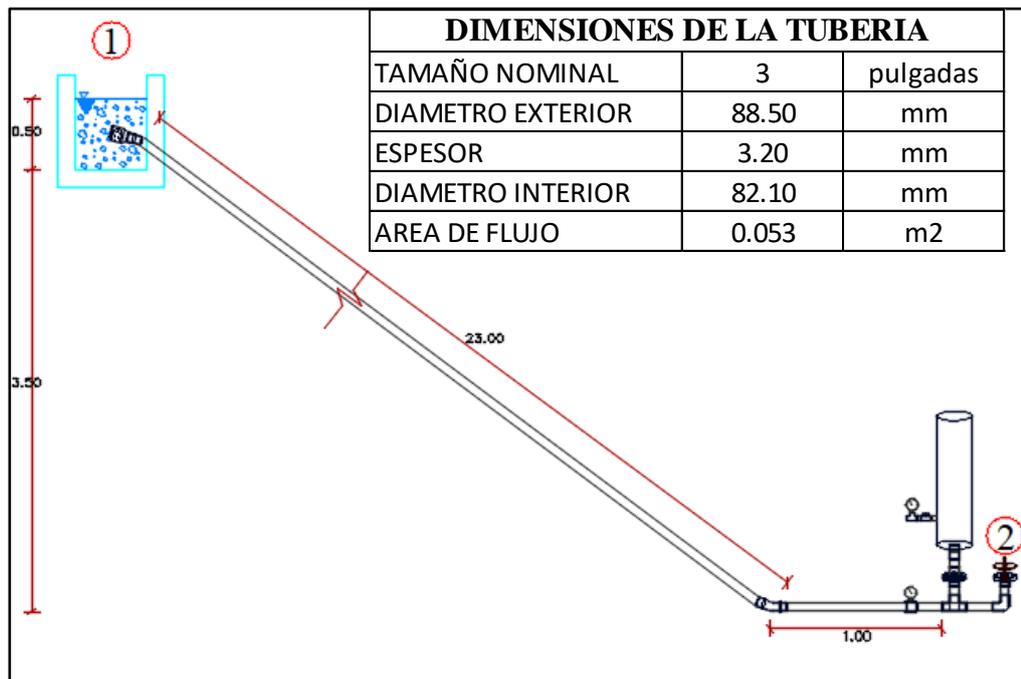
$$C_d = \frac{Q_l}{(\sqrt{2 * g * \Delta h}) * A}$$

### b). Cálculo del caudal libre con la Ecuación General de la Energía

En la figura 16 podemos ver como se desplaza el agua hasta llegar al cuerpo del ariete hidráulico, por lo que se asume que la válvula de impulso se mantiene inmóvil, permitiendo que el agua salga sin ninguna detención por el punto dos.

**Figura 16.**

Se observa el esquema de captación y bomba de ariete





Ecuación general de la energía para la figura 16:

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

Por lo que en este caso no se tiene dispositivos mecánicos entre las secciones de estudio los valores de  $h_A$  y  $h_R$  serán igual a cero, por lo que la ecuación queda de la siguiente manera:

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

La presión en los puntos uno y dos no se consideran por lo que se encuentran sometidas a la misma presión atmosférica, así mismo en el punto uno la velocidad se considera cero y el valor de  $Z_2$  es cero, por lo que se encuentran al nivel de referencia.

Por lo que la ecuación se reduce a la siguiente expresión:

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

Donde:

$V_2$  = Velocidad en el punto dos (m/s)

$h_L$  = es igual al coeficiente total de perdidas (Hr)

$Z_1$  = Altura en el punto uno (m)

$g$  = Gravedad ( $m/s^2$ )

Datos:

$h_L = Hr = 7.97$  m



$$Z_1 = 4.07 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Reemplazando en la ecuación y calculamos la velocidad en el punto dos:

$$4.07 = \frac{V_2^2}{2g} + 7.97 \frac{V_2^2}{2g}$$

$$4.07 = 8.97 \frac{V_2^2}{2g}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{4.07 * 2 * 9.81}{8.97}}$$

$$V_2 = 2.98 \text{ m/s}$$

Con esta velocidad en el punto dos se procede a encontrar el caudal que circula por el sistema con las consideraciones antes mencionadas y se lo denomina caudal libre.

#### **i. Cálculo del caudal libre**

Se determina con la velocidad que sale el fluido por una determinada área de acuerdo a la forma geométrica de la válvula de impulso que se diseño

$$Q_l = V_2 * A_2$$

Donde:

$Q_l$  = Caudal libre ( $m^3/s$ ).

$V_2$  = Velocidad en el punto dos (m/s).

$A_2$  = Área en el punto dos ( $m^2$ ).



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

Donde:

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

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

Datos:

$$A_{av} = 1.45 \times 10^{-3} m^2$$

$$A_{vi} = 1.33 \times 10^{-4} m^2$$

El caudal libre es igual:

$$Q_l = 2.98 m/s * (1.45 \times 10^{-3} m^2 - 1.33 \times 10^{-4} m^2)$$

$$Q_l = 0.0039 \frac{m^3}{s} = 235.48 \frac{l}{min}$$

Seguidamente se calculará la velocidad que fluye por el interior de la tubería de suministro con la siguiente ecuación:

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

Donde:

$V_t$  = Velocidad del fluido en el interior de la tubería de suministro (m/s)

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

$A_t$  = Área de la tubería de suministro ( $m^2$ )



$$V_t = \frac{0.0039 \frac{m^3}{s}}{\pi * \left(\frac{0.0821}{2}\right)^2 m^2}$$

$$V_t = 0.74 \text{ m/s}$$

Así mismo se calculará la velocidad que fluye dentro del cuerpo del ariete, para un diámetro interior de 0.0821 m.

$$V_c = \frac{Q_l}{A_c}$$

Donde:

$V_c$  = Velocidad del fluido en el interior del cuerpo del ariete (m/s)

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

$A_c$  = Área del diámetro cuerpo del ariete ( $m^2$ )

$$V_c = \frac{0.0039 \frac{m^3}{s}}{\pi * \left(\frac{0.0821}{2}\right)^2 m^2}$$

$$V_c = 0.74 \text{ m/s}$$

Seguidamente comprobamos el factor de fricción determinado por el diagrama de moody  $\lambda = 0.024$ , con datos de numero de Reynolds y rugosidad relativa en la siguiente ecuación:

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 * \left(\frac{D}{\varepsilon}\right)} + \frac{5.74}{N_{RE}^{0.9}} \right) \right]^2}$$

### c). Cálculo del factor de fricción

Con la siguiente ecuación determinaremos el coeficiente de fricción:

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 * \left( \frac{D}{\varepsilon} \right)} + \frac{5.74}{N_{RE}^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 * \left( \frac{0.0821}{1.0 * 10^{-5}} \right)} + \frac{5.74}{34,270.76^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.023$$

Comprobando los valores tomados para el factor de fricción en el diagrama de moody es  $\lambda = 0.023$  y el factor de fricción calculado es  $f = 0.023$ , por lo que se concluye que los valores son iguales y es aceptable. Seguidamente calcularemos el coeficiente de descarga por media de la siguiente ecuación:

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

Donde:

$Q_l$  = Caudal libre (m<sup>3</sup>/s).

$C_d$  = Coeficiente de descarga.

$g$  = Gravedad (m/s<sup>2</sup>).

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

$A$  = Área a la salida del fluido (m<sup>2</sup>)



Datos:

$$Q_l = 235.48 \text{ l/min} = 0.0039 \text{ (m}^3\text{/s)}.$$

$$g = 9.81 \text{ (m/s}^2\text{)}.$$

$$\Delta h = 4.07 \text{ (m)}$$

$$A = 1.45 \times 10^{-3} \text{ (m}^2\text{)}$$

Reemplazando en la ecuación:

$$C_d = \frac{0.0039}{(\sqrt{2} * 9.81 * 4.07) * 1.45 * 10^{-3}}$$

$$C_d = 0.301$$

Consecutivamente con el valor calculado de coeficiente de descarga y la velocidad de cierre de la válvula de impulso se procederá a calcular el caudal de descarga con la siguiente ecuación:

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

Donde:

q = Caudal de descarga (m<sup>3</sup>/s).

H<sub>s</sub> = 4.07 (m).

H<sub>d</sub> = 20.00 (m).

D = 0.0821 (m).

V<sub>c</sub> = 1.58 (m/s)



$$C_d = 0.305.$$

Reemplazando en la ecuación:

$$q = \frac{4.07 * 0.0821^2 * 1.58 * \pi * 0.301}{20.00 * 10}$$

$$q = 2.05 * 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 12.30 \frac{l}{min}$$

### 3.10.6. Cálculo del caudal de suministro

Para calcular el caudal se suministró se asume una eficiencia del 50% y se determinara mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{q * Hd}{\eta * Hs}$$

Datos:

$$q = 2.05 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$Hd = 20.00 \text{ (m)}.$$

$$\eta = 50\%$$

$$Hs = 4.07 \text{ (m)}.$$

Reemplazando en la ecuación:

$$Q = \frac{2.05 * 10^{-4} * 20.00}{0.50 * 4.07}$$

$$Q = 2.01 * 10^{-3} \frac{m^3}{s} = 120.88 \frac{l}{min}$$



### 3.10.7. Cálculo del caudal desechado

Se determinará mediante la siguiente ecuación:

$$Q_p = Q - q$$

Datos:

$Q_p$  = Caudal desechado (m<sup>3</sup>/s). se calculará

$Q = 2.01 * 10^{-3}$  (m<sup>3</sup>/s).

$q = 2.05 * 10^{-4}$  (m<sup>3</sup>/s).

$$Q_p = 2.01 * 10^{-3} \frac{m^3}{s} - 2.05 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$Q_p = 1.805 * 10^{-3} \frac{m^3}{s} = 108.30 \frac{l}{min}$$

### 3.10.8. Cálculo de la Potencia de la Bomba

Se determinará la potencia de la bomba de ariete hidráulico mediante la siguiente ecuación:

$$P = \gamma * q * Hd$$

Datos:

$P$  = Potencia (W). Se calculará

$\gamma = 9800$  (N/m<sup>3</sup>).

$q = 2.05 * 10^{-4}$  (m<sup>3</sup>/s).

$Hd = 20.00$  (m).



Remplazando en la ecuación:

$$P = 9800 \text{ (N/m}^3\text{)} * 2.05 * 10^{-4} \text{ (m}^3\text{/s)} * 20.00 \text{ (m)}$$

$$P = 40.18 \text{ W}$$

### 3.10.9. Cálculo del rendimiento volumétrico

Para determinar el rendimiento volumétrico de la bomba de ariete hidráulico se determinará con la siguiente ecuación:

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

Datos:

$n_v$  = Rendimiento volumétrico (%).

$$q = 2.05 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q = 2.01 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Reemplazando en la ecuación:

$$n_v = \frac{2.05 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{2.01 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} * 100$$

$$n_v = 10.20 \%$$

### 3.10.10. Cálculo del peso para la válvula de impulso

Para determinar el peso de la válvula de impulso se empleará la siguiente ecuación:



$$0 < W_v < \frac{Ca * Av * \rho * H_s}{M}$$

Por lo que para determinar el peso máximo de la válvula de impulso será:

$$W_{max} = \frac{Ca * Av * \rho * H_s}{H_r}$$

Datos:

$$Ca = 1.11 \text{ según (Mott et al., 2015)}$$

$$Av = 1.96 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ (densidad de agua T-5C}^\circ\text{) según (Mott et al., 2015)}$$

$$H_s = 4.07 \text{ m}$$

$$H_r = 7.97 \text{ m}$$

Reemplazando en la ecuación:

$$W_{max} = \frac{1.11 * 1.96 \times 10^{-3} \text{ m}^2 * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4.07 \text{ m}}{7.97 \text{ m}}$$

$$W_{max} = 1.28 \text{ kg}$$

Para determinar el peso adecuado de la válvula de impulso se deberá tomar valores dentro de un rango, el cual haga que su funcionamiento sea óptimo y eficiente. Por esta razón el peso de la válvula debe estar dentro del siguiente rango.

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

### 3.10.11. Cálculo del peso para la válvula de impulso

Para la construcción de la válvula de impulso se utilizará acero A-36 cuya densidad es 7860 kg/m<sup>3</sup> y a continuación se detalla el peso de cada componente de la válvula de impulso.

- Peso del pie de la válvula  $W_{pv}$

$$W_{pv} = \text{Volumen} * \text{Densidad}$$

$$W_{pv} = \pi * (R^2 - r^2) * e * \rho_{A-36}$$

$$W_{pv} = \pi * \left( \left( \frac{0.050}{2} \right)^2 - \left( \frac{0.013}{2} \right)^2 \right) * 0.006 * 7860$$

$$W_{pv} = 0.086 \text{ kg}$$

- Peso del Vástago  $W_v$

D = Diámetro del vástago (0.013m)

$l_v$  = Longitud del vástago (0.180m)

$$W_v = \text{Volumen} * \text{Densidad}$$

$$W_v = \pi * \left( \frac{D}{2} \right)^2 * l_v * \rho_{A-36}$$

$$W_v = \pi * \left( \frac{0.013}{2} \right)^2 * 0.180 * 7860$$

$$W_v = 0.19 \text{ kg}$$

- Peso de las pesas  $W_p$



$$W_p = \text{Volumen} * \text{Densidad}$$

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

$$W_p = \pi * \left( \left( \frac{0.050}{2} \right)^2 - \left( \frac{0.013}{2} \right)^2 \right) * 0.020 * 7860$$

$$W_p = 0.29 \text{ kg}$$

Peso total de la válvula de impulso  $WT_{valvula}$  con una pesa en su vástago:

$$WT_{valvula} = W_{pv} + W_v + 3W_p$$

$$WT_{valvula} = 0.086 \text{ kg} + 0.19 \text{ kg} + 3 * 0.29 \text{ kg}$$

$$WT_{valvula} = 1.15 \text{ kg}$$

El peso de la válvula está dentro del rango:

$$0 < 1.15 \text{ kg} < 1.28 \text{ kg}$$

### 3.10.12. Diseño de la válvula de aire

La principal función es mantener la correcta cantidad de aire en la cámara, el aire acumulado en la cámara es absorbido lentamente por la turbulencia de agua que entra por medio de la válvula de paso. Este aire debe ser restituido mediante el respiradero, por lo que se tendrá que calibrar de manera que descargue un pequeño chorro de agua con cada golpe de compresión.

El respiradero será un pequeño agujero, este será obstruido con un pequeño pasador fino el cual debe moverse en consecuencia con el cambio de presión generados por la bomba, si también se ubicara por debajo de la válvula en el cuerpo del ariete.



De acuerdo a estudios recomiendan que el diámetro de agujero deberá estar dentro de uno a dos milímetros para una función óptima.

### 3.10.13. Diseño de la cámara de aire

La cámara de aire está ubicada por encima de la válvula de descarga, su función es de mucha importancia debido a que se encargará de comprimir y amortiguar el golpe de presión, permitiendo una corriente constante del fluido por la tubería de descarga, el aire dentro de la cámara se comporta como un elemento elástico al comprimirse la cámara recibe una cantidad de agua y reduce en parte la tendencia a sobrepresiones altas, mientras que cuando se expande sede el agua almacenada hacia la tubería de descarga, así garantizando un flujo de agua continuo constante. (Rivadeneira y Silva, 2013).

Para conocer las dimensiones de la cámara de aire se tiene que partir de la relación que dice, el volumen de agua contenida en la tubería de descarga debe ser igual al volumen de la cámara, para ello se realizara los siguientes cálculos.

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

$$V_{td} = \frac{\pi * d^2}{4} * Ld$$

Donde:

$V_{td}$  = Volumen de agua contenida en la tubería de descarga ( $m^3$ )

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

$Ld$  = Longitud de la tubería de descarga (m).

Datos:



$V_{td}$  = Volumen de agua contenida en la tubería de descarga ( $m^3$ )

$d = 0.016$  (m)

$L_d = 60$  (m)

Reemplazando en la ecuación:

$$V_{td} = \frac{\pi * 0.016^2}{4} * 60$$

$$V_{td} = 1.21 * 10^{-2} m^3$$

Según Rivadeneira y Silva (2013) señala que “el volumen de la cámara de aire debe ser igual al volumen de la tubería de descarga se tiene la siguiente relación”.

$$V_{td} = V_{ca}$$

Donde:

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

$$V_{ca} = 1.21 * 10^{-2} m^3$$

Para determinar el volumen en la cámara de aire se utilizará tubería de  $\emptyset$  110 mm, por lo que se procede a calcular con la siguiente ecuación.

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

Donde:

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

$D_c$  = Diametro interno de la cámara de aire (m)



$h_{ca}$  = Altura de la cámara de aire (m).

Para el cálculo de la altura de la cámara de aire se tiene la siguiente ecuación:

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

Datos:

$$V_{ca} = 1.21 * 10^{-2} \text{ (m}^3\text{)}$$

$$D_c = 110 \text{ mm} = 0.110 \text{ (m)}$$

$h_{ca}$  = Altura de la cámara de aire (m).

Reemplazando en la ecuación se tiene:

$$h_{ca} = \frac{1.21 * 10^{-2} * 4}{\pi * (0.110)^2}$$

$$h_{ca} = 1.27 \text{ m}$$

#### a). Cálculo de la presión mínima y máxima en la cámara de aire

“La presión mínima en la cámara de aire es captada en el momento que la válvula de descarga está cerrada, el aire soporta la presión ejercida por el agua contenida en la tubería de descarga”. (Rivadeneira y Silva, 2013, p. 80)

$$P_1 = Hd * \gamma$$

Donde:

$P_1$  = Presión mínima (Pa)

$Hd$  = Altura de descarga (m)



$\gamma$  = Peso específico del agua (N/m<sup>3</sup>)

Datos:

$P_1$  = Presion mínima (Pa)

$Hd = 20.00$  (m)

$\gamma = 9800$  (N/m<sup>3</sup>)

Reemplazando en la ecuación:

$$P_1 = 20.00 * 9800$$

$$P_1 = 196.00 \text{ KPa} = 28.43 \text{ PSI} = 1.96 \text{ bar}$$

Para el volumen inicial de agua se considera que el 30 % de la capacidad del tanque se encontrara con líquido.

El volumen total es:  $1.21 * 10^{-2} \text{ m}^3$

El volumen inicial de agua es:

$$V_{agua} = 1.21 * 10^{-2} \text{ m}^3 * 0.30$$

$$V_{agua} = 0.00363 \text{ m}^3$$

Para calcular el volumen del aire se termina con la siguiente ecuación:

$$V_{1\text{aire}} = V_{ca} - V_{agua}$$

Donde:

$V_{1\text{aire}}$  = Volumen inicial de aire en la cámara (m<sup>3</sup>)

$V_{ca}$  = Volumen total de la cámara de aire (m<sup>3</sup>)



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

Datos:

$$V_{ca} = 1.21 * 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$V_{agua} = 0.00363 \text{ m}^3$$

Reemplazando en la ecuación se tiene:

$$V_{1_{aire}} = 1.21 * 10^{-2} \text{ m}^3 - 0.00363 \text{ m}^3$$

$$V_{1_{aire}} = 0.00847 \text{ m}^3$$

Para determinar el volumen de aire, se determinará primero la cantidad de agua que ingresa en cada golpe de ariete para ello se tiene los siguientes datos:

- El caudal que el ariete descarga es:  $3.28 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
- Se asume que el ariete cumple 75 ciclos/min

Por lo que el volumen del agua de descarga por ciclo será:

$$V_{ciclo} = \frac{q}{f}$$

$$V_{ciclo} = \text{Volumen de agua que la bomba entrega por ciclo (m}^3\text{)}$$

$$q = \text{Caudal de descarga (m}^3\text{/s)}$$

$$f = \text{Golpes por minuto del ariete (ciclos/min)}$$

Reemplazando en la ecuación se tiene:



$$V_{ciclo} = \frac{3.28 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{75 \frac{ciclos}{min}}$$

$$V_{ciclo} = 2.624 * 10^{-4} \frac{m^3}{ciclo}$$

Seguidamente se calculará el volumen dos en la cámara de aire donde se resta el volumen que ingresa por ciclo al volumen inicial, por lo que este se comprime.

$$V2_{aire} = V1_{aire} - V_{ciclo}$$

Donde:

$V2_{aire}$  = Volumen dos de aire en la cámara ( $m^3$ )

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

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

Reemplazando valores en la ecuación:

$$V2_{aire} = 0.00847 - 2.624 * 10^{-4}$$

$$V2_{aire} = 0.00821 m^3$$

Para determinar la presión máxima se empleará la siguiente ecuación:

$$P_1 * V1_{aire} = P_2 * V2_{aire}$$

$$P_2 = \frac{P_1 * V1_{aire}}{V2_{aire}}$$

$$P_2 = \frac{196.00 KPa * 0.00847 m^3}{0.00821 m^3}$$



$$P_2 = 202.21 \text{ KPa} = 29.33 \text{ psi} = 2.02 \text{ bar}$$

En el presente capítulo se calculó todos los parámetros definidos para un óptimo y eficiente diseño, por lo que se pretende demostrar la veracidad y calidad de diseño con la bomba de ariete hidráulico en funcionamiento.

### **3.11. CONSTRUCCION DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO.**

Para la construcción de la bomba de ariete hidráulico, se utiliza materiales resistentes a la presión máxima calculada, el cual garantice la durabilidad y el buen funcionamiento, para ello se revisará cada accesorio de cada componente cumpla con las condiciones requeridas de la bomba.

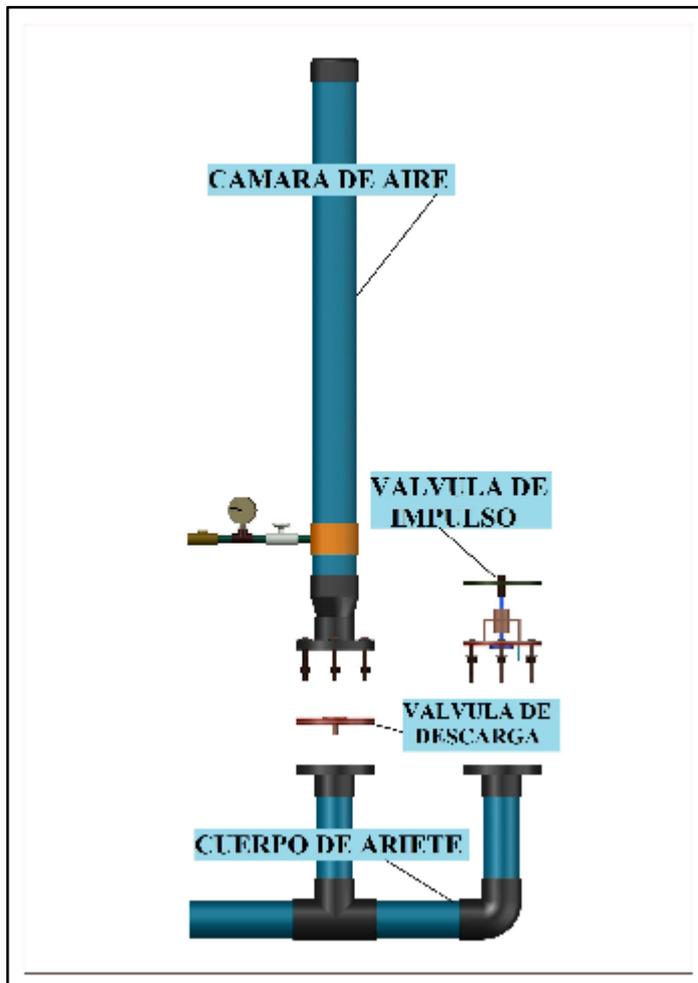
El tipo de material utilizado es en PVC, resistentes a una presión nominal de 7.5, la misma que será en simple presión en tuberías y accesorios mayor a tres pulgadas y con rosca en accesorios y tuberías de media pulgada. A si también se utilizara plancha de acero de acuerdo a la norma técnica de aceros Arequipa ASTM A36.

Los componentes a construir de la bomba de ariete se detallan a continuación:

- Cuerpo de la bomba de ariete
- Válvula de descarga
- Válvula de impulso
- Cámara de aire

**Figura 17**

Componentes de la bomba de ariete hidráulico



### 3.11.1. Etapas de construcción de la bomba de ariete hidráulico.

Para la construcción de la bomba de ariete se siguió las siguientes etapas:

- Adquisición de accesorios y materiales.
- Construcción de cada componente del sistema de bombeo con ariete hidráulico.
- Implementación y puesta en marcha la bomba de ariete.

### 3.11.2. Construcción de la bomba de ariete hidráulico.

La construcción de la bomba se realiza en base al cálculo de diseño de cada componente de la bomba de ariete, para ello se guiará con los planos de detalle, el mismo que se adjunta en la sección de anexos. Seguidamente se detalla la construcción de cada componente.

#### a). Construcción del cuerpo de la bomba

El cuerpo de ariete hidráulico está encargado de soportar la sobrepresión debido al cierre brusco de la válvula de impulso, debido a ello el material con el que se construye debe ser resistente a fin de evitar pérdidas de energía debido al ensanchamiento de las paredes, aprovechando dicha energía para elevar el agua. El material y accesorios que se utilizan son de PVC de 3" simple presión (PN-7.5), por lo que cumple con los requerimientos de presión a soportar el cuerpo de ariete hidráulico.

El cuerpo del ariete está conformado por los siguientes elementos, ver tabla 10:

**Tabla 10**

*Materiales para la construcción del cuerpo de la bomba*

Nro.	DESCRIPCION	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
1	Niple de 12 x 3 pulg.	pvc	4	pieza
2	Codo de 90° de 3 pulg.	pvc	1	pieza
3	Tee de 90° de 3 pulg.	pvc	1	pieza
4	Brida de 3 pulg.	pvc	2	pieza

Para la construcción del cuerpo de la bomba, se adquirió los materiales en una ferretería de la ciudad de Arequipa y se trasladó hasta el distrito de Llallí.

Seguidamente se empezó la construcción del cuerpo de la bomba, por lo que se utilizó pegamento Oatey para la unión a simple presión de los nipples con el codo 3”, tee 3” y brida 3”. Ver figura 18.

### Figura 18

*Construcción del cuerpo de la bomba*



### b). Construcción de la cámara de aire

La cámara de aire estará construida para soportar la presión máxima en su interior, donde mantiene cierta cantidad de aire y agua, el aire se comprime en cada golpe de la válvula de impulso para desplazar el agua a la tubería de descarga.

**Tabla 11**

*Materiales para la construcción de la cámara de aire*

N°	DESCRIPCION	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
1	Tubería de 12 x 4 pulg	pvc	1	pieza
2	Tapón hembra de 4 pulg s/p	pvc	1	pieza
3	Abrazadera de 2 cuerpos termoplástica de 4 pulg con salida a 1/2 pulg	pvc	1	pieza
4	Reducción de 4 a 3 pulg s/p	pvc	1	pieza
5	Brida de 3 pulg s/p	pvc	2	pieza
6	Niple de 2 x 1/2 pulg c/r	pvc	3	pieza
7	Llave de paso de 1/2 pulg c/r	pvc	3	pieza
8	Tee hidro de 1/2 pulg c/r	pvc	1	pieza
9	Válvula check de 1/2 pulg c/r	bronce	1	pieza
10	Manómetro de glicerina 1/2 pulg	Acero Inoxidable	1	pieza
11	Bushing galvanizado 1” x 1/2”	Fierro galvanizado	1	Pieza

El tubo será de pvc de 4 pulgadas, deberá unirse con tapón hembra de 4 pulgadas simple presión, seguidamente se unirá con reducción de 4 a 3 pulgadas simple presión y finalmente se unirá a simple presión con una brida de 3 pulgadas. Posteriormente se coloca la abrazadera de 2 cuerpos termoplástica de 4 pulg con salida a 1/2 pulg para unir los siguientes accesorios, niples de 1/2 pulgada con llave de paso de 1/2 pulgada, tee de 1/2 pulgada con rosca, manómetro con bushing a media pulgada y válvula check de 1/2" pulgada. Así como se muestra en la figura 19.

### **Figura 19**

*Construcción de la cámara de aire*



### **c). Construcción de la válvula de impulso**

La función principal de la válvula es el cierre brusco, deteniendo el movimiento del agua en ese instante, para posteriormente pase el agua hacia la cámara de aire, en su construcción cuenta con unas pesas determinada su peso en el capítulo de diseño, el asiento para la válvula lo compone una placa de acero A-



36, un empaque de jebe ambos adecuados según el plano, así mismo en la placa de acero A-36 se encuentra un bocín que permitirá desplazar el eje de la válvula sea estable verticalmente.

**Tabla 12**

*Materiales que se utilizaron para la construcción de la válvula de impulso*

N°	DESCRIPCION	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
1	Vástago eje $\varnothing$ 1/2" con long 180mm A-36	Acero A-36	1	pieza
2	Placa Acero A-36 $\varnothing$ 190mm e=5mm	Acero A-36	1	pieza
3	Bocín $\varnothing$ 3/8" e=8mm	Acero A-36	1	pieza
4	Empaque de jebe $\varnothing$ 190mm, e=5mm	Jebe	1	pieza
5	Pesas sobre $\varnothing$ 190mm, e=5mm	Acero A-36	1	pieza
6	Pernos hexagonales diámetro $\varnothing$ 11mm, L=110mm	Acero inoxidable	4	pieza
7	Tuercas hexagonales de $\varnothing$ 11mm	Acero inoxidable	8	pieza
8	Arandela diámetro $\varnothing$ 11mm	Acero inoxidable	10	pieza

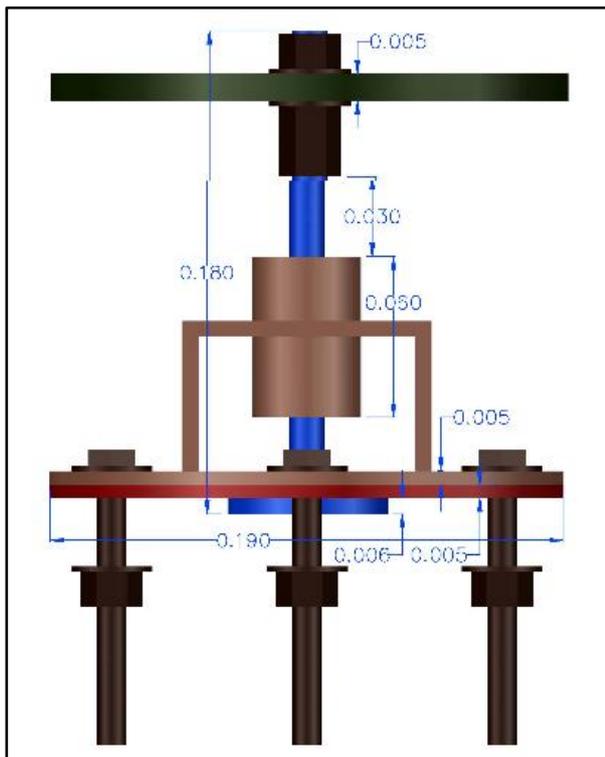
**Figura 20**

*Construcción de la válvula de impulso*



**Figura 21**

*Plano vista frontal de la válvula de impulso*



#### d). Construcción de la válvula de descarga

En la construcción de la válvula de descarga sus dimensiones estarán limitada al diámetro de la brida, por lo que se encuentra entre el cuerpo de la bomba y la cámara de aire, así mismo se construye con la guía del plano, la válvula estará conformado por dos empaques de jebe  $\varnothing$  190 mm, 01 solapa de acero, 01 empaque de jebe  $\varnothing$  60 mm, 01 perno y 01 placa acero A-36, esta placa consta de orificios pequeños de diámetro de 7mm según el plano serán perforados por un taladro radial. Posteriormente la solapa de acero será soldada con el perno y se pondrá en empaque de jebe al perno soldado. Finalmente, la solapa soldada con perno se colocará en el centro de la placa de acero y se configura para una carrera de 5mm de acuerdo al capítulo de diseño. La construcción es aprecia en la figura 22.

Figura 22

*Válvula de descarga construido*



**Tabla 13***Materiales que se utilizaron para la construcción de la válvula de descarga*

N°	DESCRIPCION	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
1	Placa de acero A-36 $\emptyset$ 190mm e=5mm	Acero A-36	1	pieza
2	Solapa de acero A-36 $\emptyset$ 60 mm, e=6mm	Acero A-36	1	pieza
3	Empaque de jebe para solapa $\emptyset$ 60 mm, e=5mm	Jebe	1	pieza
4	Perno de 1 1/2", e=6mm	Fierro galvanizado	1	pieza
5	Tuerca $\emptyset$ 6mm	Fierro galvanizado	2	pieza
6	Empaque de jebe $\emptyset$ 190 mm, e=5mm	Jebe	2	pieza

### 3.11.3. Montaje final de los componentes de la bomba de ariete hidráulico

En esta etapa se une los componentes de la bomba de ariete hidráulico con pernos y tuercas al cuerpo del ariete hidráulico la válvula de impulsión, válvula de descarga y cámara de aire para ello se utilizó llave loro y alicata a presión.

Finalmente se tiene la construcción completa de la bomba de ariete hidráulico de 3 pulgadas, se aprecia en la siguiente figura 23.

**Figura 23**

Montaje de los componentes de la bomba de ariete



### 3.11.4. Resumen de materiales con los que se construyó la bomba de ariete hidráulico

En la siguiente tabla se detalla todos los materiales utilizados en la construcción de la bomba de ariete hidráulico.

**Tabla 14**

*Materiales para la construcción del cuerpo de la bomba*

N°	DESCRIPCION	MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
<b>Cuerpo de la bomba</b>				
1	Niple de 12 x 3 pulg.	pvc	4	pieza
2	Codo de 90° de 3 pulg.	pvc	1	pieza
3	Tee de 90° de 3 pulg.	pvc	1	pieza
4	Brida de 3 pulg.	pvc	2	pieza
<b>Cámara de aire</b>				
1	Tubería de 12 x 4 pulg	pvc	1	pieza
2	Tapón hembra de 4 pulg s/p	pvc	1	pieza



---

Continuando...

	Abrazadera de 2			
3	cuerpos termoplástica de 4 pulg con salida a 1/2 pulg	pvc	1	pieza
4	Reducción de 4 a 3 pulg s/p	pvc	1	pieza
5	Brida de 3 pulg s/p	pvc	1	pieza
6	Niple de 2 x 1/2 pulg c/r	pvc	3	pieza
7	Llave de paso de 1/2 pulg c/r	pvc	3	pieza
8	Tee hidro de 1/2 pulg c/r	pvc	1	pieza
9	Válvula check de 1/2 pulg c/r	bronce	1	pieza
10	Manómetro de glicerina 1/2 pulg	Acero Inoxidable	1	pieza
11	Bushing galvanizado 1” x 1/2”	Fierro galvanizado	1	Pieza

**Válvula de impulso**

1	Vástago eje $\varnothing$ 1/2" con long. 180mm A-36	Acero A-36	1	pieza
2	Placa Acero A-36 $\varnothing$ 190mm e=5mm	Acero A-36	1	pieza
3	Bocín $\varnothing$ 3/8" e=8mm	Acero A-36	1	pieza
4	Empaque de jebe $\varnothing$ 190mm, e=5mm	Jebe	1	pieza
5	Pesas sobre $\varnothing$ 190mm, e=5mm	Acero A-36	1	pieza
6	Pernos hexagonales diámetro $\varnothing$ 11mm, L=110mm	Acero inoxidable	4	pieza

---

---

Continuando...

7	Tuercas hexagonales de $\varnothing$ 11mm	Acero inoxidable	8	pieza
8	Arandela diámetro $\varnothing$ 11mm	Acero inoxidable	10	pieza
<b>Válvula de descarga</b>				
1	Placa de acero A-36 $\varnothing$ 190mm e=5mm	Acero A-36	1	pieza
2	Solapa de acero A-36 $\varnothing$ 60 mm, e=6mm	Acero A-36	1	pieza
3	Empaque de jebe para solapa $\varnothing$ 60 mm, e=5mm	Jebe	1	pieza
4	Perno de 1 1/2", e=6mm	Fierro galvanizado	1	pieza
5	Tuerca $\varnothing$ 6mm	Fierro galvanizado	2	pieza
6	Empaque de jebe $\varnothing$ 190 mm, e=5mm	Jebe	2	pieza

---

### 3.12. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA

La instalación de la bomba de ariete hidráulico se realizó en el sector de Buena Vista, donde se instaló los siguientes componentes del sistema para aprovechar el recurso hídrico:

- Captación e instalación de la línea de suministro
- Instalación de la bomba de ariete hidráulico
- Instalación de la línea de descarga
- Instalación de la línea conducción para riego

### 3.12.1. Captación e instalación de la línea de suministro

La captación del agua se realiza de manera artesanal en el canal de derivación del río Winipalcca, siendo trasladado el agua mediante canastilla de captación y tubería de suministro hasta la bomba de ariete hidráulico, la instalación se realizó de acuerdo al plano, por lo que se procedió a trazo con yeso, excavación de zanja e instalación de tubería pvc de 3” de diámetro, realizando la prueba con la bomba de ariete y culminando con el tapado de zanja, ver figura.

Figura 24

*Construcción de captación de agua*



## Figura 25

### *Instalación de tubería de suministro*



### **3.12.2. Instalación de la bomba de ariete hidráulico**

La instalación consistió en el montaje completo de la bomba de ariete, por lo que el prosiguió al nivelado de suelo y colocado del cuerpo de la bomba para posteriormente realizar el vaciado con concreto  $175 \text{ kg/cm}^2$  para que la bomba quede sujeto y nivelado vertical y horizontalmente, para un correcto funcionamiento de la válvula de impulso en el eje vertical. Ver figura 26.

**Figura 26**

Instalación de la bomba de ariete hidráulico



### 3.12.3. Instalación de la línea de descarga

La línea de descarga sale de la cámara de aire y se adapta a una tubería HDPE mediante la unión del mismo tipo de material como se aprecia en la figura 27.

**Figura 27**

Línea de descarga está conformado por tubería HPDE



**Figura 28**

La tubería de descarga a 20 metros del nivel de la bomba de ariete



#### 3.12.4. Instalación de la línea conducción para riego

La instalación de la tubería de conducción para riego, se utilizó tubería HDPE el cual traslada el cual traslada el agua hasta el aspersor de riego, así mismo se utiliza uniones en material HDPE.

**Figura 29**

Se aprecia la tubería que conduce hasta el aspersor



### Figura 30

Se observa la tubería que conduce el agua hasta el aspersor



#### 3.12.5. Resumen de los componentes

La conformación de todos los componentes instalados, se describe en la siguiente tabla 15.

**Tabla 15**

*Componentes instalados en el sistema de bombeo*

COMPONENTES	CARACTERISTICAS
Captación y línea de suministro.	La captación se realiza de forma artesanal y línea de suministro por tubería 3 pulgadas de longitud 20 metros.
Bomba de ariete Hidráulico.	Se realizo el montaje de la bomba y vaciado con concreto.
Línea de descarga.	Se utilizo tubería HDPE de 1/2" pulgada de diámetro y con una longitud de 60 metros, a una altura de 25 metros.
Línea conducción para riego.	Se utilizo materia en HDPE de 1/2" de diámetro y una longitud de 30 metros hasta el aspersor.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. PUESTA EN MARCHA DE LA BOMBA DE ARIETE

Se observa que el rendimiento de la bomba de ariete hidráulico es mejor cuando el número de golpes por minuto es menor y viceversa cuando el número de golpes por minuto es mayor se tendrá menor eficiencia, por lo que en este estudio se evaluó en base al número de golpes y la carrera que realiza la válvula de impulso para que se logre una máxima eficiencia y lograr aprovechar el recurso hídrico en el terreno agrícola.

##### **Puesta en marcha**

En esta etapa de experimentación se verifico los componentes en funcionamiento del sistema de bombeo con ariete hidráulico, para ello se procedió con los siguientes procedimientos.

- Se aseguro con bloques de tierra en el canal de derivación del rio Winipalcca, así mismo se bloqueó parcialmente el paso de agua y así tener la captación artesanal que alimentara a la tubería de suministro.
- Una vez verificado que la tubería de suministro este lleno de agua, se procedió a configurar de acuerdo al capítulo de diseño la válvula de impulso y se pone en marcha el funcionamiento de la válvula de impulso.

**Figura 31**

*Configuración de la válvula de impulso*



- Seguidamente se extiende la tubería de descarga HDPE de 1/2" hacia el lugar de bombeo de agua y luego se abre la válvula de paso, en este punto el agua bombeada se estabiliza a una altura de 12 metros del nivel de la bomba de ariete y luego se verifico el manómetro en la salida de la tubería de suministro se obtiene una presión de 1.5 bares.

**Figura 32**

*Puesta en marcha y medición de presión*





- Verificado lo anterior se procede a iniciar con las evaluaciones para lograr una máxima eficiencia y rendimiento volumétrico del caudal de descarga, para ello se anotó datos de variaciones en la carrera de la válvula de impulso, número de golpes por minuto y la variación de altura de descarga. Manteniendo constante la altura de suministro y peso de la válvula de impulso.

## **4.2. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE CAMPO**

Para proceder a la medición de datos en campo se tuvo en cuenta tener los siguientes instrumentos como: manómetro, cronometro, wincha métrica, llave loro, alicate a presión, tablero, hojas de apunte, lapicero, cámara fotográfica y recipiente para medir caudal.

### **4.2.1. Comportamiento de los componentes.**

Se verifico el comportamiento de los componentes del sistema de bombeo en funcionamiento, para lo cual se verifico empezando de la captación artesanal, tubería de suministro, bomba de ariete hidráulico, tubería de descarga, estas sometidas a una presión inicial de funcionamiento de 1.5 bares, por lo que verificando no se encuentra acciones que puedan alterar la toma de datos, seguidamente se concluye que el sistema se encuentra en buenas condiciones para la toma de datos. Los componentes verificados se describen de la siguiente manera.

#### **a). Captación artesanal**

Su construcción está a base de bloques de tierra de 30x30x20 cm, el cual hace un muro para captar el agua y alimentar a la tubería de suministro, dicha



construcción se encuentra estable durante el funcionamiento de la bomba de ariete por lo que no presenta alguna falla que pueda alterar la toma de datos.

#### **b). Tubería de suministro**

Se utilizó una tubería de PVC (PN-7.5) de 3 pulgadas, dicho material tiene un comportamiento bueno, no presenta fugas de agua, ni fallas que puedan alterar el funcionamiento de la bomba de ariete.

#### **c). Bomba de ariete hidráulico**

La bomba de ariete está conformada por el cuerpo de la bomba, válvula de impulso, válvula de descarga y cámara de aire, los cuales fueron unidos con pernos y tuercas, los mismos que presentan un buen comportamiento a la presión y golpe de ariete, visto que no se encuentra fallas de ningún tipo, se concluye que está en buenas condiciones para preceder a tomar datos de campo.

#### **d). Tubería de descarga**

La tubería de descarga es de un material HDPE de 1/2", por donde se traslada el agua bombeada hasta una altura de 20 metros donde funciona la bomba eficientemente, esta tubería no presenta alguna falla o haya oficios que disminuyan la eficiencia.

### **4.2.2. Aforo de caudal de alimentación a la captación**

Esta medición consistió en medir el agua del canal de derivación de río Winipalcca que alimenta a la captación artesanal para luego suministrar mediante la tubería de 3 pulgadas a la bomba de ariete hidráulico. Para ello se empleó el

método volumétrico y se utilizó un recipiente de diámetro  $\varnothing$  0.288m con altura  $h=0.30m$ .

**Tabla 16**

*Aforo de caudal de alimentación en la captación*

Nro.	VOLUMEN (litros)	TIEMPO (segundos)
1	19.54	6.69
2	19.54	6.72
3	19.54	6.88
4	19.54	6.63
5	19.54	6.86
6	19.54	6.70
<b>PROMEDIO</b>	<b>19.54</b>	<b>6.75</b>

De acuerdo con la información obtenida en la tabla, se calculará el caudal de alimentación a la captación artesanal con la siguiente ecuación:

$$Q_{alimentacion} = \frac{19.54}{6.75}$$

$$Q_{alimentacion} = 2.895 \text{ l/seg}$$

$$Q_{alimentacion} = 173.69 \text{ l/min}$$

#### **4.2.3. Evaluación de la bomba de ariete a 83 golpes/minuto**

Como primer escenario creado para medir el caudal de descarga y caudal de suministro, la medición se realiza en pleno funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico, para ello se tiene los siguientes datos constantes de acuerdo al capítulo de diseño y datos que varían que se medirá en campo.

**a). Datos constantes**

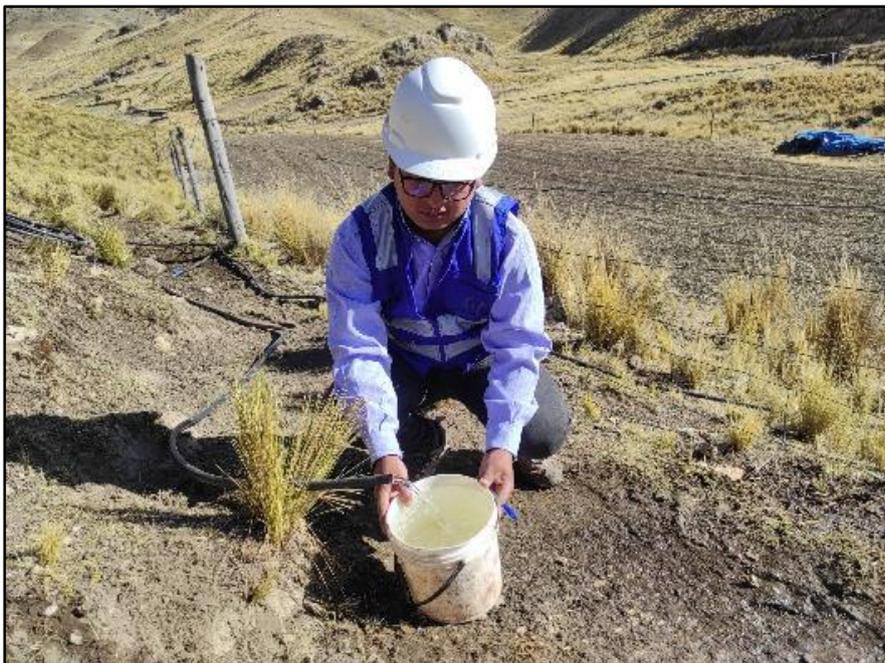
- Altura de suministro: 4.07 metros
- Numero de golpes: 83 golpes
- Numero de válvulas: 1 válvula impulso
- Peso de la válvula de impulso: 1 kilogramo
- Carrera que realiza la válvula de impulso: 10 mm
- Carrera que realiza la válvula de descarga: 5mm

**b). Datos que varían**

- Caudal de descarga (litros/min), se determinó en un recipiente con diámetro  $\varnothing$  0.185 metros con una altura ( $h=0.180m$ ) como se aprecia en la figura.

**Figura 33**

*Medición de caudal de descarga*

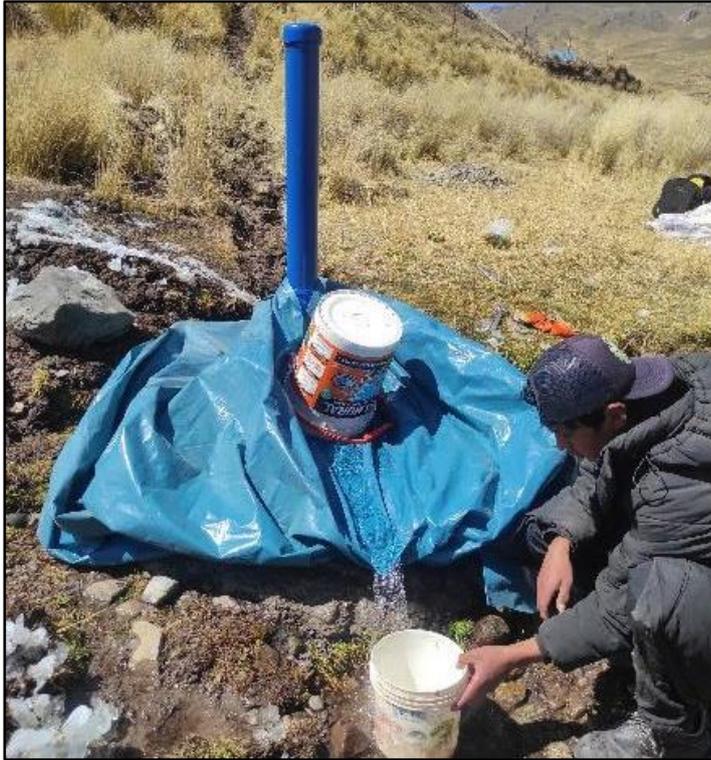


- Presión estará en unidad de medida bares, para ello se utilizará un manómetro.

- Caudal desechado estará en litros por min, para ello se determinó en un recipiente de diámetro ( $\varnothing$  0.185m) con una altura ( $h=0.180m$ ), como se aprecia en la fig. 34.

### Figura 34

#### *Medición de caudal desechado*



- Caudal de suministro (litros/min), se calculará entre la suma de caudal desechado y caudal de descarga.
- Altura de descarga (m), se determina en cada prueba que se realiza.
- Rendimiento volumétrico (%), se calculará con la ecuación descrita en el capítulo de diseño.
- Eficiencia (%), se determinará con la ecuación descrita en el capítulo de diseño.

Los datos determinados en campo y gabinete se muestran en la siguiente tabla.

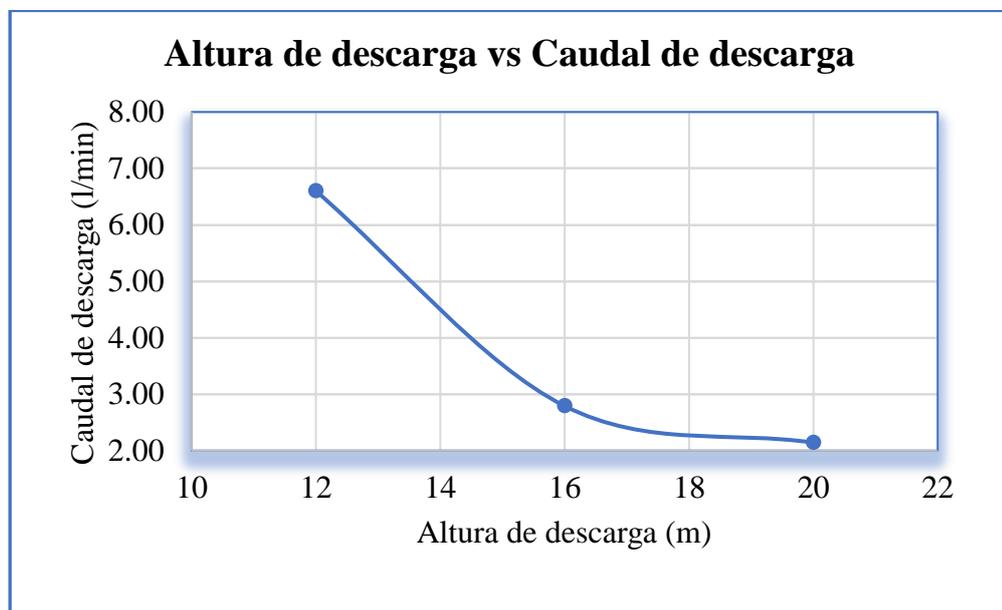
**Tabla 17**

*Evaluación de la bomba de ariete a 83 golpes por minuto*

<b>Pruebas</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Altura de suministro (m)	4.07	4.07	4.07
Caudal de descarga (litros/min)	6.60	2.79	2.14
Presión (bar)	1.2	1.6	1.8
Numero de golpes por minuto	83	83	83
Caudal desechado (litros/min)	37.55	37.55	37.55
Caudal de suministro (litro/min)	44.15	40.34	39.69
Altura de descarga (m)	12	16	20
Rendimiento volumétrico (%)	14.95	6.92	5.39
Eficiencia (%)	44.08	27.19	25.17

**Figura 35**

*Altura de descarga vs Caudal de descarga para 83 golpes/min*



En la figura podemos describir que para una altura de descarga de menor se tiene mayor caudal de descarga, así mismo para 83 golpes por minuto de la válvula de impulso el caudal de descarga estará dentro de un rango de 2 -7 litros por minuto, para una altura de descarga que varía entre 12 – 20 metros.



#### 4.2.4. Evaluación de la bomba de ariete a 76 golpes/minuto

Como segundo escenario creado para medir el caudal de descarga y caudal de suministro, la medición se realizó en pleno funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico, para ello se tiene los siguientes datos constantes de acuerdo al capítulo de diseño y datos que varían que se logró medir en campo.

##### a). Datos constantes

- Altura de suministro: 4.07 metros
- Numero de golpes: 76 golpes
- Numero de válvulas: 1 válvula impulso
- Peso de la válvula de impulso: 1 kilogramo
- Carrera que realiza la válvula de impulso: 15 mm
- Carrera que realiza la válvula de descarga: 5mm

##### b). Datos que varían

- Caudal de descarga (litros/min), se determinó en un recipiente de diámetro ( $\emptyset$  0.185 m) con una altura ( $h=0.180m$ ) como se aprecia en la figura.

### Figura 36

*Medición de caudal de descarga*



- Presión estará en unidad de medida bar, para ello se utilizará un manómetro.

### Figura 37

*Medición de presión de 2.0 bar*



- Caudal desechado estará en litros por min, para ello se determinó en un recipiente de diámetro ( $\emptyset$  0.185m) con una altura ( $h=0.180m$ ), como se aprecia en la figura.

### Figura 38

#### *Medición de caudal desechado*



- Caudal de suministro (litros/min), se calculará entre la suma de caudal desechado y caudal de descarga.
- Altura de descarga (m), se determina en cada prueba que se realiza.
- Rendimiento volumétrico (%), se calculará con la ecuación descrita en el capítulo de diseño.
- Eficiencia (%), se determinará con la ecuación descrita en el capítulo de diseño.

Los datos determinados en campo y gabinete se muestran en la siguiente tabla.

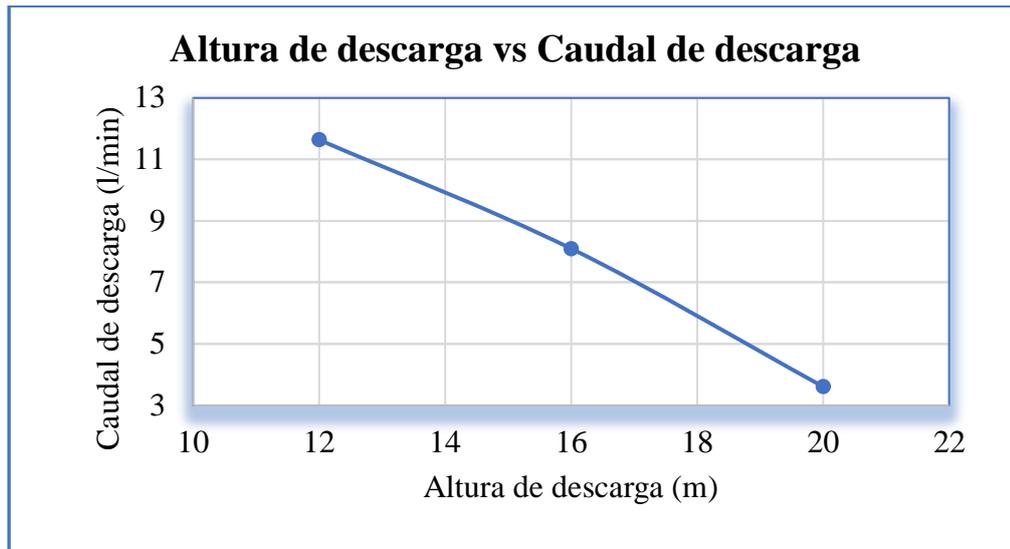
**Tabla 18**

*Evaluación de la bomba de ariete a 76 golpes por minuto*

<b>Pruebas</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Altura de suministro (m)	4.07	4.07	4.07
Caudal de descarga (litros/min)	11.64	8.10	3.61
Presión (bar)	1.5	1.7	2.0
Numero de golpes por minuto	76	76	76
Caudal desechado (litros/min)	66.34	58.36	46.46
Caudal de suministro (litro/min)	77.98	66.46	50.07
Altura de descarga (m)	12	16	20
Rendimiento volumétrico (%)	14.93	12.19	7.21
Eficiencia (%)	44.01	47.91	35.43

**Figura 39**

*Altura de descarga vs Caudal de descarga para 76 golpes/min*



En la figura podemos describir que para una altura de descarga de menor se tiene mayor caudal de descarga, así mismo para 76 golpes por minuto de la válvula de impulso el caudal de descarga estará dentro de un rango de 4 - 12 litros por minuto, para una altura de descarga que varía entre 12 – 20 metros.

#### 4.2.5. Evaluación de la bomba de ariete a 72 golpes/minuto

Como tercer escenario creado para medir el caudal de descarga y caudal de suministro, la medición se realiza en pleno funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico, para ello se tiene los siguientes datos constantes de acuerdo al capítulo de diseño y datos que varían que se medirá en campo.

##### a). Datos constantes

- Altura de suministro: 4.07 metros
- Numero de golpes: 72 golpes
- Numero de válvulas: 1 válvula impulso
- Peso de la válvula de impulso: 1 kilogramo
- Carrera que realiza la válvula de impulso: 20 mm
- Carrera que realiza la válvula de descarga: 5mm

### b). Datos que varían

- Caudal de descarga (litros/min), se determinó en un recipiente de diámetro ( $\emptyset$  0.185 m) con una altura ( $h=0.180\text{m}$ ) como se aprecia en la figura.

#### Figura 40

*Medición de caudal de descarga*



- Presión estará en unidad de medida bar, para ello se utilizará un manómetro.

#### Figura 41

*Medición de presión de 2.1 bar*



- Caudal desechado estará en litros por min, para ello se determinó en un recipiente de diámetro ( $\varnothing$  0.185m) con una altura ( $h=0.180m$ ), como se aprecia en la figura.

### Figura 42

#### *Medición de caudal de desechado*



- Caudal de suministro (litros/min), se calculó entre la suma de caudal desechado y caudal de descarga.
- Altura de descarga (m), se determinó en cada prueba que se realizada.
- Rendimiento volumétrico (%), se calculó con la ecuación descrita en el capítulo de diseño.
- Eficiencia (%), se determinó con la ecuación descrita en el capítulo de diseño.

Los datos determinados en campo y gabinete se muestran en la siguiente

tabla

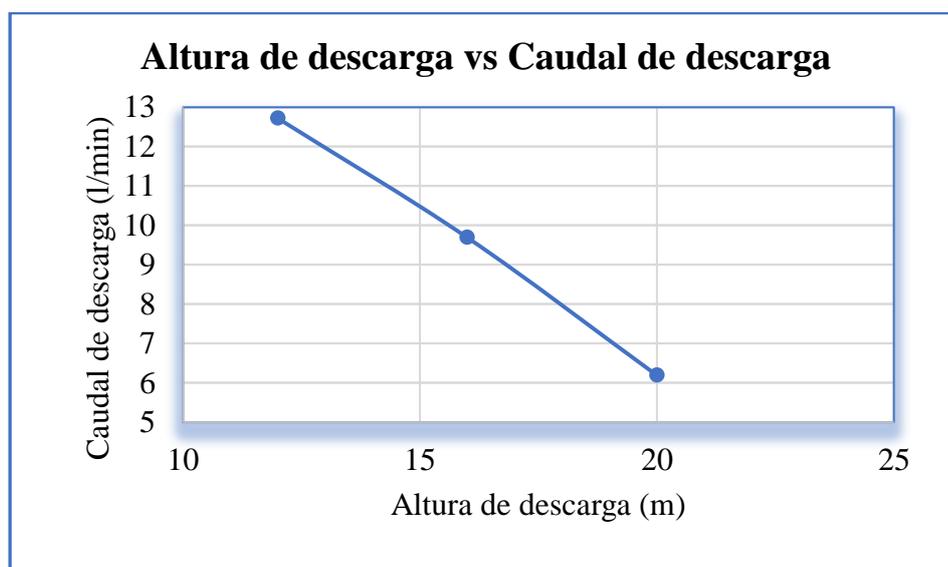
**Tabla 19**

*Evaluación de la bomba de ariete a 72 golpes por minuto*

<b>Pruebas</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Altura de suministro (m)	4.07	4.07	4.07
Caudal de descarga (litros/min)	12.72	9.69	6.19
Presión (bar)	1.6	1.8	2.1
Numero de golpes por minuto	72	72	72
Caudal desechado (litros/min)	79.10	71.54	65.83
Caudal de suministro (litro/min)	91.82	81.23	72.02
Altura de descarga (m)	12	16	20
Rendimiento volumétrico (%)	13.85	11.93	8.59
Eficiencia (%)	40.84	46.90	42.24

**Figura 43**

*Altura de descarga vs Caudal de descarga para 72 golpes/min*



En la figura podemos describir que, para una altura de descarga de menor, se tiene mayor caudal de descarga, así mismo para 72 golpes por minuto de la válvula de impulso el caudal de descarga estará dentro de un rango de 6 - 13 litros por minuto, para una altura de descarga que varía entre 12 – 20 metros.

#### **4.2.6. Evaluación de la bomba de ariete a 63 golpes/minuto**

Como cuarto escenario creado para medir el caudal de descarga y caudal de suministro, la medición se realiza en pleno funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico, para ello se tiene los siguientes datos constantes de acuerdo al capítulo de diseño y datos que varían que se medirá en campo.

##### **a). Datos constantes**

- Altura de suministro: 4.07 metros
- Numero de golpes: 63 golpes
- Numero de válvulas: 1 válvula impulso
- Peso de la válvula de impulso: 1 kilogramo
- Carrera que realiza la válvula de impulso: 30 mm
- Carrera que realiza la válvula de descarga: 5mm

##### **b). Datos que varían**

- Caudal de descarga (litros/min), se determinó en un recipiente de diámetro ( $\varnothing$  0.185 m) con una altura ( $h=0.180m$ ) como se aprecia en la figura.

#### **Figura 44**

*Medición de caudal de descarga*



- Presión se observó en unidad de medida bar, para ello se utilizará un manómetro.

**Figura 45**

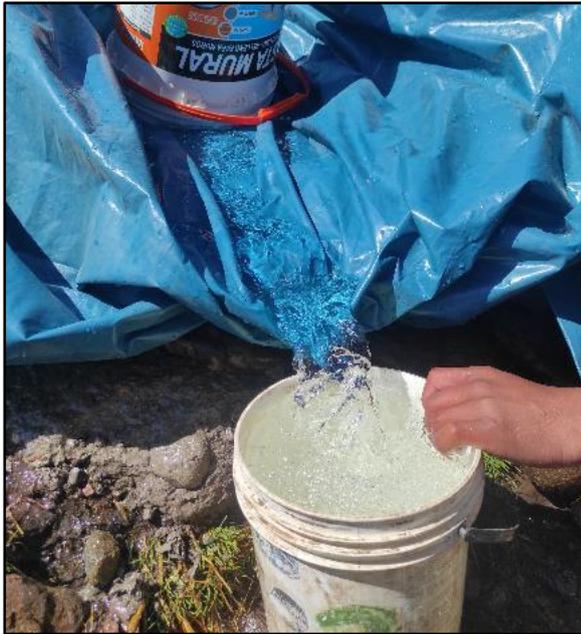
*Medición de presión de 2.1 bar*



- Caudal desechado estará en litros por min, para ello se determinó en un recipiente de diámetro ( $\varnothing$  0.185m) con una altura ( $h=0.180m$ ), como se aprecia en la figura.

### Figura 46

#### *Medición de caudal de desechado*



- Caudal de suministro (litros/min), se determinó entre la suma de caudal desechado y caudal de descarga.
- Altura de descarga (m), se determinó en cada prueba que se realiza.
- Rendimiento volumétrico (%), se calculó con la ecuación descrita en el capítulo de diseño.
- Eficiencia (%), se determinó con la ecuación descrita en el capítulo de diseño.

Los datos determinados en campo y gabinete se muestran en la siguiente tabla



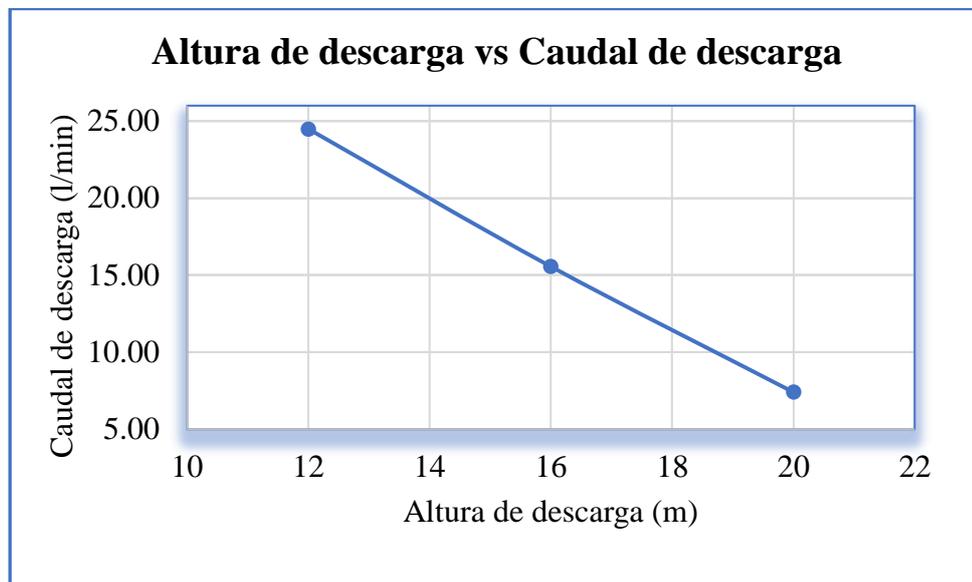
**Tabla 20**

*Evaluación de la bomba de ariete a 63 golpes por minuto*

<b>Pruebas</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Altura de suministro (m)	4.07	4.07	4.07
Caudal de descarga (litros/min)	24.49	15.56	7.41
Presión (bar)	1.2	1.6	2.1
Numero de golpes por minuto	63	63	63
Caudal desechado (litros/min)	152.98	125.90	90.21
Caudal de suministro (litro/min)	177.48	141.47	97.62
Altura de descarga (m)	12	16	20
Rendimiento volumétrico (%)	13.80	11.00	7.59
Eficiencia (%)	40.69	43.24	37.30

**Figura 47**

*Altura de descarga vs Caudal de descarga para 63 golpes/min*



En la figura podemos describir que para una altura de descarga menor se tiene mayor caudal de descarga, así mismo para 63 golpes por minuto de la válvula de impulso el caudal de descarga estará dentro de un rango de 7 - 25 litros por minuto, para una altura de descarga que varía entre 12 – 20 metros.

#### **4.3. CURVA DE OPERACIÓN DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO**

Para ver el comportamiento de la bomba de ariete durante las pruebas de campo se evaluó para una altura de descarga de 20 metros, debido a que con la altura mencionada se obtiene un desnivel de 8 metros con el aspersor (Xcel-Wobbler Boquilla #6 Dorada) que se ubica en la parte más alta del área de riego, según catálogo el requerimiento mínimo para el funcionamiento del aspersor es de 0.69 bar (7m). Cumpliendo los requerimientos del área de riego se evaluó el comportamiento de la bomba de ariete con los datos de campo como caudal de suministro, caudal de descarga, eficiencia el cual se calculó a distintos golpes por minuto.

**Tabla 21**

*Resumen obtenido en la prueba para una altura de descarga de 20 metros.*

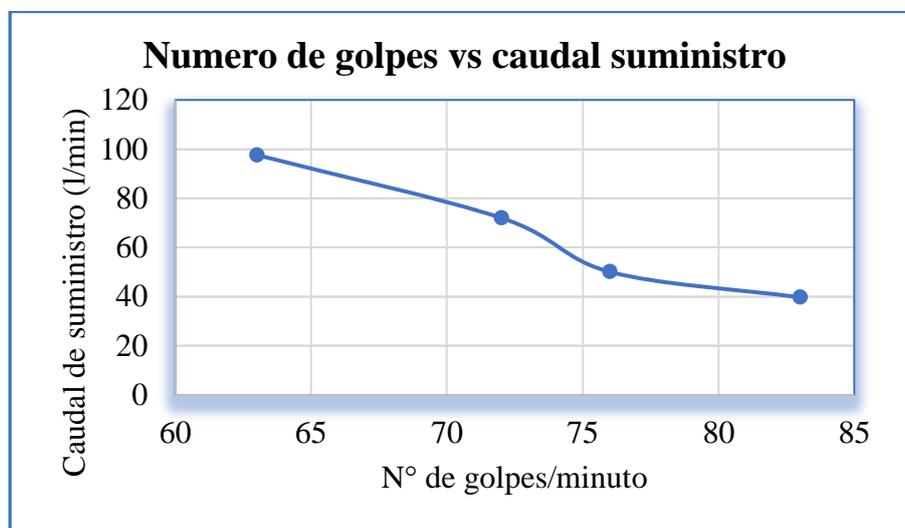
<b>Nro. Golpes por minuto</b>	<b>83</b>	<b>76</b>	<b>72</b>	<b>63</b>
Altura de suministro (m)	4.07	4.07	4.07	4.07
Altura de descarga (m)	20	20	20	20
Caudal de suministro (litro/min)	39.69	50.07	72.02	97.62
Caudal de descarga (litro/min)	2.14	3.61	6.19	7.41
Eficiencia (%)	26.50	35.43	42.24	37.30

Con los datos obtenidos verificamos mediante curvas de operación de la bomba de ariete hidráulico e interpretamos el comportamiento de la bomba de ariete.

#### **4.3.1. Curva de numero de golpes por minuto vs caudal de suministro**

**Figura 48**

*Numero de golpes por minuto vs caudal de suministro*

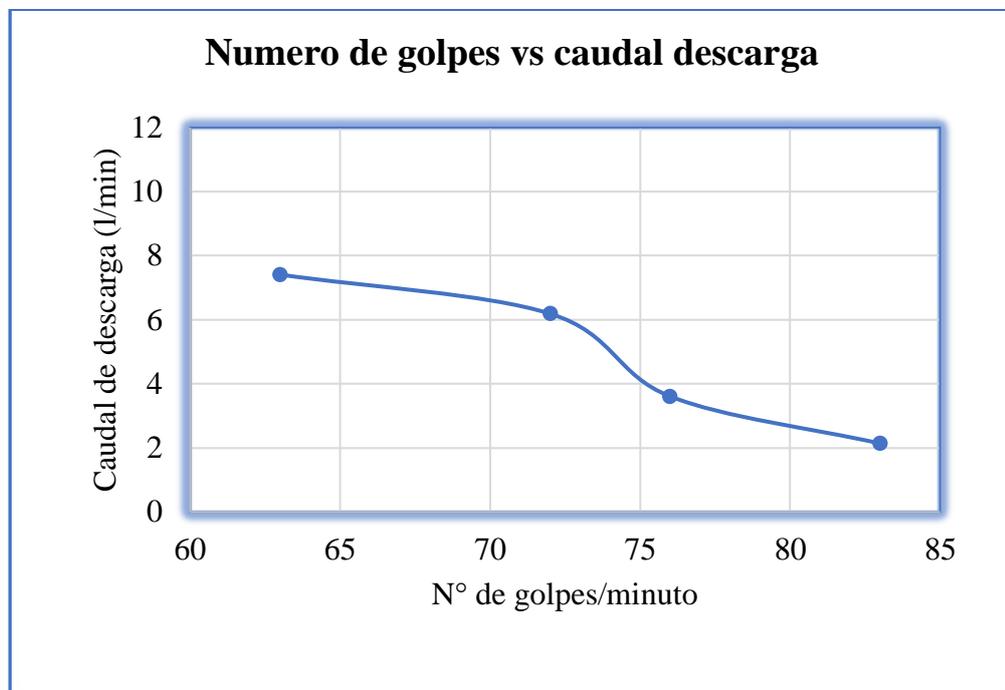


En la figura interpretamos que a mayor número de golpes por minuto de la válvula de impulso se requerirá menor caudal de suministro que ingrese a la bomba de ariete hidráulico y viceversa a menor número de golpes es mayor el caudal de suministro.

#### 4.3.2. Curva de numero de golpes por minuto vs caudal de descarga

**Figura 49**

*Numero de golpes por minuto vs caudal de descarga*

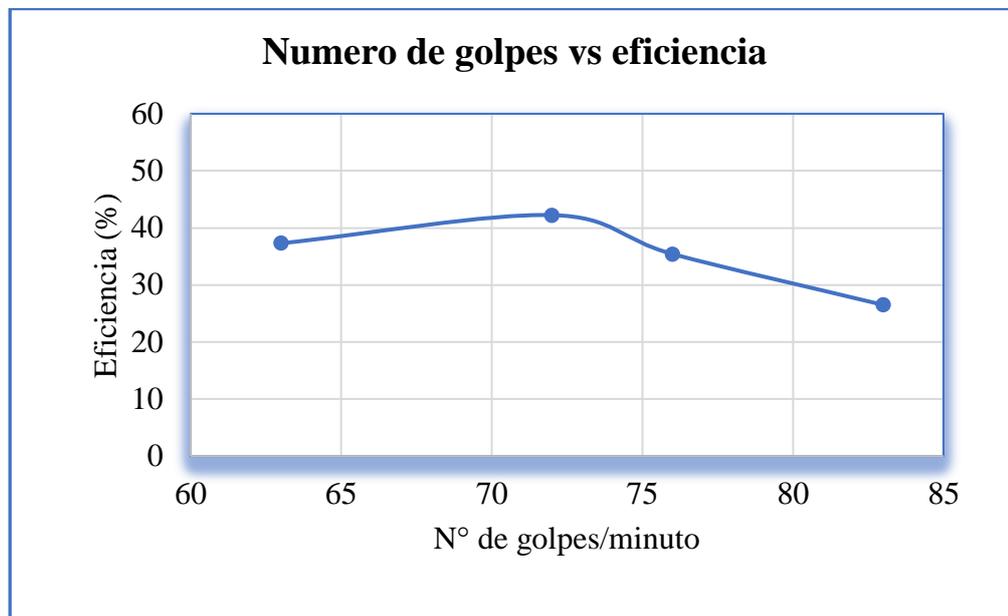


En la figura 49 podemos describir que a menor número de golpes de la válvula de impulso mayor será el caudal de descarga, así mismo cuando incrementa de numero de golpes por minuto el caudal de descarga disminuye.

#### 4.3.3. Curva de numero de golpes por minuto vs eficiencia de la bomba

**Figura 50**

*Numero de golpes por minuto vs eficiencia (%)*



En la figura 50 interpretamos cuando el número de golpes tiende a ser menor a 72, la eficiencia de la bomba disminuye, así también se puede describir que para el rango de 70 a 73 golpes por minuto se tendrá una máxima eficiencia en la bomba de ariete hidráulico, por de otra vista podemos describir que cuando el número de golpes por minuto de la válvula de impulso es mayor a 75 tiende a bajar la eficiencia de la bomba de ariete.

#### **4.4. CONFIGURACION FINAL DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO**

Para la configuración final de la bomba de ariete hidráulico instalado en la propiedad del Señor Martin Chipana en el sector de Buena Vista, distrito de Llalí, se configura la válvula de impulso para cumplir con los requerimientos de la demanda de agua para riego, cuya demanda de agua fue calculado en el capítulo de diseño para un área de riego de 2400 metros cuadrados, 3.41 metros cúbicos de agua, por lo que regulando la carrera de la válvula de impulso para 63, 72, 76 y 83 golpes por minuto tendremos un caudal de descarga de 7.41, 6.19, 3.61 y 2.14 litros por minuto, así mismo

la bomba de ariete funcionando durante las 24 horas del día se tendrá 10.67, 8.91, 5.20 y 3.08 metros cúbicos de agua respectivamente, lo que nos indica que de los cuatro escenarios cumplen con el requerimiento las configuraciones de 63, 72 y 76 golpes por minuto

En función al requerimiento de agua para riego se decide tomar la configuración de 63 golpes por minuto con un caudal de descarga de 7.41 litros por minuto, de este modo se cumple con el objetivo específico dos de aprovechar un caudal superior a 6.25 litros/minuto.

#### 4.5. COSTO TOTAL DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO

**Tabla 22**

*Costo total de la instalación del sistema de bombeo*

<b>Nro.</b>	<b>COMPONENTE</b>	<b>UND</b>	<b>CANT.</b>	<b>P. U</b>	<b>PARCIAL</b>	<b>SUBTOTAL</b>
<b>1</b>	<b>CAPTACION</b>					<b>S/ 132.00</b>
	<b>Mano de obra</b>					
	Peón	Jornal	1.00	60.00	S/ 60.00	
	Operario	Jornal	0.60	120.00	S/ 72.00	
<b>2</b>	<b>LINEA DE SUMINISTRO</b>					<b>S/ 725.00</b>
	<b>Mano de obra</b>					
	Peón	Jornal	3.00	60.00	S/ 180.00	
	<b>Materiales</b>					
	Tubería pvc PN-7.5 de 3" L= 6m	und	5.00	92.00	S/ 460.00	
	Abrazadera de 3"x1/2" PVC	und	1.00	21.00	S/ 21.00	



Continuando...

Canastilla de 4" x 3" PVC	und	1.00	23.00	S/ 23.00	
Codo pvc de 22.5° 3" PN-7.5	und	1.00	28.00	S/ 28.00	
Pegamento Oatey	und	0.50	8.00	S/ 4.00	
<b>Equipos y herramientas</b>					
M.O (5%)	%	0.05	180.00	S/ 9.00	
<b>3 BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO</b>					<b>S/1,049.50</b>
<b>Mano de obra</b>					<b>S/ 180.00</b>
Operario	Jornal	1.00	120	S/ 120.00	
Peón	Jornal	1.00	60	S/ 60.00	
<b>Materiales</b>					<b>S/ 690.50</b>
<b>3.1 Cuerpo de la bomba</b>					
Brida pvc de 3" s/p	und	2.00	55.00	S/ 110.00	
				S/ 38.00	
Tee pvc de 3" s/p	und	1.00	38.00		
Codo pvc de 90° de 3" s/p	und	1.00	38.00	S/ 38.00	
Niple pvc de 8" x 3" s/p	und	4.00	5.00	S/ 20.00	
Pegamento Oatey	und	1.00	8.00	S/ 8.00	
<b>3.2 Cámara de aire</b>					



Continuando...

Tubería pvc de 12 x 4 pulg	und	1.00	47.50	S/ 47.50
Tapón hembra de 4 pulg s/p	und	1.00	27.00	S/ 27.00
Abrazadera de 2 cuerpos termoplástica de 4 pulg con salida a 1/2 pulg	und	1.00	23.00	S/ 23.00
Reducción de 4 a 3 pulg s/p	und	1.00	28.00	S/ 28.00
Brida de 3 pulg s/p	und	1.00	55.00	S/ 55.00
Niple de 2 x 1/2 pulg c/r	und	3.00	2.00	S/ 6.00
Llave de paso de 1/2 pulg c/r	und	3.00	5.00	S/ 15.00
Tee hidro de 1/2 pulg c/r	und	1.00	2.00	S/ 2.00
Válvula check bronce de 1/2 pulg c/r	und	1.00	8.00	S/ 8.00
Manómetro de glicerina 1/2 pulg	und	1.00	37.00	S/ 37.00
Bushing galvanizado 1" x 1/2"	und	1.00	4.00	S/ 4.00

### 3.3 Válvula de impulsión

Vástago eje Ø 1/2" L=180mm A-36	und	1.00	15.00	S/ 15.00
Placa Acero A-36 Ø 190mm e=5mm	und	1.00	25.00	S/ 25.00



Continuando...

Bocín Ø 3/8" e=8mm	und	1.00	12.00	S/ 12.00
Empaque de jebe Ø 190mm, e=5mm	und	1.00	15.00	S/ 15.00
Pesas acero A-36 Ø 190mm, e=5mm	und	1.00	25.00	S/ 25.00
Perno acero A-36 Ø 11mm, L=110mm	und	4.00	8.00	S/ 32.00
Tuerca hexagonal de Ø 11mm	und	8.00	1.00	S/ 8.00
Arandela diámetro Ø 11mm, e=2mm	und	10.00	0.50	S/ 5.00

### 3.4 Válvula de descarga

Placa acero A-36 Ø 190mm e=5mm	und	1.00	25.00	S/ 25.00
Solapa acero A-36 Ø 60 mm, e=5mm	und	1.00	15.00	S/ 15.00
Empaque de jebe para solapa Ø 60 mm, e=5mm	und	1.00	8.00	S/ 8.00
Perno de 1 1/2", e=6mm	und	1.00	8.00	S/ 8.00
Tuerca Ø 6mm	und	2.00	0.50	S/ 1.00
Empaque de jebe Ø 190 mm, e=5mm	und	2.00	15.00	S/ 30.00
<b>Equipos y herramientas</b>				<b>S/ 179.00</b>
Máquina de soldar	h.m	1.00	70.00	S/ 70.00



Continuando...

Esmeril	h.e	1.00	50.00	S/ 50.00	
Taladro	h.e	1.00	50.00	S/ 50.00	
M.O (5%)	%	0.05	180.00	S/ 9.00	
<b>4 PLATAFORMA DE BOMBEO</b>					<b>S/ 245.30</b>
<b>Mano de obra</b>					<b>S/ 130.00</b>
Peón	h.h	1.00	60.00	S/ 60.00	
oficial	h.h	1.00	70.00	S/ 70.00	
<b>Materiales</b>					<b>S/ 88.80</b>
Cemento	bol	1.00	29.00	S/ 29.00	
Arena gruesa	m3	0.50	50.00	S/ 25.00	
Piedra chancada 1/2"	m3	0.30	95.00	S/ 28.50	
Agua	m3	0.35	18.00	S/ 6.30	
<b>Equipos y herramientas</b>					<b>S/ 26.50</b>
carretilla	h. e	8.00	2.50	S/ 20.00	
M.O (5%)	%	0.05	130.00	S/ 6.50	
<b>5 LINEA DE DESCARGA</b>					<b>S/ 106.00</b>
Manguera de 1/2" x 50 metros	und	1.00	50.00	S/ 50.00	
Adaptador HDPE de 1/2"	und	3.00	8.00	S/ 24.00	
Unión HDPE de 1/2"	und	4.00	8.00	S/ 32.00	
<b>6 LINEA DE SUMINISTRO DE RIEGO</b>					<b>S/ 370.00</b>



---

Continuando...

Manguera de 1/2" x 50 metros	und	1.00	50.00	S/ 50.00
Unión HDPE de 1/2"	und	5.00	8.00	S/ 40.00
Aspersor Xcel-Wobblers	und	40.00	7.00	S/ 280.00
<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>S/ 2,627.80</b>
<b>COSTO INDIRECTO (15%CD)</b>				<b>S/ 394.17</b>
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>S/ 3,021.97</b>

---

El costo total de la instalación del sistema de bombeo con ariete hidráulico asciende al monto de S/ 3,021.97 soles, donde se considera los gastos realizados en mano de obra, materiales, transporte de material de la ciudad de Arequipa hasta la ubicación del sector de Buena Vista del Distrito de Llalí y costos de alquiler de equipos.

#### 4.6. DISCUSION DE RESULTADOS

Los resultados que hemos obtenido respecto a la hipótesis general coinciden con los que encontró Condori y Mamani (2021) quien en la investigación que realizó logra cumplir con los requerimientos de caudal y altura de descarga para abastecer de agua al fundo Pachaticgra, así también los resultados guardan relación con lo que sostiene Ramírez y González (2019), quien en su investigación logra cubrir la demanda de agua 0.143 LPM, cumpliendo con los cálculos y dando como eficaz el diseño.

El resultado obtenido respecto a la hipótesis específico uno, no coinciden con lo que encontró, Ramírez y González (2019), Condori y Mamani (2021), Aranguri (2018) debido a que no se realizó un cuestionario pre-test para evaluar las condiciones antes realizar la implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico.



Los resultados que hemos obtenido respecto a la hipótesis dos coincide con lo que encontró Ramírez y González (2019) en su estudio ya que se aprovecha un caudal de 0.2479 l/min para cubrir una demanda de 0.143 l/min por ende describe como un diseño eficaz, por otra parte se concuerda con lo que encontró Condori y Mamani (2021) en su estudio cumple con el objetivo propuesto obteniendo un caudal de descarga de 7.06 l/min dando como optimo el funcionamiento de la bomba de ariete, por otra parte se coincide con los resultados de Aranguri (2018) quien en su estudio en la zona rural de la provincia de San Pablo – Cajamarca obtiene un caudal de descarga de 8.9 l/min. Así mismo decimos que en este estudio realizado en el sector de Buena vista del distrito de Llalli se cumple con el objetivo específico dos logrando obtener un caudal de descarga de 7.41 l/min superior al propuesto de 6.25 l/min, dando como eficiente el diseño e implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico, de la misma que el diseño cumple la normas OS 0.10 captación y conducción de agua para consumo humano del RNE, lo que indica para captación de aguas superficiales las obras de toma que se ejecuten en los cursos de aguas superficiales, en lo posible no deberán modificar el flujo normal de la fuente, el exceso de captación deberá retornar al curso original, así también cumple la norma citada para velocidad de flujo en la tubería, los criterios de velocidad mínima de 0.60 m/s y velocidad máxima 5m/s. Por otro lado, el diseño obedece la noma OS 0.50 redes de distribución de agua para consumo humano, lo siguientes criterios para presión estática no mayor de 50 metros en cualquier punto de la red y la presión dinámica no será menor a 10 metros, así también el diseño obedece a la norma citada los criterios para ubicación y recubrimiento de tuberías, por lo que se consideró recubrimientos en zona sin acceso vehicular el recubrimiento será de 0.30 metros.

El resultado obtenido respecto a la hipótesis específico tres, concuerdan con lo que encontró Aranguri (2018) en su estudio realizado en la zona rural de la provincia de



San Pablo – Cajamarca donde utilizo cuestionario escala Likert para determinar grado de satisfacción del poblador, dando como resultado el nivel de satisfacción del poblador es positiva, desde el aspecto técnico, económico del sistema de bombeo con ariete hidráulico. Así mismo los resultados no son compatibles con lo que encontró (Ramírez y González, 2019), (Condori y Mamani, 2021) en su estudio debido a que no desarrollaron cuestionarios post-test para evaluar las condiciones del recurso hídrico con la implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico. Es por ello en este estudio con el desarrollo de post-test mediante cuestionario escala de Likert se logró que la actitud del propietario del terreno demostrativo es sumamente favorable al diseño e implementación del proyecto de investigación, debido a que con la implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico es aprovechado el recurso hídrico en el terreno agrícola para riego por aspersión a si mismo la implementación es económicamente accesible y amigable con el medio ambiente.



## V. CONCLUSIONES

En la investigación realizada con el diseño e implementación sistema de bombeo con ariete hidráulico se llegó a la conclusión general de que el recurso hídrico es aprovechado en el terreno agrícola para riego de alfalfa en un área de 2400 m<sup>2</sup>, por lo que cumple con las demandas requeridas del área de riego, siendo esta investigación favorable.

- Se realizó cuestionario pre-test mediante el análisis de la escala de Likert aplicado al sistema de bombeo con ariete hidráulico respecto al recurso hídrico para aprovechar en el terreno agrícola de 2400 m<sup>2</sup>, donde se obtuvo (1+1+3+3) cuyo resultado indica que la actitud del propietario del terreno demostrativo es sumamente desfavorable, debido a que el recurso hídrico antes de la implementación del sistema de bombeo con ariete es nula, siendo este escaso para uso agrícola, en esta etapa aún no se cuenta con la implementación del sistema y no se sabe el costo real que llevara su implementación.
- Se logró un diseño en cuatro escenarios de funcionamiento de la válvula de impulso 63, 72, 76 y 83 golpes por minuto, donde se aprovecha un caudal de descarga 7.41, 6.19, 3.61 y 2.14 litros por minuto respectivamente para una altura de descarga de 20 metros, para cumplir con el objetivo se toma la configuración de 63 golpes por minuto donde se aprovechara un caudal de descarga 7.41 litros por minuto, la misma que se utilizara para el riego de un terreno agrícola de 2400 m<sup>2</sup> siendo su demanda de agua para riego 3.41 m<sup>3</sup>.
- Se realizó post-test mediante el análisis de la escala de Likert aplicado al recurso hídrico respecto al sistema de bombeo con ariete hidráulico para aprovechar en el terreno agrícola de 2400 m<sup>2</sup>, donde se obtuvo (5+5+5+4) cuyo resultado indica que la actitud del Sr Martin Chipana propietario del terreno demostrativo es sumamente



favorable, por lo que con la implementación y diseño del proyecto de investigación nos permite identificar que el recurso hídrico aforado en el canal de derivación del río Winipalcca es de 173.40 litros/minuto, del cual se aprovecha 97.62 litros/minuto caudal de suministro, de lo anterior una cantidad de recurso hídrico bombeado será utilizado en el riego de alfalfa, la cantidad de recurso hídrico bombeado dígase caudal de descarga es de 7.41 litros/minuto y la cantidad de caudal desechado por la bomba es de 90.21 litros/minuto, por otra parte podemos decir que el presupuesto del diseño e implementación del sistema de bombeo es de s/ 3,021.97 para bombear 10.67 metros cúbicos por día, así mismo el costo de recurso hídrico bombeado para una hectárea es s/ 4,021.74, en comparación con un sistema de bombeo fotovoltaico desarrollado por Arizaca, (2022) indica el presupuesto por hectárea s/ 53,732.31, por lo que podemos concluir que es 13 veces económico respecto al sistema fotovoltaico el sistema de bombeo con ariete hidráulico y así mismo es amigable con el medio ambiente por lo que este sistema no utiliza ningún combustible derivados del petróleo para su funcionamiento, siendo su principal fuente de energía la energía cinética y potencial actuados en el desnivel entre captación y la ubicación de la bomba de ariete hidráulico, donde actúa durante el funcionamiento el fenómeno conocido como golpe de ariete hidráulico al cerrar bruscamente el paso de fluido la válvula de impulso.



## VI. RECOMENDACIONES

De acuerdo al objetivo general alcanzado, se recomienda desarrollar más investigaciones de sistemas de bombeo con ariete hidráulico para aprovechar el recurso hídrico con fines de uso agrícola, pecuario, pesquero, consumo humano, etc. La misma que se debe tener en cuenta que el rendimiento volumétrico de la bomba de ariete varía entre 7.59% al 14.95% con respecto al caudal de suministro en esta investigación.

- Se recomienda evaluar las condiciones topográficas, fuentes de agua, acceso, disponibilidad del propietario.
- Se recomienda desarrollar más investigaciones de sistemas de bombeo con ariete hidráulico aplicados en campo, con datos reales para el uso del recurso hídrico en actividades pecuaria, pesquera o habilitar más área de riego para distribuir el eficientemente el recurso hídrico bombeado.
- Así mismo en cumplimiento del objetivo específico tres, se recomienda la implementación bomba de ariete hidráulico en lugares donde no se cuenten con recursos económicos suficientes para implementar otros sistemas de bombeo de agua, a si también donde no se cuente con energía eléctrica o energía renovable y donde exista el recurso hídrico en grandes cantidades como ríos y canales que cuenten con un desnivel mayor a 2 metros de donde se pretenda captar hasta el punto donde se instale la bomba de ariete.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aranguri, D. J. (2018). Efectividad del sistema de bombeo con ariete hidráulico en la zona rural de la provincia de San Pablo-Cajamarca [Doctorado en Gestión Ambiental y Recursos Naturales, Universidad Nacional de Cajamarca]. En *Revista Científica PUNKURI* (Vol. 1, Número 2).  
<https://doi.org/10.55155/punkuri.v1i2.27>
- Arizaca, A. (2022). *Energía fotovoltaica aplicado en un sistema de riego por aspersión en el centro experimental Chuquibambilla* [Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano].  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18991>
- Callata, J. B. (2021). *Diseño de una bomba de ariete hidráulico monopulsor para el aprovechamiento de aguas del manantial, anexo Anucariri Puno - 2021* [Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Cesar Vallejo].  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/58228>
- Condori, M. A. y Mamani, R. (2021). *Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico de 2 pulgadas para el fundo Pachaticgra - Pinaya distrito de Santa Lucia Región Puno, 2020* [Facultad de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Sistemas, Universidad Nacional del Altiplano].  
[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/15354/Condori\\_Marco\\_Mamani\\_Rolando.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/15354/Condori_Marco_Mamani_Rolando.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Enríquez, B. S. (2017). *Evaluación de factores hidráulicos en una bomba de ariete que permitan el abastecimiento de agua potable en el área rural del distrito de Independencia - Huaraz - 2016* [Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo].  
[https://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2369/T033\\_4743](https://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2369/T033_4743)





- Pauro, R. P. (2018). *Diseño de bomba de ariete hidráulico, en la asociación San Miguel - Yacango Distrito Torata Región Moquegua, 2016* [Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad José Carlos Mariátegui].  
<https://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/20.500.12819/1/browse?type=author&value=Pauro+Chavez%2C+Rusvel+Poli>
- 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* [Facultad Tecnológica en Mecánica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas].  
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/15676/RamirezRojasBrayanSe?sequence=1>
- 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* [Facultad de Ingenierías, Universidad Politécnica Salesiana].  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5989/6/UPS%20-%20ST004827.pdf>
- Rodríguez, C. Z. (2012). *Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia. Gestión y ambiente, 15.*
- Sánchez, K. G. (2020). *Viabilidad técnica económica para la instalación de un sistema de bombeo con golpe de ariete en el distrito de Suyo - Piura* [Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].  
[https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8759/S%c3%a1nchez\\_Piscoya\\_Kevin\\_Gonzalo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8759/S%c3%a1nchez_Piscoya_Kevin_Gonzalo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

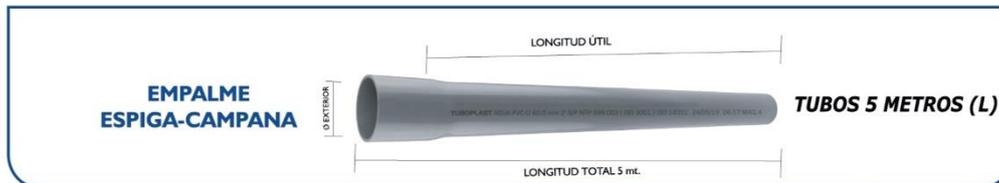


## ANEXO

## ANEXO 1. Catálogo de tubería tuboplast.

# AGUA FRIA

### TUBOS PARA FLUIDOS A PRESIÓN - SIMPLE PRESIÓN - NTP 399.002



Diámetro (pulg.)	Diámetro exterior (mm.)	Espesor (mm.)	Diámetro interior (mm.)	Longitud de campana (mm.)
PN-5 (5 Kgs/cm2)				
2"	60.00	1.80	56.40	45.00
2 1/2"	73.00	1.80	69.40	54.80
3"	88.50	2.20	84.10	66.40
4"	114.00	2.80	108.40	85.50
6"	168.00	4.10	159.80	120.00
8"	219.00	5.30	208.40	164.30
10"	273.00	6.70	259.60	204.80
12"	323.00	7.90	307.20	242.30

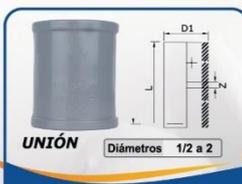
Diámetro (pulg.)	Diámetro exterior (mm.)	Espesor (mm.)	Diámetro interior (mm.)	Longitud de campana (mm.)
PN-7.5 (7.5 Kgs/cm2)				
1 1/2"	48.00	1.80	44.40	36.00
2"	60.00	2.20	55.60	45.00
2 1/2"	73.00	2.60	67.80	54.80
3"	88.50	3.20	82.10	66.40
4"	114.00	4.10	105.80	85.50
6"	168.00	6.10	155.80	126.00
8"	219.00	7.90	203.20	164.30
10"	273.00	9.90	253.20	204.80
12"	323.00	11.70	299.60	242.30

Diámetro (pulg.)	Diámetro exterior (mm.)	Espesor (mm.)	Diámetro interior (mm.)	Longitud de campana (mm.)
PN-10 (10Kgs/cm2)				
1/2"	21.00	1.80	17.40	15.80
3/4"	26.50	1.80	22.90	19.90
1"	33.00	1.80	29.40	24.80
1 1/4"	42.00	2.00	38.00	31.50
1 1/2"	48.00	2.30	43.40	36.00
2"	60.00	2.90	54.20	45.00
2 1/2"	73.00	3.50	66.00	54.80
3"	88.50	4.20	80.10	66.40
4"	114.00	5.40	103.20	85.50
6"	168.00	8.00	152.00	126.00
8"	219.00	10.40	198.20	164.30
10"	273.00	13.00	247.00	204.80
12"	323.00	15.40	292.20	242.30

Diámetro (pulg.)	Diámetro exterior (mm.)	Espesor (mm.)	Diámetro interior (mm.)	Longitud de campana (mm.)
PN-15 (15Kgs/cm2)				
2"	60.00	4.20	51.60	45.00
2 1/2"	73.00	5.10	62.80	54.80
3"	88.50	6.20	76.10	66.40
4"	114.00	8.00	98.00	85.50
6"	168.00	11.70	114.60	126.00
8"	219.00	15.30	188.40	164.30
10"	273.00	19.00	235.00	204.80
12"	323.00	22.50	278.00	242.30

### CONEXIONES PARA FLUIDOS A PRESIÓN - SIMPLE PRESIÓN - EMPALME ROSCADO

NTP: 399.019



## ANEXO 2. Catálogo de aspersor Xcel-Wobbler.

# Xcel-Wobbler® [Aspersores]



### Angulo Amplio

Nuevo diámetro  
aumentado

El Xcel-Wobbler de Senninger maximiza la superficie de cobertura. Su acción rotativa oscilante provee una cobertura extremadamente uniforme a bajas presiones con una pérdida muy baja por evaporación.

#### CARACTERÍSTICAS:

- El diseño de contrabalanceo produce un rendimiento suave y estable
- Una sola parte móvil para mayor vida útil
- Tamaños de entradas M NPT 3/4" ó 1/2"
- Caudales: 0.78 a 6.97 gpm [177 a 1583 L/hr]
- Baja deriva por viento y baja pérdida por evaporación a bajas presiones
- Garantía de dos años en materiales, mano de obra y rendimiento
- Boquillas codificadas por color para fácil identificación de tamaño; con garantía de mantenimiento del tamaño correcto de orificio durante cinco años.



### Angulo Medio

¡Nuevo aspecto y diseño  
más resistente!



El Xcel-Wobbler provee máxima superficie de cobertura en aplicaciones subfoliares y aspersión foliar en viveros.



# Aspersores] Xcel-Wobbler®

**VISTA SUPERIOR**

Aspersión  
fija

Xcel-  
Wobbler  
[Angulo  
amplio]

Aspersores  
accionados a  
chorro de agua

La superficie mayor de aplicación instantánea del Xcel-Wobbler minimiza el impacto sobre la estructura del suelo, ayudando a mantener la capacidad de infiltración.



Presión en la base del aspersor [psi]	10	15	20	25	[bar]	0.69	1.03	1.38	1.72
<b>Boquilla #6 - Dorada [3/32"]</b>					<b>Boquilla #6 - Dorada [2.38mm]</b>				
Caudal [gpm]	0.78	0.95	1.10	1.23	Caudal [L/hr]	177	216	250	279
HA Diám. a 1.5' alt [pies]	36.5	41.0	45.0	46.0	HA Diám. a 0.46m alt [m]	11.1	12.5	13.7	14.0
MA Diám. a 1.5' alt [pies]	32.0	35.0	38.5	41.0	MA Diám. a 0.46m alt [m]	9.8	10.7	11.7	12.5
<b>Boquilla #7 - Lima [7/64"]</b>					<b>Boquilla #7 - Lima [2.78mm]</b>				
Caudal [gpm]	1.06	1.30	1.50	1.68	Caudal [L/hr]	241	295	341	382
HA Diám. a 1.5' alt [pies]	40.0	46.5	47.0	50.5	HA Diám. a 0.46m alt [m]	12.2	14.2	14.3	15.4
MA Diám. a 1.5' alt [pies]	33.0	36.5	40.5	41.0	MA Diám. a 0.46m alt [m]	10.1	11.1	12.4	12.5
<b>Boquilla #8 - Lavanda [1/8"]</b>					<b>Boquilla #8 - Lavanda [3.18mm]</b>				
Caudal [gpm]	1.40	1.71	1.98	2.21	Caudal [L/hr]	318	388	450	502
HA Diám. a 1.5' alt [pies]	42.0	46.5	47.0	51.5	HA Diám. a 0.46m alt [m]	12.8	14.2	14.3	15.7
MA Diám. a 1.5' alt [pies]	34.0	38.5	41.0	42.5	MA Diám. a 0.46m alt [m]	10.4	11.7	12.5	13.0
<b>Boquilla #9 - Gris [9/64"]</b>					<b>Boquilla #9 - Gris [3.57mm]</b>				
Caudal [gpm]	1.80	2.20	2.54	2.84	Caudal [L/hr]	409	500	577	645
HA Diám. a 1.5' alt [pies]	44.0	47.0	50.5	52.5	HA Diám. a 0.46m alt [m]	13.4	14.3	15.4	16.0
MA Diám. a 1.5' alt [pies]	34.5	40.5	42.0	43.0	MA Diám. a 0.46m alt [m]	10.5	12.4	12.8	13.1
<b>Boquilla #10 - Turquesa [5/32"]</b>					<b>Boquilla #10 - Turquesa [3.97mm]</b>				
Caudal [gpm]	2.22	2.72	3.14	3.51	Caudal [L/hr]	504	618	713	797
HA Diám. a 1.5' alt [pies]	44.5	49.0	50.5	53.5	HA Diám. a 0.46m alt [m]	13.6	14.9	15.4	16.3
MA Diám. a 1.5' alt [pies]	36.0	41.0	42.5	44.0	MA Diám. a 0.46m alt [m]	11.0	12.5	13.0	13.4
<b>Boquilla #11 - Amarilla [1 1/64"]</b>					<b>Boquilla #11 - Amarilla [4.37mm]</b>				
Caudal [gpm]	2.69	3.30	3.81	4.26	Caudal [L/hr]	611	749	865	968
HA Diám. a 1.5' alt [pies]	44.5	50.5	51.5	54.0	HA Diám. a 0.46m alt [m]	13.6	15.4	15.7	16.5
MA Diám. a 1.5' alt [pies]	36.0	41.5	43.0	44.0	MA Diám. a 0.46m alt [m]	11.0	12.7	13.1	13.4
<b>Boquilla #12 - Roja [3/16"]</b>					<b>Boquilla #12 - Roja [4.76mm]</b>				
Caudal [gpm]	3.23	3.96	4.57	5.11	Caudal [L/hr]	734	899	1038	1161
HA Diám. a 1.5' alt [pies]	46.0	50.5	52.0	54.5	HA Diám. a 0.46m alt [m]	14.0	15.4	15.9	16.6
MA Diám. a 1.5' alt [pies]	36.5	41.5	44.5	44.5	MA Diám. a 0.46m alt [m]	11.1	12.7	13.6	13.6
<b>Boquilla #13 - Blanca [13/64"]</b>					<b>Boquilla #13 - Blanca [5.16mm]</b>				
Caudal [gpm]	3.80	4.65	5.38	6.01	Caudal [L/hr]	863	1056	1222	1365
HA Diám. a 1.5' alt [pies]	46.5	51.0	52.5	55.5	HA Diám. a 0.46m alt [m]	14.2	15.6	16.0	16.9
MA Diám. a 1.5' alt [pies]	36.5	41.5	44.5	45.0	MA Diám. a 0.46m alt [m]	11.1	12.7	13.6	13.7
<b>Boquilla #14 - Azul [7/32"]</b>					<b>Boquilla #14 - Azul [5.56mm]</b>				
Caudal [gpm]	4.40	5.39	6.23	6.97	Caudal [L/hr]	999	1224	1415	1583
HA Diám. a 1.5' alt [pies]	47.0	51.0	53.0	55.5	HA Diám. a 0.46m alt [m]	14.3	15.6	16.2	16.9
MA Diám. a 1.5' alt [pies]	37.0	42.5	45.0	46.5	MA Diám. a 0.46m alt [m]	11.3	13.0	13.7	14.2

El rendimiento de los aspersores puede variar en condiciones reales de campo. Hay otros tamaños de boquillas disponibles; consultar a fábrica por datos específicos de rendimiento. Las alturas de los chorros varían entre 2.5 y 5.5 pies (0.8 a 1.7 m) por sobre la boquilla dependiendo de la presión y el tamaño de la boquilla. La altura mínima recomendada del elevador es de 1.5 pies (0.46 m). Nota: SA=Angulo Estandar, LA=Angulo Bajo

**ANEXO 3.** Catálogo de tubería Polietileno de Alta Densidad - Tigre.**Polietileno de  
Alta Densidad****Características y propiedades del Polietileno de Alta Densidad**

PROPIEDAD	UNIDAD	PE - 80	PE - 100
Densidad	Gr. / Cm <sup>3</sup>	0.948-0.956	0.957-0.961
Índice de Fluidez (MFR) 190°C/ 5 Kg	Gr. / 10 min	0.5	0.40
Contenido Negro de Humo	%	2.0-2.5	2.0-2.5
Resistencia a la Tracción	MPa	20-23	23-25
Resistencia a la Flexión	MPa	18	23.00
Módulo Tensil	MPa	1000	900.00
Tensión de Diseño ( $\sigma$ )	MPa	6.3	8.00
Mínimo Esfuerzo Requerido (MRS)	MPa	>8	>10
Alargamiento de Rotura	%	>600	>600
Coefficiente de dilatación lineal	mm/m°C	0.17-0.20	0.20
Temperatura de fragilidad	°C	<-70	<-70
Dureza Shore a 20°C	Escala D	61	61

**Resistencia a los Productos Químicos**

La resistencia del Polietileno de Alta Densidad a las sustancias químicas ha sido evaluada en diferentes trabajos con éxito total. La resistencia ha sido evaluada en función del comportamiento de una probeta de HDPE sumergida en el fluido en mención a 20°C y 60°C.

La evaluación final está esquematizada de la siguiente manera según la tabla:

LEYENDA	EVALUACIÓN	HINCHAMIENTO	PÉRDIDA DE CARGA	ALARGAMIENTO A LA ROTURA
S	SATISFACTORIO	< 3%	< 0.5%	INVARIABLE
L	LIMITADO	3 – 8 %	0.5 – 5 %	DISMINUCIÓN<50%
NS	NO SATISFACTORIO	> 8%	> 5%	DISMINUCIÓN>50%

## Tubos PEAD bajo la norma ASTM D-3035, norma F714, PE-4710

PE 4710	SDR 17		SDR 21		SDR 26		SDR 32.5		SDR 41	
	128 PSI (PN9)		100 PSI (PN7)		85 PSI (PN6)		57 PSI (PN4)		43 PSI (PN3)	
Diámetro Nominal (mm)	Espesor (mm)	Peso (Kg / m)	Espesor (mm)	Peso (Kg / m)	Espesor (mm)	Peso (Kg / m)	Espesor (mm)	Peso (Kg / m)	Espesor (mm)	Peso (Kg / m)
1/2"	1.57	0.08	1.57	0.11	1.57	0.11	1.57	0.11	-	-
3/4"	1.57	0.10	1.57	0.14	1.57	0.14	1.57	0.14	-	-
1"	1.96	0.16	1.60	0.14	1.57	0.17	1.57	0.17	-	-
1 1/4"	2.49	0.24	2.01	0.21	1.63	0.23	1.57	0.22	-	-
1 1/2"	2.84	0.31	2.29	0.26	1.85	0.30	1.57	0.26	-	-
2"	3.56	0.47	2.87	0.40	2.31	0.45	1.85	0.37	-	-
3"	5.23	1.00	4.24	0.82	3.43	0.95	2.74	0.78	2.16	0.57
4"	6.73	1.66	5.44	1.35	4.39	1.54	3.51	1.25	2.79	0.94
5"	8.31	2.52	6.73	2.06	5.44	2.36	4.34	1.9	3.45	1.43
6"	9.91	3.59	8.00	2.92	6.48	3.34	5.18	2.69	4.11	2.03
8"	12.88	6.07	10.44	4.96	8.43	5.66	6.73	4.55	5.33	3.43
10"	16.05	9.43	13.00	7.69	10.49	8.78	8.41	7.1	6.65	5.34
12"	19.05	13.27	15.42	10.83	12.45	12.35	9.96	9.96	7.87	7.49
14"	20.93	16.03	16.94	13.08	13.67	14.92	10.95	12.05	8.66	9.06
16"	23.9	20.92	19.35	17.08	15.62	19.48	12.5	15.71	9.91	11.85
18"	26.9	26.49	21.77	21.629	17.58	24.66	14.07	19.89	11.15	15.00
20"	29.87	32.68	24.18	26.68	19.53	30.43	15.62	24.55	12.40	18.54
22"	32.87	39.55	26.62	32.32	21.49	36.84	16.94	29.32	13.64	22.43
24"	35.86	47.06	29.03	50.85	23.44	43.84	18.75	35.37	14.86	26.66
26"	38.84	72.83	31.45	59.67	25.40	48.66	20.32	39.24	16.10	31.29
28"	41.83	84.47	33.86	69.19	37.36	56.43	21.89	45.53	17.35	36.32
30"	44.83	96.99	36.30	79.47	29.31	64.78	23.44	52.23	18.59	41.69
32"	47.8	110.32	38.71	90.40	31.27	73.72	25.02	59.46	19.81	47.39
34"	50.8	124.57	41.12	102.03	33.22	83.23	26.57	67.09	21.06	53.53
36"	53.8	139.68	43.54	114.39	35.18	93.31	28.14	75.24	22.30	60.01
42"	62.76	190.10	50.80	155.70	41.02	126.94	32.82	102.36	26.01	81.66
48"	71.73	-	58.06	-	46.89	-	37.52	-	29.74	-

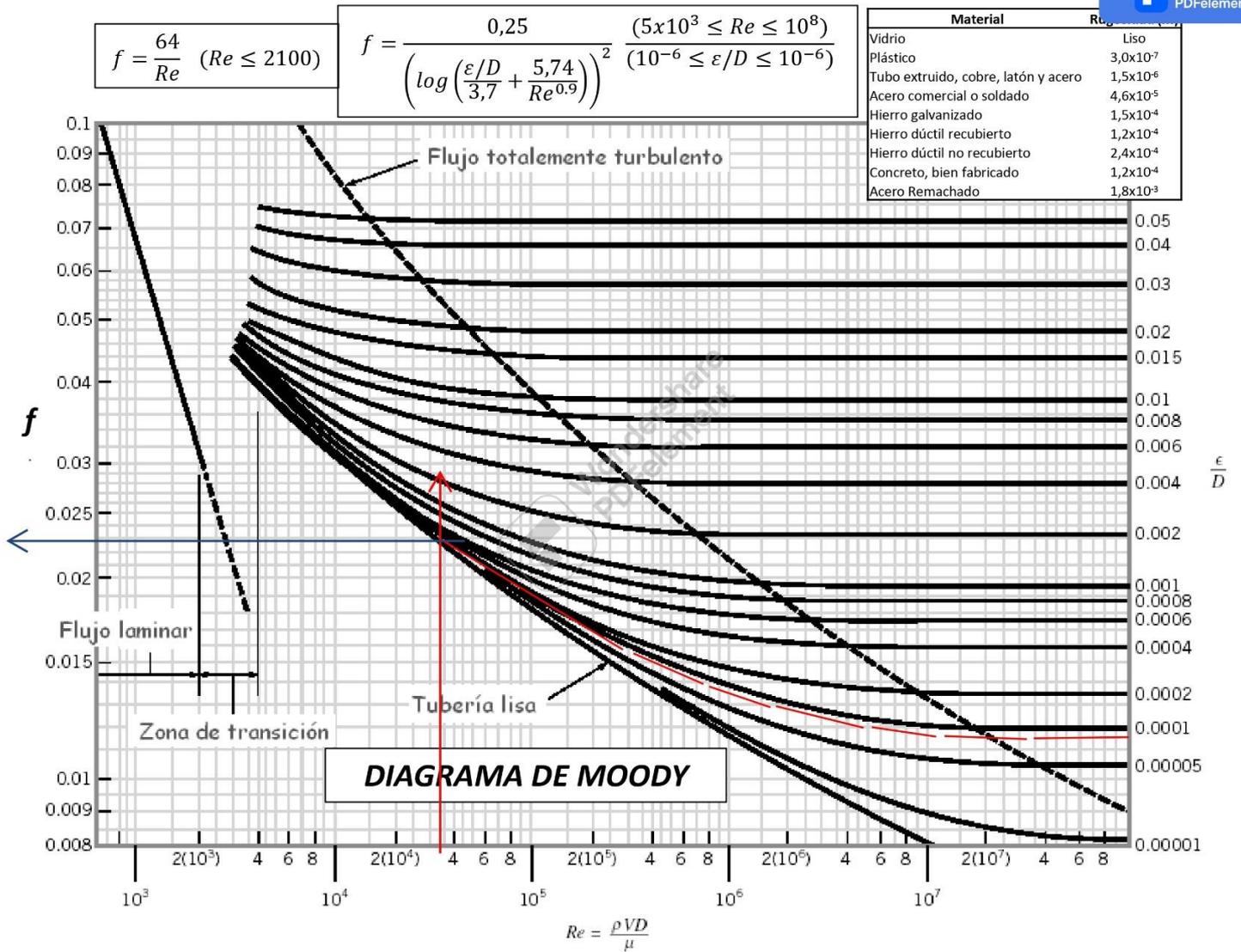
• Para otros diámetros y SDR consultar con Asistencia Técnica.

### ANEXO 4. Coeficiente de arrastre típicos.

**TABLA 17.1** Coeficientes de arrastre típicos

Forma del cuerpo	Orientación	$C_D$	
Placa rectangular El flujo es perpendicular a la cara frontal plana.		$a/b$	
		1	1.16
		4	1.17
		8	1.23
		12.5	1.34
		25	1.57
		50	1.76
$\infty$	2.00		
Discos en tándem $L$ = espaciamiento $d$ = diámetro		$L/d$	
		1	0.93
		1.5	0.78
		2	1.04
Un disco circular		1.11	
Cilindro $L$ = longitud $d$ = diámetro		$L/d$	
		1	0.91
		2	0.85
		4	0.87
Copa hemisférica, abierta hacia atrás		0.41	
Copa hemisférica, abierta hacia el frente		1.35	
Cono, base cerrada		0.51	
		0.34	

**ANEXO 5.** Diagrama de moody.





**Tabla 2. Resistencia de Valvulas y acoplamientos expresada como longitud equivalente en diametros de tuberia**

<b>Tipo</b>	<b>(L/D)<sub>eq</sub></b>
Valvula Globo Abierta por completo	340
Valvula de angulo Abierta por completo	150
Valvula de compuerta abierta por completo	8
3/4 Abierta	35
1/2 Abierta	160
1/4 Abierta	900
Valvula de Verificacion Tipo giratorio	100
Valvula de verificacion Tipo Bola	150
Valvula Mariposa Abierta por completo de 2 a 8 pulgadas	45
10 a 14 pulgadas	35
16 a 24 pulgadas	25
Valvula de pie tipo disco de vastago	420
Valvula de pie tipo disco de bisagra	75
Codo estandar de 90°	30
Codo a 90° de radio largo	20
Codo roscado de 90°	50
Codo estandar de 45°	16
Codo roscado de 45°	26
Vuelta Cerrada de Retorno	50
Te estandar con flujo directo	20
Te estandar con flujo en el ramal	60

## ANEXO 6. Propiedades del Agua.

**TABLA A.1** Unidades del SI [101 kPa (abs)]

Temperatura (°C)	Peso específico $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad dinámica $\eta$ (Pa·s)	Viscosidad cinemática $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)
0	9.81	1000	$1.75 \times 10^{-3}$	$1.75 \times 10^{-6}$
5	9.81	1000	$1.52 \times 10^{-3}$	$1.52 \times 10^{-6}$
10	9.81	1000	$1.30 \times 10^{-3}$	$1.30 \times 10^{-6}$
15	9.81	1000	$1.15 \times 10^{-3}$	$1.15 \times 10^{-6}$
20	9.79	998	$1.02 \times 10^{-3}$	$1.02 \times 10^{-6}$
25	9.78	997	$8.91 \times 10^{-4}$	$8.94 \times 10^{-7}$
30	9.77	996	$8.00 \times 10^{-4}$	$8.03 \times 10^{-7}$
35	9.75	994	$7.18 \times 10^{-4}$	$7.22 \times 10^{-7}$
40	9.73	992	$6.51 \times 10^{-4}$	$6.56 \times 10^{-7}$
45	9.71	990	$5.94 \times 10^{-4}$	$6.00 \times 10^{-7}$
50	9.69	988	$5.41 \times 10^{-4}$	$5.48 \times 10^{-7}$
55	9.67	986	$4.98 \times 10^{-4}$	$5.05 \times 10^{-7}$
60	9.65	984	$4.60 \times 10^{-4}$	$4.67 \times 10^{-7}$
65	9.62	981	$4.31 \times 10^{-4}$	$4.39 \times 10^{-7}$
70	9.59	978	$4.02 \times 10^{-4}$	$4.11 \times 10^{-7}$
75	9.56	975	$3.73 \times 10^{-4}$	$3.83 \times 10^{-7}$
80	9.53	971	$3.50 \times 10^{-4}$	$3.60 \times 10^{-7}$
85	9.50	968	$3.30 \times 10^{-4}$	$3.41 \times 10^{-7}$
90	9.47	965	$3.11 \times 10^{-4}$	$3.22 \times 10^{-7}$
95	9.44	962	$2.92 \times 10^{-4}$	$3.04 \times 10^{-7}$
100	9.40	958	$2.82 \times 10^{-4}$	$2.94 \times 10^{-7}$

ANEXO 7. Matriz de consistencia

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
BOMBRA DE ARIETE HIDRÁULICO	El autor Enríquez (2017) define a la <b>BOMBRA DE ARIETE HIDRÁULICO</b> como: Una bomba de ariete es una bomba hidráulica cíclica desprovista de motor que utiliza la energía cinética de un golpe de ariete sobre un fluido para subir una parte de ese fluido a un nivel. Superior.	Esta <b>BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO</b> será medido con un experimento.	<p>1) <b>Pre-test.</b> - Se medirá la existencia del <b>RECURSO HÍDRICO</b> a través de un cuestionario antes del experimento para demostrar que su existencia es escasa en el terreno agrícola.</p> <p>2) <b>Experimento.</b> - Se hará el experimento (El diseño e implementación de la <b>BOMBRA DE ARIETE HIDRÁULICO</b>) en sus dos etapas.</p> <p>3) <b>Post-test.</b> - Se medirá la existencia del <b>RECURSO HÍDRICO</b> después del experimento para demostrar que está ahora es buena en terreno agrícola y el experimento dio resultado.</p>	<p>- Pre-test: El recurso hídrico escaso en terreno agrícola. Caudal: de 0 a 6.25 l/min</p> <p>- Experimento: Segunda etapa según La válvula de impulsión (Nº Golpes) y caudal (l/min).</p> <p>- Post-test: El recurso hídrico en el terreno agrícola a veces existe, si existe en terreno agrícola y el experimento dio resultado.</p>
RECURSO HÍDRICO	El autor Rodríguez (2012) define a la <b>RECURSO HÍDRICO</b> como: todas las aguas existentes en un territorio, disponibles para su interacción con el ser humano.	Este <b>RECURSO HÍDRICO</b> será medido con un cuestionario antes y después.		

**ANEXO 8.** Panel fotográfico de la investigación desarrollada.

En la fotografía se aprecia el área agrícola



En la foto se aprecia la fuente de agua que se aprovechara



En la foto se observa el proceso de la implementación de la bomba de ariete



El la foto se observa la captacion de agua



En la foto observamos que hasta la posición donde nos encontramos de  
bombeara el agua



En la foto observamos el funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico



El la foto se aprecia la socializacion el proyecto con la autoridades y pobladores



En la foto se aprecia es uso del agua en riego



En la foto apreciamos el terreno agrícola regado por el agua bombeado



Aspeersor utilizado para riego



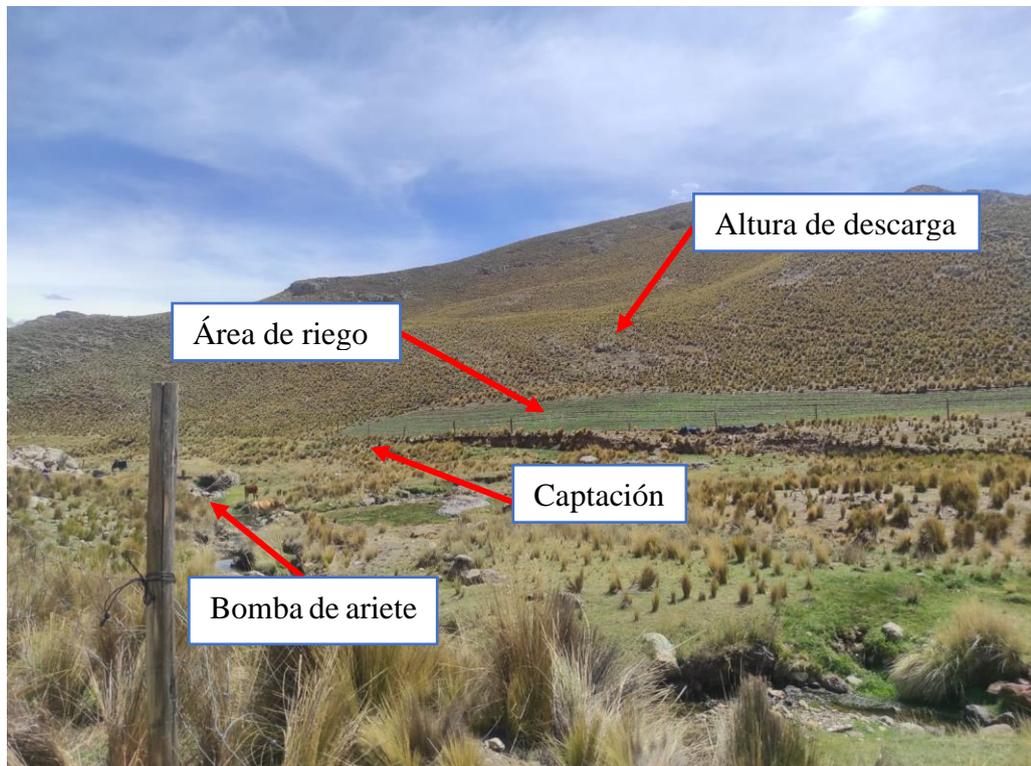
En la fotografía se aprecia el terreno agrícola bajo riego, con retoño de pasto  
cultivado



En la fotografía se muestra el diametro de riego



Fotografía de ubicación de componentes del sistema de bombeo con ariete  
hidraulico





## ANEXO 9. Hoja de consentimiento informado



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA



### CONSENTIMIENTO INFORMADO

El propósito de esta ficha de consentimiento es proveer al participante en esta investigación con una clara explicación de la naturaleza de la misma, así como de su rol en ella como participante.

La presente investigación es conducida por Bach. Magno Nayhua Charca, de la Universidad Nacional del Altiplano. La meta de este estudio es el Diseño e implementación de un sistema de bombeo con ariete hidráulico para aprovechar recurso hídrico en el terreno agrícola del distrito de Llalli – Melgar – Puno.

Si usted accede a participar en este estudio, de le pedirá responder algunas preguntas y/o cuestionarios. Esto tomara aproximadamente 5 minutos, antes de la implementación del sistema de bombeo con ariete y después de la implementación.

La participación en el presente estudio es estrictamente voluntaria. La información que se recoja será confidencial y no se usara para ningún otro propósito fuera de los de esta investigación. Sus respuestas al cuestionario serán codificadas usando un número de identificación.

Si tiene alguna duda sobre este proyecto de investigación, puede hacer preguntas en cualquier momento durante su participación en el. Igualmente, puede retirarse del proyecto en cualquier momento sin que eso lo perjudique en ninguna forma. Si alguna de las preguntas durante la participación del mismo le parece incomoda, tiene usted el derecho de hacérselo saber al investigador o de no responderla.

Desde ya le agradecemos su participación.

---

Acepto participar voluntariamente en esta investigación, conducida por el Bach. Magno Nayhua Charca. He sido informado(a) de la meta de este estudio Diseño e implementación de un sistema de bombeo con ariete hidráulico para aprovechar recurso hídrico en el terreno agrícola del distrito de Llalli - Melgar - Puno.

MARTÍN CHIPANA VILCHEZ.  
Nombre del Participante

Firma del Participante



**ANEXO 10.** Hoja de cuestionario pre-test y post-test

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO</b>		
<b>FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA</b>			
<b>HOJA DE CUESTIONARIO - PRE - TEST</b>			
<b>AL POBLADOR BENEFICIARIO DE LA INVESTIGACION</b>			
Se medirá la existencia del recurso hídrico en el terreno agrícola Caudal de: 0 - 6.25 l/min			
<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS:</b>			
1.- Describir el recurso hídrico en el terreno agrícola del sector de buena vista, antes del diseño e implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico.			
2.- Determinar el diseño e implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico para un óptimo funcionamiento de la válvula de impulsión y aprovechar un caudal superior a 6.25 l/min.			
3.- Describir el recurso hídrico en el terreno agrícola del sector de buena vista, después del diseño e implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico.			
muy de acuerdo	5		
de acuerdo	4		
ni de acuerdo, ni en desacuerdo	3		
en desacuerdo	2		
muy en desacuerdo	1		

N°	ITEMS	1	2	3	4	5
1.-	Existe el recurso hídrico en el terreno agrícola, siendo este con un caudal superior a 6.25 l/min.	X				
2.-	El recurso hídrico es utilizado para riego de pastos mejorados en la zona de investigación.	X				
3.-	La implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico aprovecha el recurso hídrico del río winipalcca para el uso en terreno agrícola			X		
4.-	La implementación del sistema de bombeo con ariete hidráulico es económicamente accesible a las condiciones económicas del poblador rural.			X		

Nombre y firma del participante



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA



HOJA DE CUESTIONARIO - *POST-TEST*  
AL POBLADOR BENEFICIARIO DE LA INVESTIGACION

Se medira la existencia del recurso hidrico en el terreno agricola  
Caudal de: 0 - 6.25 l/min

**OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- 1.- Describir el recurso hidrico en el terreno agricola del sector de buena vista, antes del diseño e implementación del sistema de bombeo con ariete hidraulico.
- 2.- Determinar el diseño e implementación del sistema de bombeo con ariete hidraulico para un óptimo funcionamiento de la valvula de impulsión y aprovechar un caudal superior a 6.25 l/min.
- 3.- Describir el recurso hidrico en el terreno agricola del sector de buena vista, despucs del diseño e implementación del sistema de bombeo con ariete hidraulico.

muy de acuerdo	5
de acuerdo	4
ni de acuerdo, ni en desacuerdo	3
en desacuerdo	2
muy en desacuerdo	1

Nº	ITEMS	1	2	3	4	5
1.-	Existe el hecurso hidrico en el terreno agricola, siendo este con un caudal superior a 6.25 l/min.					X
2.-	El recurso hidrico es utilizado para riego de pastos mejorados en la zona de investigacion.					X
3.-	La implementación del sistema de bombeo con ariete hidraulico aprovecha el recurso hidrico del rio winipalcca para el uso en terreno agricola					X
4.-	La implementación del sistema de bombeo con ariete hidraulico es economicamente accesible a las condiciones economicas del poblador rural.				X	

  
Nombre y firma del participante

**ANEXO 11.** Hoja de experimento de la válvula de impulso



**HOJA DE EXPERIMENTO DE LA VALVULA DE IMPULSION**  
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA**



Ensayo: 1	Valvulas: 1	Peso: 1 Kg	Carrera: 10 m m						
FACTORES HIDRAULICOS DE LA BOMBA DE ARIETE									
VALORES MEDIDOS		VALORES CALCULADOS							
Pruebas	Altura de suministro (m)	Caudal de descarga (litros/min)	Presion (bar)	Numero de golpes por minuto	Caudal desechado (litros/min)	Caudal suministro (litros/min)	Altura de descarga (m)	Rendimiento volumetrico (%)	Eficiencia (%)
1	4.07	6.60	1.2	83	37.55	44.15	12	14.95	44.08
2	4.07	2.79	1.6	83	37.55	40.374	16	6.92	27.19
3	4.07	2.14	1.8	83	37.55	39.69	20	5.39	26.50
Observaciones del ensayo:									



**HOJA DE EXPERIMENTO DE LA VALVULA DE IMPULSION**  
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA**



Ensayo: 2	Valvulas: 1	Peso: 1 kg	Carrera: 15 mm						
FACTORES HIDRAULICOS DE LA BOMBA DE ARIETE									
VALORES MEDIDOS									
Pruebas	Altura de suministro (m)	Caudal de descarga (litros/min)	Presion (bar)	Numero de golpes por minuto	Caudal desechado (litros/min)	Caudal de suministro (litros/min)	Altura de descarga (m)	Rendimiento volumetrico (%)	Eficiencia (%)
1	4.07	11.64	1.5	76	66.34	77.98	12	14.93	44.01
2	4.07	8.10	1.7	76	58.36	66.46	16	12.19	47.91
3	4.07	3.61	2.0	76	46.46	50.07	20	7.21	35.43
Observaciones del ensayo:									



**HOJA DE EXPERIMENTO DE LA VALVULA DE IMPULSION**  
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA**



Ensayo: 3 Valvulas: 1 Peso: 1 Kg Carrera: 20 m.m

**FACTORES HIDRAULICOS DE LA BOMBA DE ARIETE**

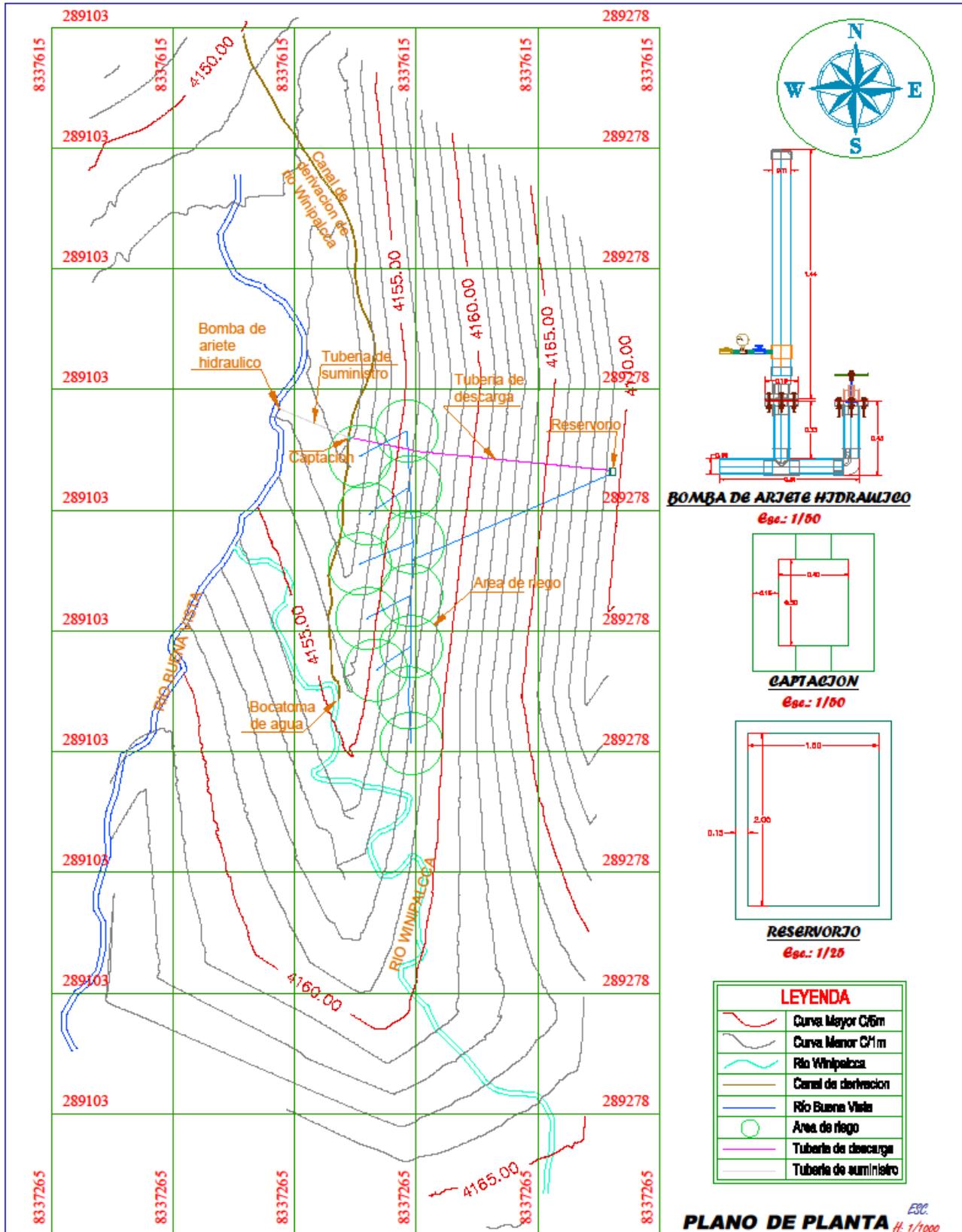
Pruebas	VALORES MEDIDOS					VALORES CALCULADOS			
	Altura de suministro (m)	Caudal de descarga (litros/min)	Presion (bar)	Numero de golpes por minuto	Caudal desechado (litros/min)	Caudal de suministro (litros/min)	Altura de descarga (m)	Rendimiento volumetrico (%)	Eficiencia (%)
1	4.07	12.72	1.6	72	79.10	91.82	12	13.85	40.84
2	4.07	9.69	1.8	72	71.54	81.23	16	11.93	46.90
3	4.07	6.19	2.1	72	65.83	72.02	20	8.59	42.24

Observaciones del ensayo:

									
HOJA DE EXPERIMENTO DE LA VALVULA DE IMPULSION UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA									
Ensayo:	4	Valvulas:	1						
		Peso:	1 Kg						
		Carrera:	30 m m						
FACTORES HIDRAULICOS DE LA BOMBA DE ARIETE									
VALORES MEDIDOS									
Pruebas	Altura de suministro (m)	Caudal de descarga (litros/min)	Presion (bar)	Numero de golpes por minuto	Caudal desechado (litros/min)	Caudal de suministro (litros/min)	Altura de descarga (m)	Rendimiento volumetrico (%)	Eficiencia (%)
1	4.07	24.49	1.2	63	152.98	177.48	12	13.80	40.69
2	4.07	15.56	1.6	63	125.90	141.47	16	11.00	43.24
3	4.07	7.41	2.1	63	90.21	97.62	20	7.59	37.30
Observaciones del ensayo:									
VALORES CALCULADOS									

ANEXO 12. Planos del sistema de bombeo con ariete hidráulico.





**PROYECTO DE TESIS:**  
"DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE BOMBEO CON  
ARIETE HIDRAULICO PARA APROVECHAR RECURSO HÍDRICO EN  
TERRENO AGRÍCOLA DEL DISTRITO DE LLALLÍ MELGAR PUNO"

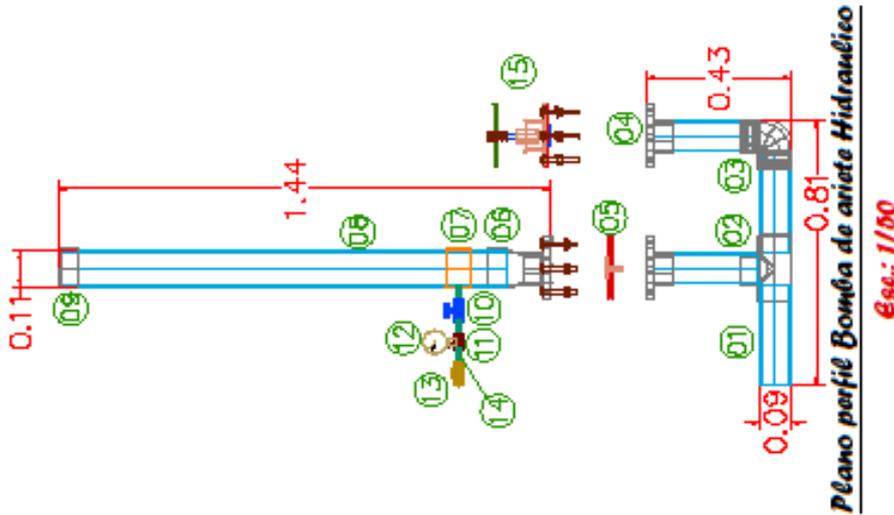
**PLANO:**  
**PLANO EN PLANTA**

<b>DIBUJO Y DISEÑO:</b> M.N.C	<b>LAMINA:</b> 02-A3	<b>REGION:</b> PUNO	<b>ESCALA:</b> INDICADA
		<b>PROVINCIA:</b> MELGAR	<b>FECHA:</b> OCTUBRE 2023
		<b>DISTRITO:</b> LLALLÍ	



**PARTES DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO**

Nº	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
01	Niple pvc de 8" x 3" s/p	und	04
02	Tee pvc de 3" s/p	und	01
03	Codo pvc de 90° de 3" s/p	und	01
04	Brida pvc de 3" s/p	und	03
05	Valvula de descarga	und	01
06	Reducción de 4 a 3 pulg s/p	und	01
07	Abrazadera de 4 pulg con salida a 1/2 pulg	und	01
08	Tuberia pvc de 12 x 4 pulg	und	01
09	Tapón hembra de 4 pulg s/p	und	01
10	Llave de paso de 1/2 pulg c/r	und	01
11	Tee hidro de 1/2 pulg c/r	und	01
12	Manómetro de glicerina 1/2 pulg	und	01
13	Valvula check bronce de 1/2 pulg c/r	und	01
14	Niple hidro de 2 x 1/2 pulg c/r	und	03
15	Valvula de impulso	und	01

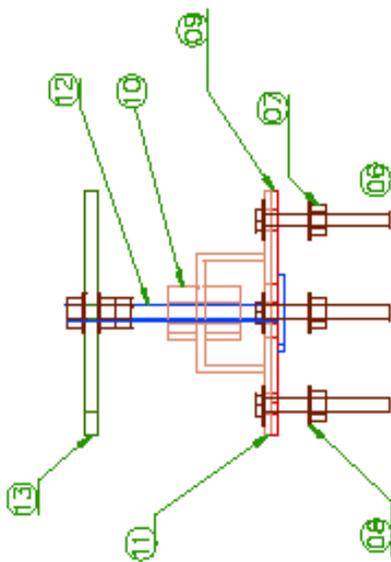


**PLANO:**  
**PARTES DE LA BOMBA  
DE ARIETE HIDRAULICO**

**PROYECTO DE TESIS:**  
"DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE BOMBEO CON  
ARIETE HIDRAULICO PARA APROVECHAR RECURSO HIDRICO EN  
TERRENO AGRICOLA DEL DISTRITO DE LLALLI MELGAR PUNO"

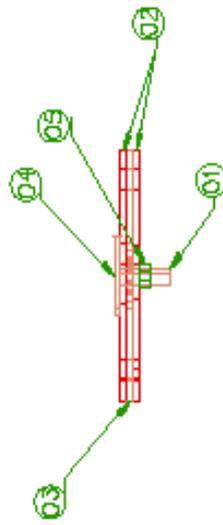
**DIBUJO Y DISEÑO:** M.N.C  
**LAMINA:** 03-A4  
**REGION:** PUNO  
**PROVINCIA:** MELGAR  
**DISTRITO:** LLALLI  
**ESCALA:** INDICADA  
**FECHA:** OCTUBRE 2023





*Plano perfil de válvula de impulso*

*Ege.: 1/200*



*Plano perfil de válvula de descarga*

*Ege.: 1/200*

**PARTES DE LA VALVULA DE IMPULSO Y DESCARGA**

Nº	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
01	Perno de 1 1/2", e=6mm	und	01
02	Empaque de jebe Ø 190 mm, e=5mm	und	02
03	Placa acero A-36 Ø 190mm e=5mm	und	01
04	Solapa acero A-36 Ø 60 mm, e=5mm	und	01
05	Tuerca Ø 6mm	und	02
06	Perno acero A-36 Ø 11mm, L=110mm	und	04
07	Tuerca hexagonal de Ø 11mm	und	08
08	Arandela diámetro Ø 11mm, e=2mm	und	10
09	Empaque de jebe Ø 190mm, e=5mm	und	01
10	Bocin Ø 3/8" e=8mm	und	01
11	Placa Acero A-36 Ø 190mm e=5mm	und	01
12	Vástago eje Ø 1/2" L=180mm A-36	und	01
13	Pesas acero A-36 Ø 190mm, e=5mm	und	01

**PROYECTO DE TESIS:**

"DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE BOMBEO CON  
ARIETE HIDRAULICO PARA APROVECHAR RECURSO HIDRICO EN  
TERRENO AGRICOLA DEL DISTRITO DE LLALLI MELGAR PUNO"

**PLANO:**

**PARTES DE LA VALVULA  
DE IMPULSO Y DESCARGA**

**DIBUJO Y DISEÑO:**  
M.N.C

**LAMINA:**  
04—A4

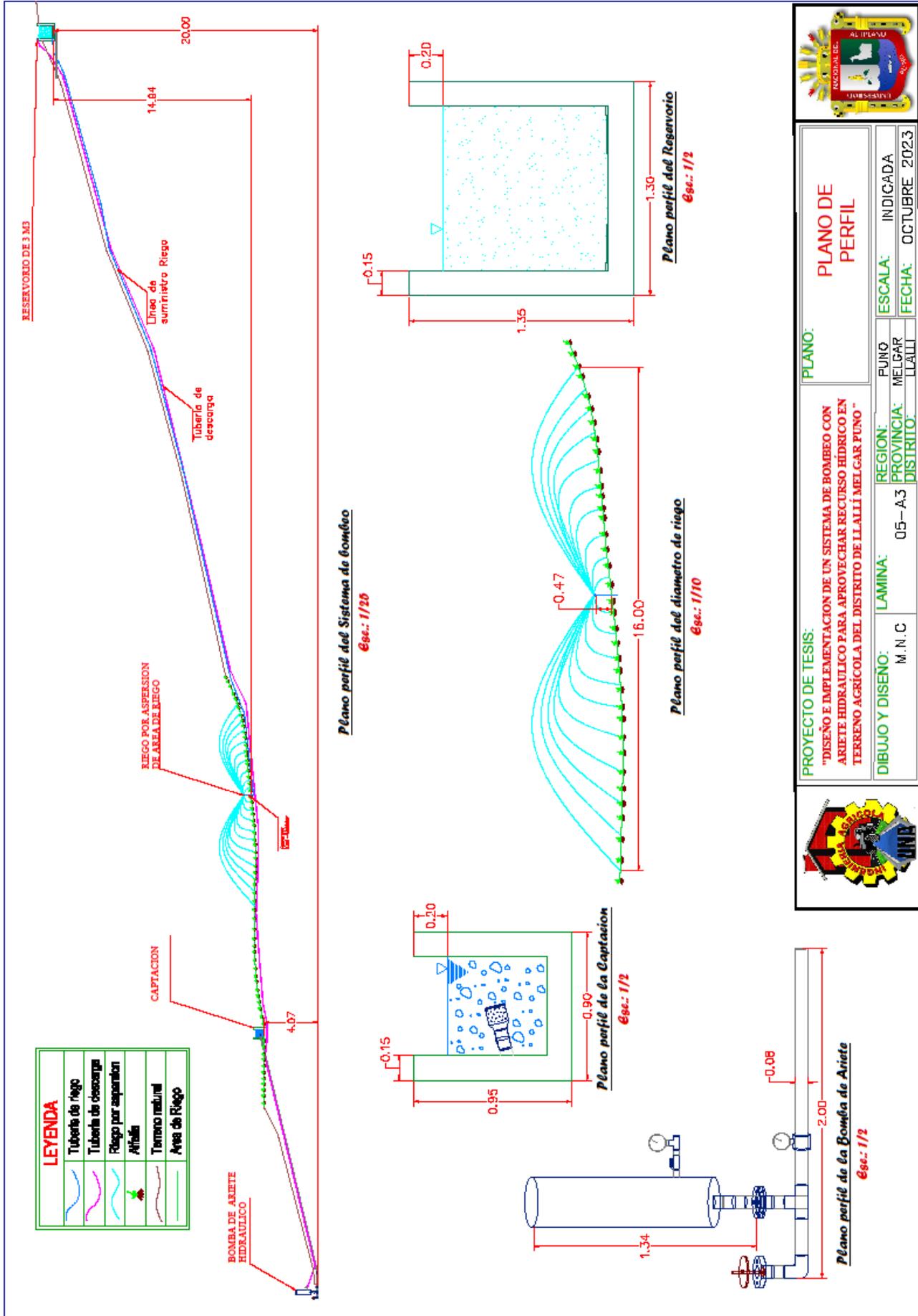
**REGION:**  
PUNO

**PROVINCIA:**  
LLALLI

**ESCALA:**  
INDICADA

**FECHA:**  
OCTUBRE 2023







### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Magno Nayhwa Charca  
identificado con DNI 70297084 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
Ingeniería Agrícola

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:  
“Diseño e implementación de un sistema de bombeo con  
arrete hidráulico para aprovechar recurso hídrico en  
terreno agrícola del distrito de Ualli Hedgar Puno”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 16 de noviembre del 2023

  
FIRMA (obligatoria)

  
Huella



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Magno Nayhwa Charca  
identificado con DNI 70297084 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Agrícola

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“Diseño e Implementación de un sistema de bombeo con ariete hidráulico para aprovechar recurso hídrico en terreno agrícola del distrito de Llalti Melgar Puno”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 16 de noviembre del 2023

  
FIRMA (obligatoria)



Huella