

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



TESIS:

**“EFICIENCIA HIDRÁULICA DE UN SISTEMA DE AGUA, PARA USO  
AGRÍCOLA, UTILIZANDO UNA BOMBA DE ARIETE MULTIGOLPE EN EL  
SECTOR SURMAYO DEL CENTRO POBLADO PÚSOC – BAMBAMARCA, 2023”**

Para optar el título profesional de:

**INGENIERO HIDRÁULICO**

Presentado por el bachiller:

**YHOIDER IVAN VASQUEZ ROJAS**

Asesorado por:

**Dr. Ing. JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE**

Cajamarca – Perú

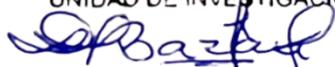
2023

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### - FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** YHOIDER IVAN VASQUEZ ROJAS  
**DNI:** 73495965  
**Escuela Profesional:** INGENIERÍA HIDRÁULICA
- Asesor:** Dr. Ing. JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE.  
**Facultad:** INGENIERÍA.
- Grado académico o título profesional**  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
- Tipo de Investigación:**  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:** EFICIENCIA HIDRÁULICA DE UN SISTEMA DE AGUA, PARA USO AGRÍCOLA, UTILIZANDO UNA BOMBA DE ARIETE MULTIGOLPE EN EL SECTOR SURMAYO DEL CENTRO POBLADO PÚSOC – BAMBAMARCA, 2023.
- Fecha de evaluación:** 23 de Octubre de 2024
- Software antiplagio:**       TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 12 %
- Código Documento:** oid:3117: 397761349
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**  
 APROBADO     PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 26 de Octubre de 2024

	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN</p>  <p>----- Dra. Ing. Laura Sofía Bazán Díaz DIRECTORA</p>
<p>FIRMA DEL ASESOR</p> <p>Nombres y Apellidos: JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE</p> <p>DNI: 26609077</p>	<p>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</p>

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a las personas que han sido fundamentales en la culminación de esta tesis.

En primer lugar, agradezco sinceramente a mi asesor, el Dr. Ing. Francisco Huamán Vidaurre, por su invaluable orientación, sabiduría y apoyo durante todo el proceso de investigación. Su compromiso y dedicación fueron esenciales para el éxito de este trabajo.

A mis amados padres, Doraliza Rojas y Mario Vasquez, les debo un agradecimiento especial por su amor incondicional, sacrificio para brindarme las oportunidades necesarias para alcanzar mis metas académicas. Gracias por creer en mí y por apoyarme incondicionalmente en cada paso que he dado.

A mis adoradas hermanas, Tatiana y Yasmin, les agradezco por ser mi fuente constante de inspiración y alegría. Su apoyo emocional y comprensión durante este arduo proceso han sido invaluable. Gracias por estar siempre a mi lado, brindándome fuerza y ánimo cuando más lo necesitaba.

También deseo agradecer a todas las personas que, de una manera u otra, contribuyeron a este proyecto, ya sea con su tiempo, conocimientos o su colaboración.

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento por su inquebrantable apoyo, comprensión y confianza en mí.

**YHOIDER IVAN VASQUEZ ROJAS**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a las personas que han sido mi inspiración y mi roca durante este viaje académico.

A mis padres, Doraliza y Mario, cuyo amor incondicional y sacrificio han sido mi fuente de fortaleza y motivación. Gracias por su apoyo constante y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles

A mis hermanas, Tatiana y Yasmin, por ser mi luz en los días oscuros, por sus palabras de ánimo y por compartir conmigo las alegrías y los desafíos de esta travesía.

A mi asesor, el Dr. Huamán Vidaurre, por su orientación experta, su paciencia y su dedicación a lo largo de este proceso de investigación.

A todos los profesores, amigos y seres queridos que han estado a mi lado, gracias por su aliento, comprensión y apoyo en cada paso del camino.

**YHOIDER IVAN VASQUEZ ROJAS**

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>II</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE FOTOS</b> .....	<b>X</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XII</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.4 ALCANCES O DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	5
1.5 LIMITACIONES .....	5
1.6 OBJETIVOS.....	6
1.6.1 Objetivo General.....	6
1.6.2 Objetivos Específicos .....	6
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>7</b>
<b>2 MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>7</b>
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	7
2.1.1 Internacionales.....	7
2.1.2 Nacionales .....	8

2.1.3	Locales.....	10
2.2	BASES TEÓRICAS .....	11
2.2.1	Requerimiento de agua para uso agrícola.....	11
2.2.2	Métodos de aforo .....	18
2.2.3	Bomba de Ariete Hidráulico.....	19
2.2.4	Ciclo hidráulico de la bomba de ariete .....	20
2.2.5	Parámetros de diseño de la bomba de ariete.....	24
2.2.6	Principio de Funcionamiento de la Bomba de Ariete.....	48
2.2.7	Bombas de ariete hidráulico multigolpe.....	49
2.2.8	Riego por aspersión .....	50
2.2.9	Textura de suelo.....	50
2.2.10	Diseño agronómico.....	51
2.2.11	Diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión .....	55
2.2.12	Eficiencia de aplicación.....	62
2.2.13	Eficiencia de almacenamiento .....	65
2.2.14	Eficiencia de conducción.....	66
2.2.15	Eficiencia de captación.....	66
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>.....</b>	<b>67</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>67</b>
3.1	MATERIALES Y MÉTODOS .....	67
3.1.1	Materiales y equipos .....	67
	UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	69
	CARACTERÍSTICAS RESALTANTES DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	71
	Ubicación.....	71
	Características geográficas .....	71

Vías de acceso .....	71
Topografía y tipo de suelo .....	72
Población: .....	72
Situación económica:.....	72
<b>3.2 METODOLOGÍA DEL TRABAJO .....</b>	<b>73</b>
3.2.1 Aforar la quebrada Tacshana, en los meses de lluvia y estiaje.....	74
3.2.2 Altura de suministro y altura de entrega, de la bomba de ariete multigolpe	76
3.2.3 Relacionar el caudal de suministro y el caudal de entrega, utilizando una bomba de ariete multigolpe.....	76
3.2.4 Eficiencia hidráulica del sistema de agua, para uso agrícola, utilizando una bomba de ariete multigolpe en el sector Surmayo .....	78
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>84</b>
<b>4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>84</b>
4.1 RESULTADOS .....	84
4.1.1 Cálculo de la demanda de agua .....	84
4.1.2 Diseño de la bomba de ariete.....	87
4.1.3 Diseño del tanque de almacenamiento .....	113
4.1.4 Textura del suelo .....	115
4.1.5 Diseño agronómico.....	116
4.1.6 Diseño hidráulico.....	118
4.1.7 Eficiencia de captación.....	120
4.1.8 Eficiencia de almacenamiento .....	120
4.1.9 Eficiencia de conducción.....	121
4.1.10 Eficiencia de aplicación.....	122

4.1.11 Eficiencia del sistema .....	127
4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	128
4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	130
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>133</b>
<b>5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>133</b>
5.1 CONCLUSIONES .....	133
5.2 RECOMENDACIONES .....	135
<b>6 ANEXOS .....</b>	<b>140</b>
6.1 ANEXO 1 .....	140
6.2 ANEXO 2 .....	140
6.3 ANEXO 3 .....	141
6.4 ANEXO 4 .....	142
6.5 ANEXO 5 .....	143
6.6 ANEXO 6 .....	144
6.7 ANEXO 7 .....	144
6.8 ANEXO 8 .....	145
6.9 ANEXO 9 .....	146
6.1 ANEXO 10 .....	146
6.2 ANEXO 11 .....	147

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Coeficiente de cultivos para la papa.....	16
<b>Tabla 2.</b> Determinación del factor de corrección Fc, para el cálculo de caudales por el método del flotador.....	18
<b>Tabla 3:</b> Parámetro de tipo de suelo .....	53
<b>Tabla 4:</b> Velocidad de infiltración .....	53
<b>Tabla 5:</b> Eficiencia de aplicación del agua en los sistemas de riego por aspersión.....	54
<b>Tabla 6:</b> Coeficiente de rugosidad Hazen - Willams para diferentes materiales.....	58
<b>Tabla 7:</b> Pérdidas locales en función al diámetro en tuberías de HDPE .....	58
<b>Tabla 8:</b> Percolación profunda para diferentes valores de uniformidad de distribución en riego por aspersión .....	65
<b>Tabla 9.</b> Eficiencia de aplicación.....	65
<b>Tabla 10:</b> Muestras de textura de suelo en el sector Surmayo .....	115
<b>Tabla 11:</b> Eficiencia de la captación.....	120
<b>Tabla 12:</b> Cálculo del caudal de los aspersores .....	123
<b>Tabla 13:</b> Lámina recogida en el recipiente .....	125
<b>Tabla 14:</b> Eficiencia y rendimiento volumétrico de la bomba de ariete hidráulico con tres válvulas de impulso, con diferentes caudales de suministro. ....	128
<b>Tabla 15:</b> Resultados del diseño agronómico.....	140

<b>Tabla 16:</b> Aforos de la quebrada Tacshana en el sector Surmayo – Púsoc – Bambamarca .....	140
<b>Tabla 17:</b> Parámetros de la bomba de ariete con 3 válvulas de impulsión .....	145
<b>Tabla 18:</b> Diámetros de tubería para laterales .....	146
<b>Tabla 19:</b> Eficiencia hidráulica del sistema.....	146

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Coeficiente de cultivo .....	16
<b>Figura 2:</b> Periodo de aceleración .....	21
<b>Figura 3:</b> Entrega o bombeo .....	21
<b>Figura 4:</b> Periodo de retroceso .....	22
<b>Figura 5:</b> Representación gráfica de los periodos .....	23
<b>Figura 6:</b> Ecuación de Bernoulli.....	37
<b>Figura 7:</b> Presión máxima y mínimo .....	45
<b>Figura 8:</b> Principios fundamentales de la bomba de ariete.....	49
<b>Figura 9:</b> Bomba de ariete multgolpe.....	50
<b>Figura 10:</b> Mapa geográfico del Perú .....	69
<b>Figura 11:</b> Mapa departamental, provincial y distrital .....	70

<b>Figura 12:</b> Ubicación de la zona de investigación – Sector Surmayo del Centro Poblado Púsoc – Bambamarca.....	70
<b>Figura 13:</b> Datos obtenidos para la Eto, mediante el software CROPWAT 8.0 .....	85
<b>Figura 14:</b> Datos obtenidos para la precipitación.....	85
<b>Figura 15:</b> Dimensiones de la tubería de suministro y entrega .....	90
<b>Figura 16:</b> Pérdidas locales de los accesorios .....	92
<b>Figura 17:</b> Caudal para alimentar la bomba de ariete.....	94
<b>Figura 18:</b> Área de salida de la válvula de impulsos .....	95
<b>Figura 19:</b> Válvula con pesas por encima .....	97
<b>Figura 20:</b> Altura desarrollada por la bomba de ariete .....	102
<b>Figura 21:</b> Peso de la pesa.....	107
<b>Figura 22:</b> peso del jebe de caucho .....	108
<b>Figura 23:</b> Volumen de la cámara de aire.....	111
<b>figura 24:</b> Dimensiones del tanque de almacenamiento .....	114

## ÍNDICE DE FOTOS

<b>Foto 1:</b> Reconocimiento de campo en el sector Surmayo del centro poblado Púsoc - Bambamarca.....	73
<b>Foto 2:</b> Levantamiento topográfico de la zona beneficiada por irrigación y de la quebrada Tacshana.....	74
<b>Foto 3:</b> Aforo de la quebrada Tacshana mediante el método del flotador.....	75
<b>Foto 4:</b> Selección de la bomba de ariete multigolpe.....	76
<b>Foto 5:</b> Aforo del caudal de suministro por el método volumétrico.....	77
<b>Foto 6:</b> Caudal de entrega de la bomba de ariete multigolpe.....	78
<b>Foto 7:</b> Textura de suelo.....	80
<b>Foto 8:</b> Ubicación de la captación para la bomba de ariete multigolpe.....	83

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de abastecer con agua a los cultivos de papa en el sector Surmayo del centro poblado Púsoc – Bambamarca, aprovechando un fenómeno físico conocido en la ingeniería hidráulica como golpe de ariete, el objetivo de la investigación es: analizar la eficiencia hidráulica de un sistema de agua, para uso agrícola, utilizando una bomba de ariete multigolpe. Para realizar el diseño de la bomba de ariete hidráulico multigolpe y del riego por aspersión, se hizo un previo levantamiento topográfico, el que nos permite determinar el área de riego y en función a las cotas del terreno, se determinará la altura de suministro y altura de entrega para el diseño de la bomba. Respecto al modelamiento hidráulico para aspersión, se utilizó el software Watercad, el cual nos permitió obtener las presiones en cada nudo, cabe mencionar que cada nudo representa a un aspersor, que necesita como mínimo 30 psi, para su funcionamiento. Como resultado se obtuvo que el requerimiento bruto de agua para irrigar el cultivo de papa es de 0.439 L/s, para un área de 0.84 ha. La bomba de ariete diseñada con 3 válvulas de impulsión tiene una eficiencia calculada de 78.12% y la eficiencia en campo, para el mes de setiembre de 55.12 %, la eficiencia de la captación es de 100%, la eficiencia del tanque de almacenamiento del 100%, la eficiencia de conducción del 98.7 % y la eficiencia de aplicación de 68.4%, finalmente la eficiencia hidráulica del sistema es del 37.23%.

**Palabra clave:** eficiencia del sistema de agua, bombas de ariete multigolpe, riego por aspersión.

## ABSTRACT

The present research work was carried out with the purpose of supplying water to potato crops in the Surmayo sector of the Púsoc - Bambamarca population center, taking advantage of a physical phenomenon known in hydraulic engineering as water hammer, the objective of the research is: analyze the hydraulic efficiency of a water system, for agricultural use, using a multistroke ram pump. To carry out the design of the multi-stroke hydraulic ram pump and sprinkler irrigation, a topographic survey was carried out, which allows us to determine the irrigation area and depending on the terrain levels, the supply height and height of delivery for pump design. Regarding the hydraulic modeling for sprinkler, the Watercad software was used, which allowed us to obtain the pressures in each node. It is worth mentioning that each node represents a sprinkler, which needs at least 30 psi for its operation. As a result, it was obtained that the water requirement to irrigate the potato crop is 0.439 L/s, for an area of 0.84 ha. The ram pump designed with 3 delivery valves has a calculated efficiency of 78.12% and field efficiency, for the month of September, of 55.12%, the collection efficiency is 100%, the storage tank efficiency is 100%. %, driving efficiency 98.7% and application efficiency 68.4%, finally the hydraulic efficiency of the system is 37.23%.

**Key word:** water system efficiency, multi-stroke ram pumps, sprinkler irrigation.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

La escasez de agua es una crisis global que afecta a la agricultura, un sector fundamental para la seguridad alimentaria y la estabilidad económica en todo el mundo. Esta problemática se ha intensificado en las últimas décadas debido al cambio climático, el crecimiento poblacional y la gestión inadecuada de los recursos hídricos. A nivel mundial, se estima que más de 2.000 millones de personas viven en regiones afectadas por la escasez de agua, y la agricultura, que consume aproximadamente el 70% del agua dulce global, es particularmente vulnerable a esta crisis.

En Perú, la situación es particularmente crítica debido a su diversidad geográfica y climática. Las regiones costeras y altoandinas enfrentan frecuentes períodos de estiaje y sequías severas, que impactan negativamente la producción agrícola y la seguridad alimentaria. En la región de Cajamarca, ubicada en el noreste de Perú, es conocida por su agricultura, pero en los últimos años las sequías han traído como consecuencia la reducción de las campañas agrícolas en 32,400 hectáreas. Un 11% de la superficie se ha dejado de sembrar en el periodo de estiaje, afectando directamente a la economía de los agricultores.

En este contexto, el empleo de tecnologías apropiadas como la bomba de ariete multigolpe emerge como una solución innovadora para mejorar la disponibilidad de agua en zonas rurales remotas, como el sector Surmayo del centro poblado Púsoc - Bambamarca.

El sector Surmayo del centro poblado Púsoc - Bambamarca se enfrenta a desafíos significativos en términos de acceso a agua para uso agrícola, debido a su ubicación geográfica y condiciones topográficas. En este contexto, la implementación de una bomba de ariete con tres válvulas de

impulsión, ofrece una solución, para mejorar el acceso al agua y así promover el desarrollo agrícola en la zona.

El objetivo principal de este estudio es investigar la eficiencia hidráulica de un sistema de agua para uso agrícola utilizando una bomba de ariete multigolpe en el sector Surmayo del centro poblado Púsoc - Bambamarca. Donde se busca evaluar la capacidad de la bomba de ariete para satisfacer las necesidades de riego, analizando su rendimiento en términos de caudal de agua bombeada, altura de elevación, y eficiencia. Además, se pretende identificar posibles desafíos y limitaciones en la implementación y operación del sistema, así como proponer recomendaciones para su mejora y optimización.

Este estudio está organizado en 4 capítulos: El primer capítulo proporciona una revisión de la literatura relacionada con la eficiencia del sistema (eficiencia de captación, eficiencia de la bomba de ariete, eficiencia de almacenamiento, almacenamiento de conducción y eficiencia de aplicación). El segundo capítulo describe la metodología utilizada para la recolección y análisis de datos, así como la configuración del sistema de agua. El tercer capítulo presenta los resultados obtenidos del estudio. Finalmente, el cuarto capítulo ofrece conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones.

## 1.1 Planteamiento del Problema

La falta de acceso al suministro de agua no solo resulta en una disminución significativa del estándar de vida, sino que también acarrea una serie de efectos directos, como, por ejemplo: restricciones en la utilización del recurso hídrico en actividades domésticas, suministro de agua para actividades agrícolas, que incluyen la cría de ganado y la irrigación, entre otros aspectos, (Aranguri, 2018).

En el centro poblado de Púsoc, hasta la actualidad no existe ningún proyecto de irrigación, por lo que en época de estiaje afecta negativamente a la economía de los pobladores, especialmente en la producción agrícola, ya que en estos meses desaparecen las lluvias y los cultivos de: papa, maíz, oca, olluco, entre otros, se secan debido a la escasez del agua, (Municipalidad C.P. Púsoc, 2023).

En la actualidad las bombas de ariete vienen siendo una tecnología sencilla, ecológica y eficiente, utilizada en nuestro país, con el propósito de abastecer con agua a pequeñas poblaciones, bebederos de agua, sistemas de irrigación, etc. Además, se caracteriza por: no necesitar energía eléctrica, tiene larga duración y su mantenimiento es de bajo costo, (Marin, 2021).

Teniendo problema con desabastecimiento de agua, para irrigar 0.84 ha de cultivo de papa, en el sector “El Surmayo del Centro Poblado de Púsoc – Bambamarca”, que no cuenta con los recursos económicos suficientes para la obtención de bombas eléctricas, una de las medidas más convenientes a tomar es el uso de una bomba de ariete con tres válvulas de impulsión, ya que esta zona rural cuenta con la quebrada “La Tacshana”, que proporciona agua de manera permanente durante todo el año y que cumple condiciones geomorfológicas e hidráulicas muy considerable para la instalación de dicha bomba. En esta investigación, la bomba de ariete de múltigolpe instalada, se encuentra a un desnivel de 3.5 m con las tierras de cultivo.

## **1.2 Formulación del Problema**

¿Cuál es la eficiencia hidráulica de un sistema de agua, para uso agrícola, utilizando una bomba de ariete multigolpe, en el sector Surmayo del Centro Poblado Púsoc – Bambamarca, 2023?

## **1.3 Justificación de la Investigación**

Actualmente en la zona donde se pretende realizar el estudio se aprecia una deficiencia de agua en producción agrícola del sector Surmayo del Centro Poblado Púsoc – Bambamarca, esto debido a la falta de un adecuado sistema de colección y almacenamiento; en ese sentido el desarrollo de la investigación se enmarca en el aprovechamiento del recurso hídrico mediante el diseño de una bomba de ariete multigolpe, de esta manera aprovechar la energía cinética y potencial para elevar una parte del caudal de la quebrada Tacshana, hacia un lugar de mayor altitud en donde se almacenará en un tanque, para posteriormente ser distribuida en la modalidad de riego, La modalidad de riego a utilizarse es por aspersion, ya que este tipo de riego tiene una alta eficiencia de aplicación, es adaptable a terrenos con topografía accidentada, además, los costos de instalación y mantenimiento son bajos. El uso de estas tecnologías durante la época de estiaje potenciaría la producción de cultivos y aumentaría los ingresos económicos para los beneficiarios en el sector Surmayo del centro poblado Púsoc - Bambamarca.

Finalmente, la investigación que se realiza contribuirá al desarrollo del conocimiento científico el cual estará al alcance de todos los estudiantes, profesionales que puedan desarrollar sus conocimientos buscando soluciones prácticas ya sean estos para conocimientos propios y/o proyectos sociales de desarrollo comunitario.

#### **1.4 Alcances o Delimitaciones de la Investigación**

La presente investigación se realizó en el sector Surmayo, del Centro Poblado Púsoc – Bambamarca entre los años 2023 - 2024, con la finalidad de instalar una bomba de ariete con tres válvulas de impulsión, en la quebrada Tacshana, que cuenta con flujo permanente durante todo el año y de esta manera abastecer con agua para el cultivo de papa, en una extensión de 0.84 ha, durante la época de estiaje.

#### **1.5 Limitaciones**

- No contar con la autorización por parte de la Autoridad Nacional del agua (ANA) para el uso de la fuente agua.
- Los aforos se llevaron a cabo únicamente durante un año, en el período 2023-2024. Esta limitación temporal dificulta la generalización de los resultados, ya que las condiciones climáticas, la disponibilidad de agua y otros factores ambientales pueden variar considerablemente de un año a otro.
- La falta de recursos económicos para la construcción de un prototipo semejante a la bomba de ariete multipulsor, limita la realización de pruebas y la implementación de mejoras tecnológicas.
- La variabilidad en las condiciones del suelo, como textura y capacidad de retención del suelo pueden afectar la eficiencia de aplicación. Suelos arenosos drenan rápidamente, lo que puede provocar escasez de agua para las plantas, mientras que suelos con alta retención pueden causar encharcamiento. Esta variabilidad dificulta la optimización del sistema y la obtención de resultados consistentes.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo General**

- Determinar la eficiencia hidráulica de un sistema de agua, para uso agrícola, utilizando una bomba de ariete multigolpe en el sector Surmayo del Centro Poblado Púsoc – Bambamarca, 2023.

### **1.6.2 Objetivos Específicos**

- Estimar el requerimiento de agua para uso agrícola en el sector Surmayo, del Centro Poblado Púsoc - Bambamarca.
- Estimar el caudal de la quebrada Tacshana, en los meses de estiaje.
- Estimar la altura de suministro y altura de entrega, utilizando una bomba de ariete multigolpe, confeccionados e instalados en la quebrada Tacshana.
- Determinar la relación entre caudal de suministro y caudal de entrega, utilizando una bomba de ariete multigolpe.
- Diseñar una bomba de ariete hidráulico, con tres válvulas de impulsión para suministrar el flujo de agua desde la fuente de agua hasta el tanque de almacenamiento,
- Estimar la eficiencia hidráulica del sistema de agua.

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la Investigación

Los antecedentes de la investigación se ubican en las siguientes etapas:

##### 2.1.1 Internacionales

Arévalo & Merchán (2022), La bomba fue construida su totalidad con material de hierro la cual presentaba mejores resultados en cuanto a durabilidad y viabilidad de construcción e implementación, además se encontraron los parámetros calculados que brindaron la mayor eficiencia. Los valores medios de estos parámetros fueron comparados mediante una prueba t de student, además de comparaciones a través de gráficos de barras y dispersión de puntos. Los resultados se determinaron como óptimos con una masa en la válvula de impulso de 110 g, con una apertura de 22 mm, el volumen óptimo de la cámara de aire fue de 3 L y la inclinación de la tubería de alimentación fue de 26°.

Brito (2022), su objetivo principal fue estudiar mediante simulación el efecto del número de válvulas de impulso en la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico, la metodología usada fue realizar revisión bibliográfica para determinar las características operativas de una bomba de ariete hidráulico y analizar los modelos numéricos aplicados en el modelamiento numérico del flujo de fluidos y así definir el modelo físico bidimensional y el dominio computacional de la bomba de ariete hidráulico estableciendo condiciones de contorno para generar el mallado se usó el software Ansys Fluent, se simula el caso base y varios escenarios incrementando el número de válvulas de impulso. Los resultados de la simulación muestran que al aumentar el número de válvulas de impulso la eficiencia del ariete hidráulico aumenta considerablemente, con aproximadamente un

incremento del 20% con respecto a la eficiencia del ariete hidráulico de una sola válvula de impulso.

### **2.1.2 Nacionales**

Huamán C. (2021), Los resultados muestran que el diseño de este dispositivo hidráulico se utilizó criterios empíricos recomendados por investigadores en trabajos similares, desarrollando una propuesta de metodología de diseño que permitió dimensionar los componentes de la bomba de ariete hidráulico y se garantizó el funcionamiento eficiente y sostenible en el tiempo, la sobrepresión teórica es diferente a la existente en condiciones de funcionamiento de la bomba de ariete, ya que esta permite disminuir dicha presión por la configuración de sus válvulas, por esta razón la sobrepresión real es menor que la calculada. Adicionalmente la bomba de ariete permite elevar fluido sin la necesidad de utilizar fuentes de energía convencionales como combustibles fósiles o energía eléctrica, ya que aprovecha la energía que produce la caída de agua de su fuente de suministro.

Huaman (2021), su objetivo principal fue realizar el diseño y cálculo de un sistema de bombeo económico y sostenible, para tierras eriazas en la Asociación Huamán tapara, de la localidad de Nuñoa, para la aplicación del diseño hídrico para riego fue necesario; del conocimiento de la zona, la temperatura mínima y máxima, presión, humedad, insolación, precipitaciones, velocidad del viento. Estos datos fueron brindados por el programa software CLIMWAT 2.0 para CROPWAT 8.0 de la FAO, de la estación meteorológica Chuquibambilla. Se diseñó el sistema de bombeo con tres bombas de ariete en paralelo. Las bombas de ariete diseñadas, logra elevar a una altura estática de 47.5 mca, para lo cual se determinó que el caudal de agua necesario para 3 hectáreas de cultivo, durante el mes más seco del año, es de 3,35 l/s por lo que se necesitó bombear más de 290 m<sup>3</sup>/día.

El costo del proyecto del sistema de bombeo es 30, 027.474 soles. Además, el proyecto tiene como propósito advertir a la población que existen otros tipos de bombeos que hoy en día pueden satisfacer sus necesidades, siendo tecnológicamente accesibles, eficientes y ecológicos, a su vez impulsará a la población a realizar más proyectos como este para el beneficio de esta comunidad y comunidades aledañas.

Velasquez & Quintana (2022), su objetivo principal fue proponer el diseño de un sistema de riego aplicando el sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en el tramo km 02+000 al 06+000 de la margen derecha del río Lircay– Angaraes en la margen derecha del río Lircay, el tipo de investigación fue aplicada a nivel descriptivo explicativo la metodología usada fue el diseño una bomba de fácil construcción debido a que los materiales para su construcción se encuentran con facilidad en cualquier ferretería, además de ser una bomba ecológica, evita la contaminación, para la mayoría de las personas dedicadas al diseño y transporte de fluidos, el golpe de ariete hidráulico es conocido como un fenómeno perjudicial, pero en esta tesis se aprovecha el perjuicio que provoca este fenómeno, utilizando varios accesorios y válvulas calibradas, la bomba diseñada consume un caudal de 35,475 l/min, aprovechando un salto de 4,95 m, logrando elevar un caudal de 9,96 l/min a una altura de 8,25 m, con una carrera para la válvula de impulso de 14 mm con 75 golpes/minuto. Con un rendimiento volumétrico de 48,11%.

Villanueva (2022), tiene como objetivo realizar un diseño hidráulico de un riego por aspersión para áreas verdes mediante el uso de agua tratada en una refinería de petróleo en la ciudad de Lima, el área beneficiada tiene una extensión de 7029.21 m<sup>2</sup>, para el cálculo se partió del diseño agronómico, recolectando datos climatológicos y parámetros del suelo y agua disponible. Finalmente se calculó la demanda bruta de 3.43 mm, para una frecuencia de riego de 5 días, con necesidad mínima en el mes de noviembre 2.9 mm, con una frecuencia de riego de cada 15 días

con una eficiencia de aplicación del 80%, además se obtuvo la presión máxima entre ramales siendo 53.46 mca, con un diámetro de 4", con salidas de 1", el aspensor elegido fue aspensor Ibis, de tipo de impacto semifijo con una presión media de 3 bares con un radio mojado de 77m y 1" de diámetro.

### **2.1.3 Locales**

Díaz (2023), tiene como objetivo diseñar una bomba de ariete hidráulico para suministrar agua en el centro San Juan de Tinguillan – Las Pirias, Jaen – Cajamarca. Para ello se llevó a cabo un estudio aplicativo y experimental que involucró nueve viviendas como población objetivo. La muestra finalmente consistió en tres viviendas, cada una de ellas habitada por cinco personas. Durante la investigación se emplearon técnicas como la observación directa, el análisis documental y el uso del programa SolidWorks para el diseño y la simulación. La cantidad de agua por habitante se determinó siguiendo la Norma I.S.010, estableciendo un consumo de 150 L por persona al día. Se obtuvo que la bomba de ariete permite almacenar 33600 L/día, cumpliendo con la demanda requerida que es de 2250 L/día, por lo tanto, la simulación del sistema de bomba de ariete hidráulico demostró que el diseño cumplió con éxito su función de suministrar agua de manera eficiente.

Julca (2019), su principal objetivo fue analizar estudios teóricos y empíricos relacionados a realizar un diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico para la evacuación de aguas ácidas en minería subterránea. Los resultados muestran que el cabezal de suministro es de 2.0 m a 2,2 m, el flujo de residuos es de 3,8 l/s a 2,0 L/s y el cabezal de entrega aumenta de 5.6 m a 101.1 m, entonces el flujo de entrega es de 0,80 L/s a 0,01 L/s, la eficiencia varía de 63.9% a 26.9% y la frecuencia cambia de 55 a 45. Cuando el cabezal de entrega es menor de 50 m, la eficiencia es superior al 53%.

## 2.2 Bases Teóricas

### 2.2.1 Requerimiento de agua para uso agrícola

Adriana (2021), menciona que La cantidad de agua necesaria por unidad de área en el cultivo de papas varía aproximadamente alrededor de 0.5 metros cúbicos, equivalente a 5000 metros cúbicos por hectárea. Para determinar la demanda de agua, es importante considerar los siguientes conceptos.

#### Evapotranspiración (ET<sub>o</sub>)

Monterroso & Gómez (2021), viene siendo cantidad de agua que puede ser pérdida por evaporación desde el suelo y por transpiración de las plantas cuando el suelo se encuentra con un contenido óptimo de humedad, está cubierto por cultivos de tamaño corto (5cm), como los pastos, que cubre toda la superficie en estado activo de crecimiento y con un suministro continuo de agua. Existen varios métodos para determinar la ET<sub>o</sub>, pero para la presente investigación usaremos el de Penman - Monteith.

#### Método Penman - Monteith:

El método de la FAO Penman-Monteith utiliza datos climáticos que deben ser registrados a una altura de dos metros y con un albedo de 0,23. En otras palabras, la estimación de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) se calcula de la siguiente manera:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

Dónde:

ET<sub>o</sub>: Evapotranspiración de referencia [mm/día].

$\Delta$ : pendiente de la curva de la tensión de vapor saturado (kPa/ °C)

$R_n$ : radiación neta en la superficie del cultivo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )

G: flujo del calor de suelo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )

( $R_n - G$ ): energía disponible en la superficie del suelo e igual a la energía desde la superficie hacia el aire ( $H + IE$ ) por el calor sensible, H, (convección) y calor latente, IE (evaporación)

T: temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

$u_z$ : velocidad del viento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>)

$e_s$ : presión de vapor de saturación (KPa)

$e_a$ : presión real de vapor (KPa)

$\gamma$ : constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>)

900: factor de conversión

Los elementos del clima que influyen en la evapotranspiración son:

- **Temperatura:** La temperatura afecta directamente a la tasa de evapotranspiración.
- **Presión atmosférica:** La evaporación en altitudes elevadas se debe a la baja presión atmosférica, que se cuantifica con la constante psicométrica, resultado de la presión ejercida por el peso de la atmósfera terrestre, (Villanueva, 2022)

$$P = P_0 \left[ \frac{T_{K0} - \alpha_1(Z - Z_0)}{T_{K0}} \right]^{\frac{s}{\alpha_1 R}} \quad (2)$$

Donde:

$P_0$ : Presión atmosférica a nivel del mar 101.3 kPa

$T_{K0}$ : Temperatura expresada en grados Kelvin (°K) = 273.6 +  $T_{\text{media}}$

$\alpha_1$ : Constante = 0.0065  $\text{km}^{-1}$

$z$ : Altura

$Z_0$ : Nivel del mar

R: Constante universal de los gases =  $287 \text{ JKg}^{-1} \cdot \text{k}^{-1}$

- **Calor Latente de Vaporización ( $\lambda$ )**. Se refiere a la cantidad de energía necesaria para convertir una unidad de masa de agua líquida en vapor de agua, manteniendo constante la presión y la temperatura. Se establece que  $\lambda$  tiene un valor de 2.45 MJ/kg a una temperatura de 20°C, (Villanueva, 2022).

$$\lambda = (2.501 - 2.36 \times 10^{-3}) T_{media} \quad (3)$$

- **Constante psicométrica ( $\gamma$ )**. Se expresa de la siguiente manera:

$$\gamma = \left[ \frac{c_p P}{\epsilon \lambda} \right] \quad (4)$$

Donde.

P = Presión atmosférica, kPa.

$\lambda$ : Calor Latente de Vaporización, 2.45 MJ/kg.

$c_p$ : Calor específico a presión constante,  $1.013 \times 10^{-3} \text{ MJ/kg } ^\circ\text{C}$ .

$\epsilon$ : Cociente del peso molecular del vapor de agua/aire seco = 0.622

- **Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor ( $\Delta$ )**. Se expresa de la siguiente manera.

$$\Delta = 4098 \frac{\left[ 0.6108 \exp \left( \frac{17.27 T_{media}}{T_{media} + 237.3} \right) \right]}{(T_{media} + 237.3)^2} \quad (5)$$

Donde:

$\Delta$ : Pendiente de la curva de saturación de vapor a la temperatura del aire. KPa/°C

- **Humedad del aire**. Es la cantidad de agua que el aire puede retener.

La humedad relativa (HR) indica cuánto está saturado el aire, siendo la relación entre la presión real de vapor ( $e_a$ ) a una temperatura específica y la presión de saturación de vapor ( $e^0(T)$ ) a esa misma temperatura ( $T$ ), según (Villanueva, 2022), se expresa:

$$HR = \left[ \frac{e_a}{e^0(T)} \right] X 100 \quad (6)$$

Donde:

$e_a$  : Presión real de vapor

- **Velocidad del viento ( $u_2$ ).** Depende del lugar y las condiciones climáticas, y se mide con anemómetros, generalmente en metros por segundo (m/s-1). Los datos obtenidos de la velocidad deben situarse a 2m de altura, (Villanueva, 2022).

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)} \quad (7)$$

$u_2$ : Velocidad del viento a 2m sobre la superficie

$u_z$ : Velocidad del viento medida a Z m sobre la superficie

- **Presión media de vapor de saturación ( $e_s$ ).** Según, Villanueva, (2022), se calcula de la siguiente manera:

$$e_s = \frac{e^0(T_{min}) + e^0(T_{min})}{2} \quad (8)$$

Donde:

$e^0(T)$ : Presión de saturación de vapor a la temperatura del aire

$$e^0(T_{min}) = 0.6108e^{\left[ \frac{17.27T_{min}}{T_{min} + 273.3} \right]} \quad (9)$$

$$e^0(T_{min}) = 0.6108e^{\left[ \frac{17.27T_{min}}{T_{min} + 273.3} \right]} \quad (10)$$

### 2.2.1.1 Evapotranspiración real o actual (ETc):

Viene siendo la cantidad de agua evaporada desde la superficie del suelo y transpirada por la cubierta vegetal, exento de enfermedades, que crece en condiciones óptimas de suelo, fertilidad y suministro de agua, se calcula mediante la siguiente expresión (Auc14).

$$ET_c = K_c * ET_o \quad (11)$$

Dónde:

ETc: Evapotranspiración real o actual de los cultivos [mm/mes].

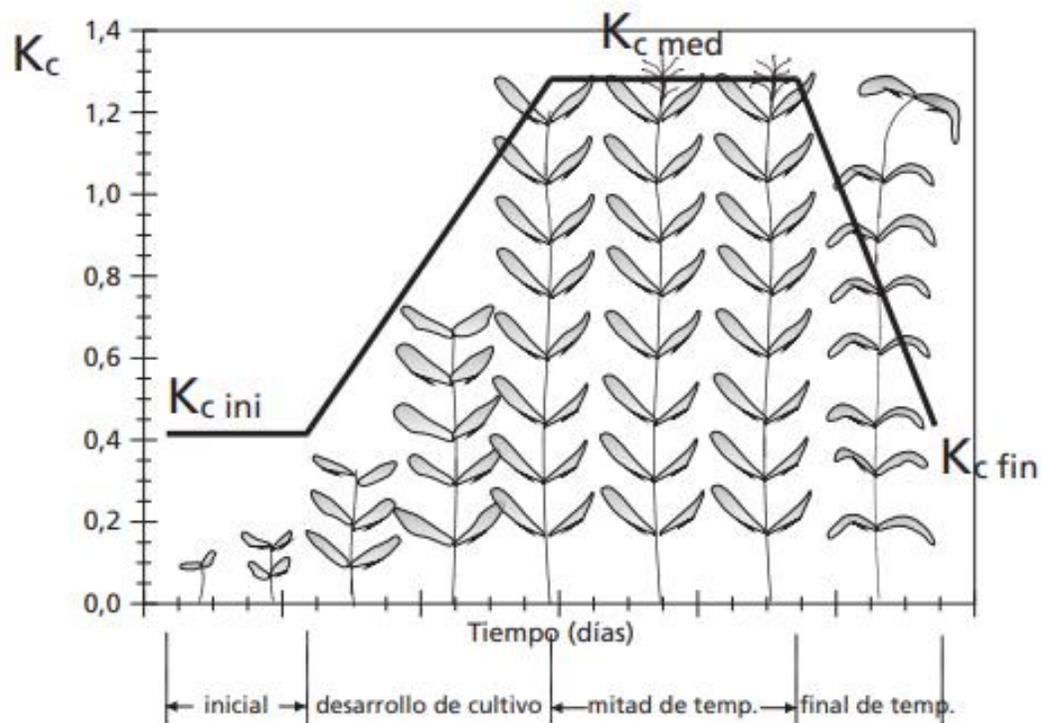
Kc: Factor de cultivo

ETo: Evapotranspiración potencial [mm/mes].

### 2.2.1.2 Factor de cultivo (Kc)

Es un factor que indica el grado de desarrollo o cobertura del suelo por un cultivo cuyo consumo se requiere evaluar. La variación del coeficiente de cultivo Kc, a lo largo del crecimiento de dicho cultivo se representa por una curva Kc, para construir esta curva se requiere las siguientes etapas: etapa inicial (las plantas germinan y tienen un crecimiento inicial)  $K_{c\ ini}$ , la etapa de mediados de temporada (hasta el momento de iniciarse la maduración, que se hace evidente en la decoloración y caída de hojas)  $K_{c\ med}$  y la etapa final que es de maduración y la cosecha  $K_{c\ fin}$ , (FAO, 2018).

**Figura 1:** Coeficiente de cultivo



**Fuente:** (FAO 2018, p. 118)

A continuación, se muestra una tabla de los coeficientes de cultivos para diferentes variedades de papas en la sierra norte del país.

**Tabla 1:** Coeficiente de cultivos para la papa

Región	Cultivos	Variedad	Kc1 (inicial)	Kc2 (en la floración)	Kc3 (fin de ciclo)
Sierra	Papa	Canchan – INIA	0.6	1.1	0.4
Norte	Cultivos	Papa	0.6	1.1	0.4
	Nacionales	Papa	0.6	1.1	0.4
		Papa	0.6	1.1	0.4
		Trigo	0.15	0.4	0.9
		Maíz	0.6	0.7	0.6

**Fuente:** (Senamhi, 2015)

### 2.2.1.3 Precipitación efectiva (PE).

La precipitación pluvial, proporciona agua al suelo, parte de esta es utilizado por las plantas para satisfacer sus necesidades hídricas en su normal desarrollo, la otra parte de volumen se pierde mediante escurrimiento, percolación profunda o evaporación. Para la presente investigación, la precipitación efectiva mensual (mm) se obtiene mediante la expresión, (Huaman, 2021).

$$PE = 0.8 P - 25 \text{ Si: } P > 75 \text{ mm/mes} \quad (12)$$

$$PE = 0.6 P - 10 \text{ Si: } P < 75 \text{ mm/mes} \quad (13)$$

Dónde:

P: Precipitación mensual [mm/mes].

PE: Precipitación efectiva [mm/mes].

### 2.2.1.4 Demanda de agua de los cultivos (DA).

Después de calcular la cantidad de agua presente en el suelo, es esencial analizar la demanda del cultivo, que se expresa principalmente a través de la evapotranspiración. De esta manera, podemos determinar la cantidad precisa de agua requerida para irrigar y satisfacer todas las necesidades del cultivo durante sus diversas etapas de crecimiento. La fórmula para calcular la demanda de agua se menciona en. (Huamán, 2021).

$$DA = ET_c - PE \quad (14)$$

Donde:

DA: Demanda de agua para el periodo considerado [mm/mes].

ET<sub>c</sub>: Evapotranspiración real o actual [mm/mes].

PE: Precipitación efectiva [mm/mes].

## 2.2.2 Métodos de aforo

### 2.2.2.1 Método del flotador

El aforo con flotador es un recurso muy empleado para medir caudales en canales y cauces, este método consiste en calcular la velocidad de la corriente empleando un flotador y luego conociendo el área de la sección hidráulica se obtiene el caudal. Se determina mediante la siguiente expresión (Minagri, 2015, p. 2)

$$Q = F_c * A * (L/T) \quad (15)$$

Donde:

Q = es el caudal, en  $m^3 / s$

L = es la longitud entre el Pto. A y B en metros

A = es el área, en  $m^2$

T = es el tiempo promedio en segundos

$F_c$  = es el factor de corrección

Donde  $F_c$ , es un factor de corrección relacionado con la velocidad. El  $F_c$  se debe seleccionar de acuerdo al tipo de río o canal y a la profundidad del mismo.

**Tabla 2.** Determinación del factor de corrección  $F_c$ , para el cálculo de caudales por el método del flotador

TIPOS DE CAUCE	FACTOR DE CORRECCIÓN $F_c$
Canal revestido en concreto profundidad > 15 cm	0.8
Canal de tierra, profundidad del agua > 15 cm	0.7

---

Riachuelos profundidad del agua > 15 cm	0.5
Canales de tierra, profundidad de agua <15 cm	0.25 – 0.5

---

**Fuente:** (Minagri, 2015, p. 3)

### 2.2.2.2 Método volumétrico

Según Minagri (2015), se trata de calcular el caudal midiendo el tiempo necesario para que un recipiente de volumen conocido se llene por completo. Después, se divide el volumen del recipiente (en litros) por el tiempo empleado, para obtener el caudal en litros por segundo, tal como se muestra en la ecuación correspondiente: (p. 12)

$$Q (l/s) = \frac{v}{t} \tag{16}$$

Donde:

V= Volumen del recipiente (l)

T= tiempo empleado en (s)

### 2.2.3 Bomba de Ariete Hidráulico

Acitores (2012), Un ariete hidráulico es un dispositivo único que opera sin necesidad de un motor, a diferencia de otras bombas convencionales. En lugar de ello, utiliza la energía del agua misma, aprovechando una parte para su funcionamiento y elevando el resto a un nivel superior, (p. 13).

Las bombas de ariete hidráulico, dado que no requiere energía externa, es perfecta para su implementación en áreas remotas sin acceso a electricidad. Su estructura simple garantiza su fácil construcción, y su eficiencia alcanza aproximadamente el 70%. (Chero, 2018)

#### **2.2.4 Ciclo hidráulico de la bomba de ariete**

El proceso se inicia cuando las válvulas de impulso se cierran debido a la presión dinámica inicial. Esta presión provoca la apertura de la válvula de retención, permitiendo que el agua se eleve por la tubería de descarga hasta alcanzar un nivel "Hs", siguiendo el principio de vasos comunicantes. Para iniciar el funcionamiento de la bomba de manera automática, se manipula la válvula para extraer el aire de la tubería.

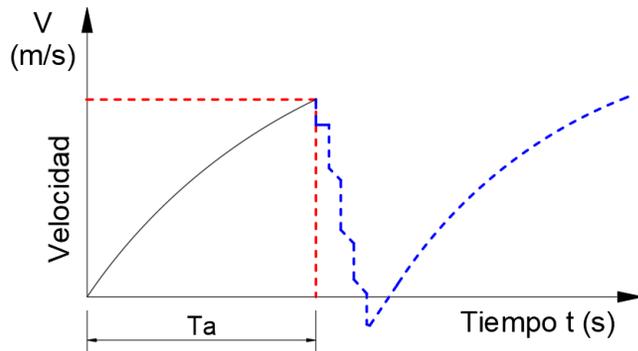
El aprovechamiento del golpe de ariete se divide en 3 periodos.

##### **Periodo 1: Aceleración ( $T_a$ )**

Este período comienza cuando la válvula de retención se encuentra cerrada y las válvulas de impulsión están abiertas. Al abrirse la válvula de retención, el flujo de agua comienza a través de la tubería de suministro, impulsado por la gravedad y la diferencia de alturas, lo que genera una sobrepresión que ocasiona el cierre de las válvulas. Este evento marca el fin del período 1 y el comienzo del período 2.

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

**Figura 2:** Periodo de aceleración



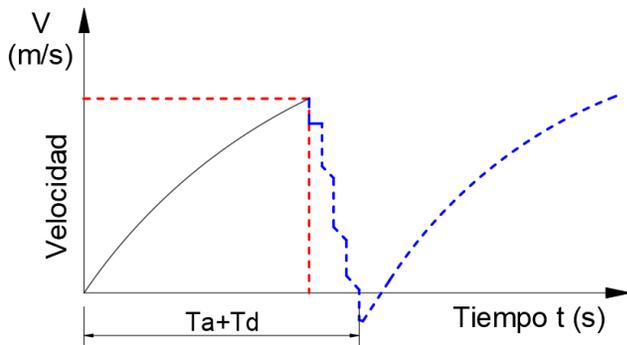
**Fuente:** (Chero, 2018)

**Periodo 2: Entrega o bombeo ( $T_d$ ).**

Este período comienza cuando las válvulas de impulsión se cierran y continúa hasta que el agua desacelera en la cámara de aire. Durante este proceso, la columna de agua en la tubería de descarga se detiene, lo que ocasiona una sobrepresión en la caja de válvulas, la cual es amortiguada por la presencia de la cámara de aire, (Chero, 2018).

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

**Figura 3:** Entrega o bombeo



**Fuente:** (Chero, 2018)

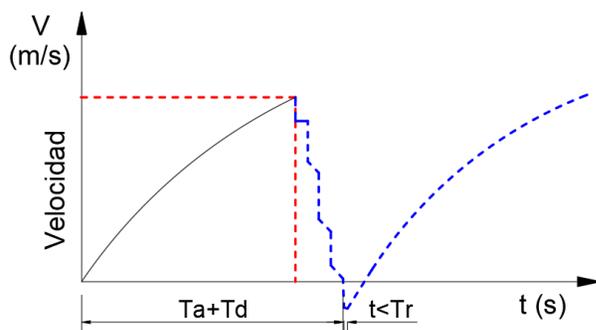
### Periodo 3: Retroceso ( $T_r$ ).

Este lapso abarca desde el cierre de la válvula de retención, la disminución de la presión en el cuerpo del ariete y la reapertura de las válvulas de impulsión cuando la velocidad se reduce a cero ( $V=0$ ). Este momento marca el inicio de un nuevo ciclo en curso, (Chero, 2018).

Durante este período, se observa que el colchón de aire presente en la cámara de aire ejerce presión sobre la válvula de retención (válvula check), forzándola a cerrarse. Esto permite que el agua se eleve a través de la tubería de descarga sin retornar a la tubería de suministro. Esta acción resulta en una disminución de la presión en el cuerpo del ariete, lo que provoca la entrada de aire fresco en la cámara neumática a través de la válvula de aire. Simultáneamente, se vuelve a abrir la válvula de impulsión, dando inicio a un nuevo ciclo de funcionamiento, (Chero, 2018).

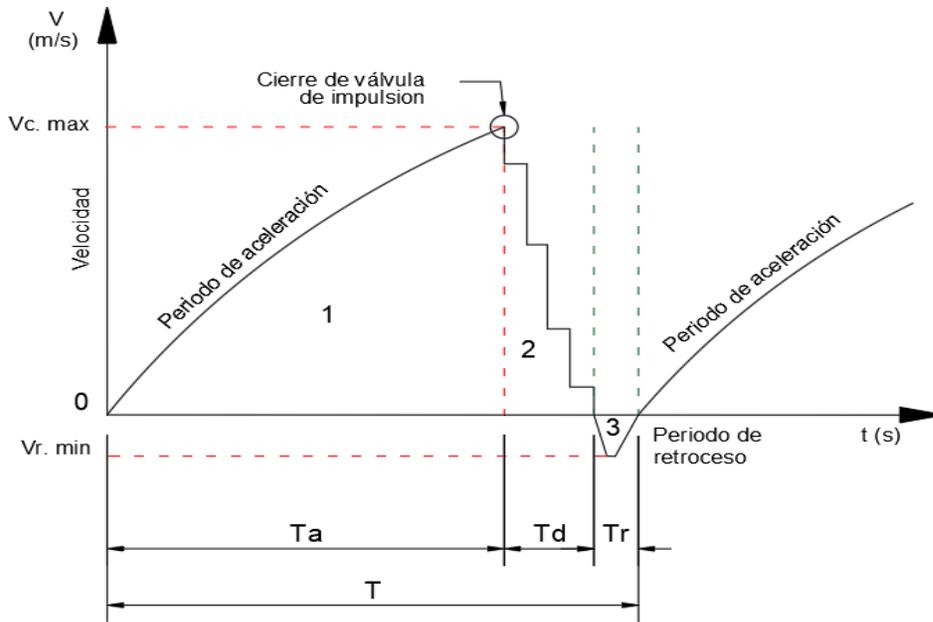
$$(T_a + T_d < t < T); (V_t < V < 0)$$

**Figura 4:** Periodo de retroceso



**Fuente:** (Chero, 2018)

**Figura 5:** Representación gráfica de los periodos



**Fuente:** (Chero, 2018)

En donde:

Ta = Tiempo de duración del periodo de aceleración (s).

Td = Tiempo de duración del periodo de bombeo (s).

Tr = Tiempo de duración del periodo de retroceso (s).

T = Tiempo de duración del ciclo (s).

$$T = Ta + Td + Tr \tag{17}$$

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

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

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

Después de analizar los periodos en las que se divide el ciclo de trabajo, nuestro objetivo es calcular el caudal de bombeo ( $q_b$ ) y el caudal que se derrama ( $Q_p$ ) a través de la válvula de impulso, mientras que  $Q$  representa el caudal total (Tacke J.H.P.M. 1985).

$$Q = Q_p + q_b \quad (18)$$

$$q_b = \frac{1}{T} * \frac{\pi D^2}{4} \int_{T_a}^{T_a+T_d} V(t) dt \quad (19)$$

$$Q_p = \frac{1}{T} * \frac{\pi D^2}{4} \left[ \int_0^{T_a} V(t) dt + \int_{T_a+T_d}^{T_a} V(t) dt \right] \quad (20)$$

Donde:

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

$T$  = Periodo en (s).

$V$  = velocidad del agua en la tubería de suministro (m/s).

## 2.2.5 Parámetros de diseño de la bomba de ariete

### 2.2.5.1 Ubicación de la bomba

Huaman (2021), menciona que esta etapa fundamental ya que determinará el lugar donde se va a instalar la bomba, esto marcará factores determinantes para el diseño y funcionamiento.

### **2.2.5.2 Altura de entrega o descarga**

Chero (2018), hace referencia que la altura de bombeo se determina según la necesidad de elevar el fluido a una altura específica, lo que posibilita su utilización para diversos propósitos, como riego, almacenamiento durante periodos de sequía, tratamiento para consumo humano, entre otros.

### **2.2.5.3 Altura de suministro**

Según, Huaman (2021), se refiere al desnivel entre el nivel del agua en el punto de captación y la ubicación de la bomba de ariete hidráulico. Este desnivel es altamente ventajoso, ya que un aumento en él resulta en un mayor rendimiento. Los niveles para la instalación de una bomba de ariete hidráulico generalmente oscilan entre 1 y 20 metros. El fabricante de bombas Williamson HiFlo Ram establece que la altura de suministro se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$H_S = \frac{1}{10}H_d \quad (21)$$

Donde:

$H_s$  = Altura de suministro (m)

$H_d$  = Altura de bombeo (m)

### **2.2.5.4 Tubería de suministro**

Huaman (2021), La tubería de suministro conecta la captación y el cuerpo de la bomba de ariete.

La tubería de suministro cumple dos funciones:

- Facilita el flujo de agua desde el depósito de suministro hacia el cuerpo de la bomba, aumentando así la velocidad. Sin embargo, si la entrada de la tubería no se expande en forma

de trompeta, el flujo se interrumpe, creando remolinos en el agua, actuando como obstáculos y afectando el funcionamiento del ariete, (Huamán, 2021).

- Para contrarrestar el impacto del golpe de ariete. Se aconseja emplear tuberías de acero galvanizado o hierro, dado que son más rígidas y presentan una resistencia mínima al rozamiento, lo que optimiza la eficacia del golpe de ariete, (Chero, 2018).
- También se pueden emplear tuberías de PVC, las cuales son más económicas y flexibles. Es importante que el conducto sea lo más recto posible y que no haya reducciones ni ángulos muy pronunciados. Además, el ángulo de inclinación de la tubería de suministro debe estar entre  $10^\circ$  y  $45^\circ$  con respecto a la horizontal, (Huamán, 2021).

La longitud óptima de la tubería de impulsión según los estudios de Weinmann es 4 veces la altura de suministro.

$$L = 4 H_s \quad (22)$$

Donde:

L = Longitud de la tubería de suministro (m)

H<sub>s</sub> = Altura de suministro (m).

Huaman (2021), menciona que la tubería de suministro debe tener una longitud que esté entre los 10 y los 30 metros. Tanto el diámetro como la longitud de esta tubería son aspectos cruciales para asegurar el correcto funcionamiento de la bomba de ariete. El rendimiento óptimo de la bomba se logra cuando se cumple la siguiente relación:

$$\frac{L}{D} = 150 \text{ a } 500 \quad (23)$$

Donde:

L: longitud de la tubería (m)

D: diámetro de la tubería (m)

### **2.2.5.5 Tubería de entrega**

La tubería a través de la cual el fluido es elevado desde el ariete hidráulico hasta el depósito de descarga, según, (Arévalo & Merchán , 2022). Su diámetro se calcula con la siguiente relación:

$$Dd = \frac{Ds}{4} a \frac{Ds}{2} \quad (24)$$

Donde:

$Dd$  = Diámetro de descarga (m)

$Ds$  = Diámetro de suministro (m)

### **2.2.5.6 Propiedades de los líquidos**

#### **a) Densidad**

White (2004), es la característica propia de los fluidos, y se define como la cantidad de masa por unidad de volumen. Su unidad de medida es  $kg/m^3$ . (p.16)

$$P = \frac{m}{V} \quad (25)$$

Donde:

m = Masa (kg)

V = Volumen del líquido ( $m^3$ )

### **b) Peso específico**

White (2004), El peso específico es el peso por unidad de volumen del líquido. Su unidad de medida es  $N/m^2$  o  $kg/(m^2 * s^2)$ . (p. 16)

$$\gamma = \frac{w}{V} \quad (26)$$

Como  $w = m * g$ , tenemos:

$$\gamma = \frac{w}{V} = \frac{m * g}{V} \quad (27)$$

$$\gamma = \rho * g \quad (28)$$

Donde:

$w$  = Peso del líquido (N).

$V$  = Volumen del líquido ( $m^3$ ).

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

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

### **c) Volumen específico**

White (2004), Se define como el volumen ocupado por unidad de masa de un líquido, es decir, es el inverso de la densidad. Su unidad de medida  $m^3 / kg$ . (p. 17).

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad (29)$$

Donde:

$V =$  Volumen del líquido ( $m^3$ )

$m =$  Masa (kg)

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

#### **d) Viscosidad**

Se define como la resistencia que ofrece un líquido para fluir libremente, por lo que es inversa a la fluidez. Debe tenerse en cuenta que, al aumentarse la temperatura, la viscosidad de todo líquido disminuye. Para calcular la viscosidad se usa la siguiente ecuación:

$$\nu = \mu/\rho \tag{30}$$

Donde:

$\nu =$  viscosidad cinemática ( $m^2/s$ )

$\mu =$  viscosidad dinámica ( $kg/m.s$ )

$P =$  densidad del fluido ( $kg/m^3$ )

#### **2.2.5.7 Caudal de entrega**

Es el caudal de salida de la bomba de ariete hidráulico y que se transporta por la tubería de descarga, (Huamán, 2021)

#### **2.2.5.8 Caudal de suministro**

Es el caudal que proviene desde la fuente de alimentación hasta la bomba a través de la tubería de alimentación, (Huamán, 2021).

### a) Número de Reynolds

White (2004), es una medida de la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas en el flujo del fluido, El número de Reynolds es fundamental para determinar el tipo de flujo que se produce ya sea laminar, turbulento o de transición), cuyo valor se calcula:

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (31)$$

Esta expresión también puede expresarse en función del caudal:

$$Re = \frac{4Q}{\pi v D} \quad (32)$$

Donde:

Re = Número de Reynolds

v = Velocidad del fluido en la tubería (m/s)

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

El tipo de flujo puede identificar mediante la siguiente relación:

$NRE < 2000$  Flujo laminar.

$NRE > 4000$  Flujo turbulento.

$2000 < NRE < 4000$  Flujo impredecible.

### **b) Rugosidad relativa**

Huamán (2021), la rugosidad relativa es una medida que se utiliza en hidráulica para describir la aspereza de la superficie interna de una tubería en relación con su diámetro, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{D} \quad (33)$$

Donde:

$\epsilon_r$  =Rugosidad relativa

D = Diámetro interno de la tubería (m)

$\epsilon$  = Rugosidad absoluta (m)

### **c) Factor de fricción**

Cuando el flujo se encuentra en un estado laminar, el coeficiente de fricción para tuberías con superficies tanto lisas como rugosas puede ser determinado utilizando la ecuación de Poiseuille.:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (34)$$

En el caso de que el flujo se vuelva turbulento, el coeficiente de fricción para tuberías con superficies lisas se puede determinar utilizando la ecuación de Blasius.

$$\lambda = \frac{0.316}{Re^{0.25}} \quad (35)$$

El coeficiente de fricción en tuberías con superficies rugosas está condicionado por el número de Reynolds (Re) y la rugosidad relativa  $\varepsilon_r$ . Este coeficiente puede ser calculado utilizando la ecuación de Colebrook-White.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{\varepsilon_r}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (36)$$

Esta ecuación proporciona una estimación bastante precisa del valor del coeficiente de fricción en condiciones de flujo turbulento.

#### **d) Pérdidas mayores o de fricción**

Chero (2018), conforme un fluido se desplaza a través de un conducto, tubería u otro dispositivo similar, se producen pérdidas de energía debido a la fricción interna en el fluido. Estas pérdidas pueden ser calculadas utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach.

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (37)$$

Dado que  $v$  la velocidad en el sistema, la expresaremos en términos del caudal y del diámetro de la tubería:

$$Q = V * A \quad (38)$$

$$V = \frac{4Q}{\pi * D^2} \quad (39)$$

Por lo tanto, la ecuación que describe las pérdidas por fricción en relación con el caudal es:

$$h_f = \frac{8fL}{\pi^2 g D^5} Q^2 \quad (40)$$

Esta fórmula es útil para determinar las pérdidas de carga tanto en flujos laminar como turbulento.

Donde:

$hf$  = Pérdidas por fricción (m).

$f$  = Factor de fricción.

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

$L$  = Longitud de la tubería de suministro (m).

$Q$  = Caudal ( $m^3 /s$ )

#### **e) Pérdidas menores o locales**

Chero (2018), las pérdidas menores se producen cuando hay una alteración o bloqueo en el camino del flujo, generalmente debido a la presencia de accesorios, válvulas o conexiones en la tubería, se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$h_l = k \frac{v^2}{2g} \quad (41)$$

Donde:

$h_l$  = Pérdidas locales (m).

$k$  = Coeficiente adimensional de pérdidas locales.

$V$  = Velocidad media en la tubería (m/s).

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

### f) Ecuaciones para el cálculo del caudal de suministro

Según, Chero (2018), Para determinar el caudal en la tubería de suministro, es necesario contar con información sobre el diámetro, las pérdidas de carga y la rugosidad de la tubería. Además, el tipo de régimen del flujo (ya sea laminar o turbulento). En el caso de un flujo laminar, podemos sustituir la ecuación del número de Reynolds en la expresión del cálculo del factor de fricción: (p. 37),

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{\left(\frac{4Q}{\pi v D Q}\right)} \quad (42)$$

$$f = \frac{16\pi v D}{Q} \quad (43)$$

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

$$hf = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = \frac{16\pi v D}{Q} * \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (44)$$

$$hf = \frac{128 v L Q}{\pi g D^4} \quad (45)$$

Por lo tanto, el caudal se calcula:

$$Q = \frac{\pi * g * hf * D^4}{128 v L} \quad (46)$$

En el caso que el régimen sea turbulento, calcularemos el caudal circulante reemplazando la Ec. 20 y Ec. 28 en la Ec. 24

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left( \frac{\epsilon_r}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\frac{\pi^2 g D^5 h_f}{8 L Q^2}}} = -2 \log_{10} \left( \frac{\varepsilon_r}{3.7} + \frac{2.51}{\frac{4 Q}{\pi v D} \sqrt{\frac{\pi^2 g D^5 h_f}{8 L Q^2}}} \right)$$

$$\frac{Q}{\pi} \sqrt{\frac{8 L}{g D^5 h_f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{\varepsilon_r}{3.7} + \frac{2.51 v D}{4} \sqrt{\frac{8 L}{g D^5 h_f}} \right)$$

$$Q * 0.903 * \sqrt{\frac{L}{D^5 h_f}} = 2 \log_{10} \left( \frac{\varepsilon_r}{3.7} + \frac{0.5666 v}{D^{1.5}} \sqrt{\frac{L}{h_f}} \right)$$

$$Q = -2.2148 \pi \sqrt{\frac{D^5 h_f}{L}} \log_{10} \left( \frac{\varepsilon_r}{3.7} + \frac{0.5666 v}{D^{1.5}} \sqrt{\frac{L}{h_f}} \right) \quad (47)$$

Donde:

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

hf = Pérdidas por fricción (m)

L = Longitud de la tubería de suministro

εr = Rugosidad relativa

D = Diámetro interno de la tubería (m)

v = Viscosidad cinética del fluido (m<sup>2</sup>/s)

### 2.2.5.9 Aplicación de la ecuación de Bernoulli

Huaman (2021), menciona que para calcular las pérdidas hidráulicas para una corriente, se usa la ecuación de Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} - H_{1-2} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (48)$$

$$H_{1-2} = h_{f1-2} + \sum h_{l1-2} \quad (49)$$

Donde:

$$\frac{P_1}{\rho g}, \frac{P_2}{\rho g} = \text{Alturas de presiones (m)}$$

$$Z_1, Z_2 = \text{Alturas geodésicas (m)}$$

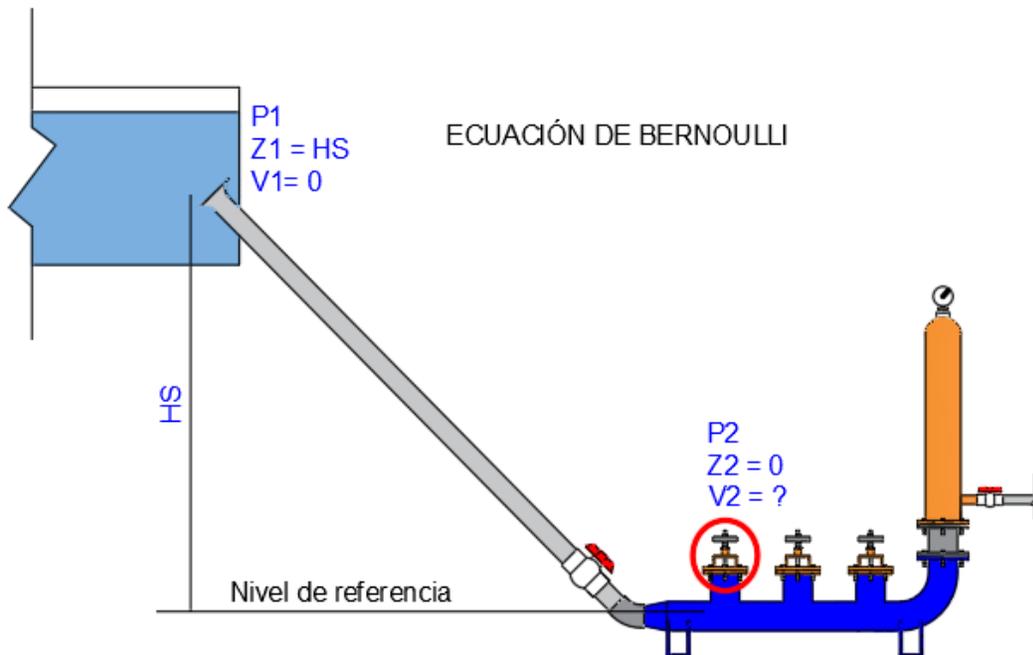
$$\frac{V_1^2}{2g}, \frac{V_2^2}{2g} = \text{Alturas de velocidad}$$

$$H_{1-2} = \text{Pérdidas hidráulicas entre 1 y 2}$$

#### 2.2.5.10 Velocidad en salida de las válvulas

Chero (2018), para el cálculo de la velocidad en la salida de la válvula de impulso, aplicaremos la ecuación de Bernoulli en donde:

**Figura 6:** Ecuación de Bernoulli



**Fuente:** Elaboración propia

De la figura se obtiene:

$P_1 = P_2$ ,  $Z_1 = H_s$ ,  $Z_2 = 0$ ,  $V_1 = 0$  y lo que se pretende hallar es:  $V_2$ .

Reemplazando estos datos en la Ec (48), obtenemos:

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

$$\frac{P_1}{\rho g} + H_s + \frac{0^2}{2g} - h_{f1-2} - \sum h_{l1-2} = \frac{P_2}{\rho g} + 0 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$H_s = \frac{V_2^2}{2g} + \lambda \frac{L}{D} \frac{V_2^2}{2g} + \left( \sum K \frac{V_2^2}{2g} \right)$$

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

$$V_2 = \sqrt{\frac{2gH_s}{1 + f \frac{L}{D} + \sum K}} \quad (50)$$

### 2.2.5.11 Pérdidas de presión total

Huaman (2021), para calcular las pérdidas de presión total multiplicamos la ecuación (47) por el peso específico  $\gamma = \rho g$ , obtenemos unidades de presión ( $\Delta p = h\gamma$ ).

$$P_1 + Z_1 \rho g + \frac{V_1^2 \rho}{2} - \Delta P_T = P_2 + Z_2 \rho g + 2 \frac{V_2^2 \rho}{2} \quad (51)$$

Donde:

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

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

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

$\Delta P_T$  = Pérdidas de presión total

La ecuación para calcular la pérdida total de presión totales se determina de la siguiente manera:

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

$$\Delta P_T = \lambda_f * \rho \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} + \sum k l \rho \frac{V^2}{2} \quad (52)$$

### 2.2.5.12 Altura desarrollada por el ariete

Chero (2018), para determinar la altura generada por el ariete, se requiere la adición de la altura de descarga junto con las pérdidas hidráulicas, que incluyen las pérdidas por fricción, locales y de inercia.

$$H = H_d + h_f + h_l \quad (53)$$

### 2.2.5.13 Cálculo de golpe de ariete

#### a) Celeridad

Según, Huaman (2021), viene siendo la velocidad a la que se desplaza la onda de presión a lo largo del agua dentro de la tubería puede ser calculada mediante la ecuación de continuidad, y está principalmente influenciada por las propiedades geométricas y mecánicas de la conducción. La fórmula para determinar la velocidad de propagación fue propuesta por Joukowski (p. 93).

$$\alpha = \sqrt{\frac{\frac{E_0}{\rho}}{1 + \frac{E_0 D}{E_0}}} \quad (55)$$

$a$  = Celeridad onda elástica del fluido en la tubería (m/s)

$E_0$  = Módulo de elasticidad de volumen del fluido (N/m<sup>2</sup>)

$\rho$  = Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

$D$  = Diámetro de la tubería (m)

$E$  = Módulo de elasticidad del material de la tubería

$\delta$  = Espesor de la tubería (m)

La expresión  $\sqrt{\frac{E_0}{\rho}}$ , es la celeridad de la onda elástica en el agua, cuyo valor es:

$$\sqrt{\frac{E_0}{\rho}} = 1425 \text{ m/s} \quad (56)$$

Reemplazando este valor en la ecuación de Joukowski (50) obtenemos:

$$a = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{E_0 D}{E_0}}} \quad (57)$$

#### b) Tiempo de cierre de la válvula

Según, Huamán (2021), es el lapso de tiempo necesario para que la onda de presión viaje desde la válvula hasta el extremo opuesto de la tubería y se expresa:

$$T = \frac{2L}{a} \quad (58)$$

Donde:

$a$  = Celeridad onda elástica del fluido en la tubería (m/s).

$L$  = Longitud de la tubería (m).

#### c) Cierre brusco

Según, Chero (2018), el fenómeno del cierre brusco sucede cuando el tiempo que tarda la onda de presión en viajar es superior al tiempo de cierre de la válvula de control del flujo ( $t_c$ ), lo cual ocurre en tuberías de suministro extensas y se expresa:

$$T_c = \frac{2L}{a} \quad (59)$$

Podemos emplear la fórmula propuesta por Allievi en esta situación, la cual nos proporciona la medida de la sobrepresión ocasionada por el golpe de ariete. (p. 41)

Donde:

$$\Delta H = \frac{v \cdot a}{g} \quad (60)$$

$\Delta H$  = Sobrepresión en metros de columna de agua (m.c.a)

$a$  = Celeridad onda elástica del fluido en la tubería (m/s)

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

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

#### **d) Cierre lento.**

Según, Chero (2018), la situación de cierre lento ocurre cuando el tiempo necesario para que la onda de presión se propague es menor que el tiempo requerido para cerrar la válvula de control del flujo, y esto suele suceder en tuberías de suministro más cortas.

$$tc > \frac{2L}{a} \quad (61)$$

En esta situación, aplicaremos la ecuación de Michaud-Vensano para determinar la sobrepresión, observando que esta fórmula no considera la compresibilidad del agua ni la elasticidad de la tubería. (p. 42)

$$\Delta H = \frac{2*L*V}{g*t} \quad (62)$$

Donde:

$\Delta H$  = Sobrepresión en metros de columna de agua (m.c.a).

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

$L$  = Velocidad del fluido (m/s).

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

$t$  = tiempo de cierre de la válvula.

#### **2.2.5.14 Fuerza de arrastre sobre la válvula de impulso**

cierto punto durante la fase de aceleración, el flujo aumentará lo necesario para iniciar el cierre de la válvula de impulso, lo cual sucede cuando las fuerzas de arrastre y la presión del agua igualan al peso de la válvula de impulso. Para los fines del análisis, la fuerza en la válvula puede ser modelada como una fuerza de arrastre según la ecuación proporcionada, (Huamán, 2021).

$$F_d = C_d \left( \frac{\rho V_0^2}{2} \right) A_d \quad (63)$$

Donde:

$F_d$  = Fuerza de arrastre sobre la válvula de impulso (N).

$C_d$  = Coeficiente de arrastre.

$\rho$  = Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>).

$V_0$  = Velocidad del fluido al iniciarse el cierre (m/s).

$A_d$  = Área proyectada de la válvula de impulso (m<sup>2</sup>).

Chero (2018), menciona que el coeficiente de arrastre experimenta variaciones conforme cambia la carrera de la válvula de impulso. J. Krol formuló una expresión que establece la relación entre el coeficiente de arrastre y la carrera de la válvula, representada por "s".

$$C_d = \frac{0.345 - 0.275 + 10^{(0.52 - 6.85s)}}{s} \quad (64)$$

Donde:

S = Carrera de la válvula de impulso (pulg).

$C_d$  = Coeficiente de arrastre.

### 2.2.5.15 Pérdida hidráulica en la válvula de impulso

Tras llevar a cabo diversas pruebas experimentales, J. Krol derivó una fórmula matemática para calcular las pérdidas ocasionadas por la válvula de impulso.

$$R_s = \frac{2.43 - 1.06s + 10^{(0.95 - 13.30s)}}{s} \quad (65)$$

Donde:

s = Carrera de la válvula de impulso (pulg).

$R_s$  = Pérdida en válvula de impulsión.

### 2.2.5.16 Presión dinámica

Cuando un fluido se desplaza a través de una tubería, su movimiento genera un aumento adicional en la presión estática al chocar contra un área perpendicular al flujo. Esta fuerza se origina debido a la acción de la presión dinámica, la cual está influenciada por la velocidad y la densidad del fluido. Esta fuerza de presión tiene la capacidad de cerrar la válvula de impulso, contrarrestando así su peso, (Chero, 2018, p. 44).

$$P = \frac{\rho V^2}{2} \quad (66)$$

Donde:

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

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

### 2.2.5.17 Peso máximo para la válvula de impulso

J. Krol desarrolló una fórmula matemática para calcular el peso de la válvula de impulso y se describe a continuación:

$$0 < w < \frac{A_d * H_s * p * C_d}{M} \quad (67)$$

Donde:

$A_d$  = Área proyectada de la válvula de impulso ( $\text{m}^2$ ).

$H_s$  = Altura de suministro (m).

$C_d$  = Coeficiente de arrastre.

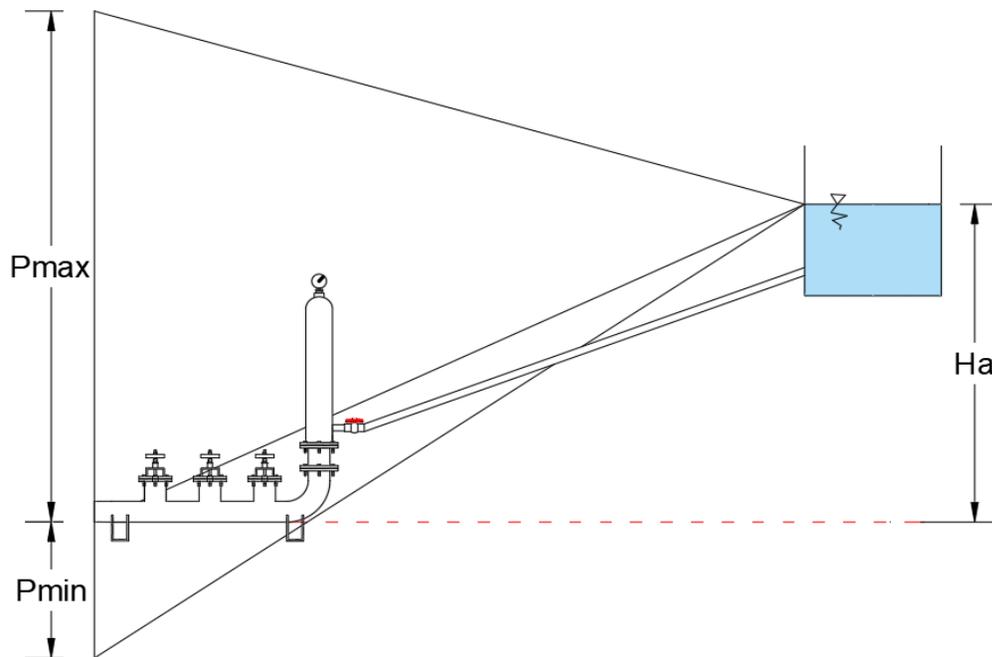
$\gamma$  = Densidad (kg/m<sup>3</sup>).

M= Sumatoria de pérdidas.

### 2.2.5.18 Presión máxima y mínima de la instalación

De acuerdo con J. Ma. Mayol, la máxima presión inducida por el golpe de ariete en las tuberías se describe mediante la Ec. (68), mientras que la presión mínima se expresa mediante la Ec. (69).

**Figura 7:** Presión máxima y mínimo



**Fuente:** (Chero, 2018, p. 45)

$$H_{m\acute{a}x} = H_s + \Delta H$$

$$P_{m\acute{a}x} = \rho g H_{m\acute{a}x} \tag{68}$$

$$H_{m\acute{i}n} = H_s - \Delta H$$

$$P_{min} = \rho g H_{mín} \quad (69)$$

Donde:

$H_s$  = Altura de suministro (m).

$\Delta H$  = Presión generada por el golpe de ariete.

#### **2.2.5.19 Potencia útil del ariete**

Huamán (2021), menciona que la potencia que se requiere para poder elevar el fluido hasta el tanque de descarga es proporcional a la tasa del flujo multiplicado por la altura de descarga y el peso específico del agua.

$$PU = \gamma * qb * Hi \quad (70)$$

$$Hi = hd + \Sigma h + hi \quad (71)$$

$PU$  = Potencia útil (w),

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

$qb$  = Caudal de bombeo (m<sup>3</sup>/s),

$Hi$  = Altura de impulsión(m),

$\Sigma h$  = Sumatoria de pérdidas hidráulicas (m),

$hd$  = Altura de descarga (m)

$hi$  = Pérdidas inerciales (m).

### 2.2.5.20 Potencia recibida

Según, Chero (2018), para calcular la hacemos uso de la siguiente ecuación:

$$P_b = (Q_p + q_b) * \gamma * H_s \quad (72)$$

Dónde:

$P_b$ = Potencia recibida (W),

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

$Q_p$  = Caudal derramado por la válvula de impulso (m<sup>3</sup>/s)

$Q_p + q_b$ = caudal de alimentación.

### 2.2.5.21 Eficiencia de la bomba de ariete

Huamán (2021), indica que la eficiencia está dada por la relación entre la potencia útil entregada en la descarga y la potencia recibida en el ariete.

$$n = \frac{P_u}{P_b} \times 100 (\%) \quad (73)$$

Reemplazando las ecuaciones tenemos:

$$\eta = \frac{q_b * H_i}{(Q_p + q_b) * H_s} \times 100 (\%) \quad (74)$$

### 2.2.5.22 Rendimiento volumétrico

Huamán (2021), viene siendo la relación existente entre el caudal de entrega y el caudal de suministro de una bomba de ariete hidráulico.

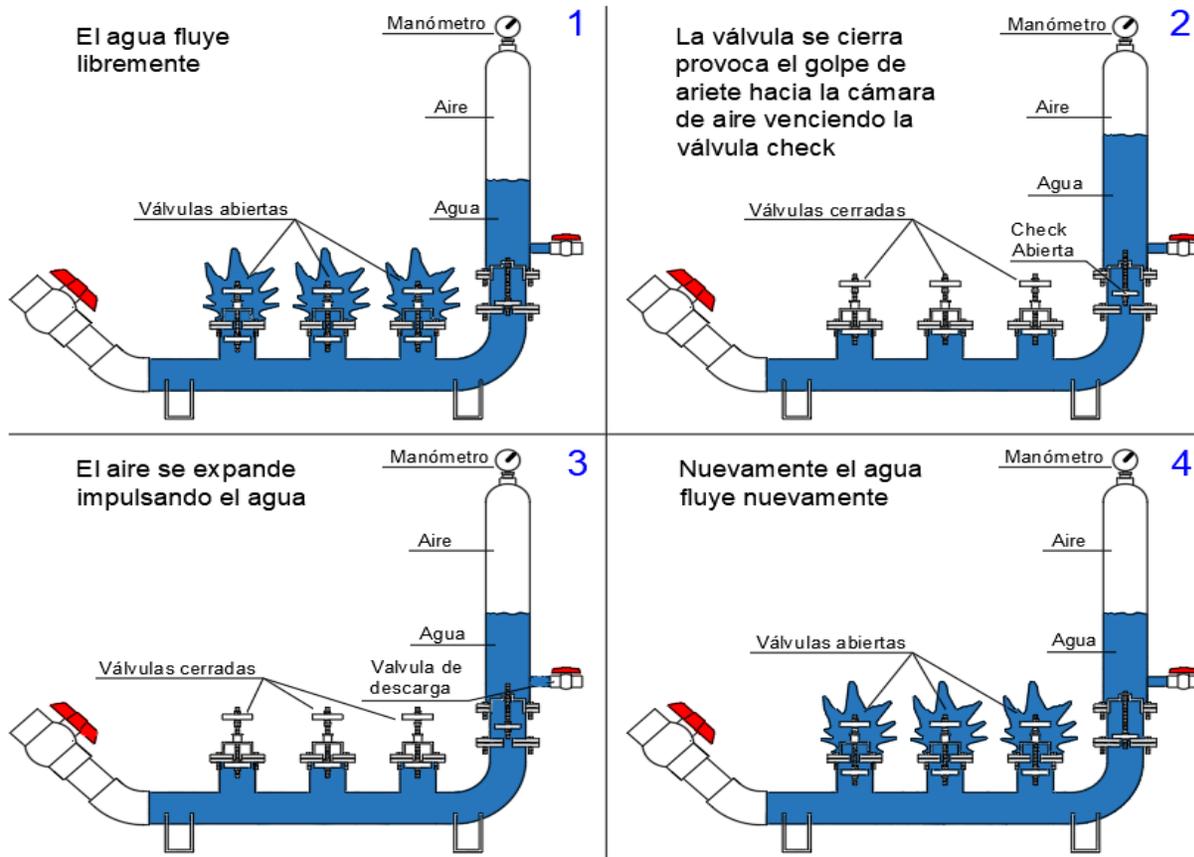
$$n_v = \frac{q_b}{(Q_p + q_b)} \times 100 (\%) \quad (75)$$

## 2.2.6 Principio de Funcionamiento de la Bomba de Ariete

Según, Quispe (2018), un ciclo de funcionamiento del ariete se puede dividir en cinco etapas:

- ✓ Apertura “de la llave de entrada.”
- ✓ El flujo de agua atraviesa la válvula del ariete, la cual, debido a la energía potencial y cinética del agua, se cierra rápidamente, generando así el golpe de ariete.
- ✓ El “golpe de ariete no se puede desfogar por ningún lado y abre la válvula permitiendo que cierta cantidad de agua entre en la cámara de aire.” El “aire se comprime y empuja en el tubo de salida el agua a través de la llave.”
- ✓ Terminada “la energía del golpe de ariete, la válvula se cierra gracias a un resorte debidamente calibrado o unas pesas que cumplen la misma función.”
- ✓ El “resorte de la válvula abre esta misma válvula, empieza a correr otra vez el agua y el ciclo se repite. (p. 32).

**Figura 8:** Principios fundamentales de la bomba de ariete

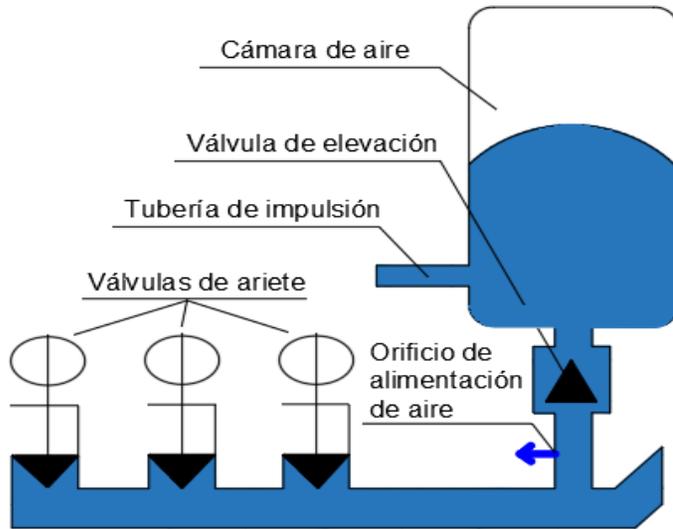


**Fuente:** (Quispe, 2018).

### 2.2.7 Bombas de ariete hidráulico multigolpe

En este sistema se utiliza una tubería de entrada con varias unidades multipulsoras para optimizar el caudal disponible, aumentando la potencia como la eficiencia. Esto permite mantener una relación baja entre la velocidad máxima del agua en el sistema y la velocidad del agua en el momento del cierre de las válvulas, lo que minimiza el contra impulso necesario para su apertura automática. Como resultado, se puede disminuir tanto la longitud como el diámetro de la tubería de impulso, (Acitores, 2012).

**Figura 9:** Bomba de ariete multigolpe



**Fuente:** (Escobar & Chicaiza, 2022)

### 2.2.8 Riego por aspersión

Es una técnica de riego muy utilizada hoy en día, que simula la lluvia al aplicar agua a través de aspersores. Estos aspersores están diseñados para diferentes presiones, áreas o tamaños, y su funcionamiento se ajusta en tiempo e intensidad según las condiciones del suelo, (García & Briones, 1997).

### 2.2.9 Textura de suelo

#### Prueba de la botella

Para encontrar la textura de suelo, realizamos el siguiente procedimiento.

- ✓ Coloque una capa de 5 cm de suelo dentro de una botella y llénela con agua.
- ✓ Agite la botella y déjela reposar durante una hora. Después de este periodo, el agua se volverá transparente y se notará que las partículas más grandes habrán sedimentado en el fondo.

- ✓ En el fondo hay una capa de arena;
- ✓ En el centro hay una capa de limo;
- ✓ En la parte superior hay una capa de arcilla. Si el agua no se torna completamente transparente, significa que parte de la arcilla más fina aún está mezclada con el agua.
- ✓ Mida la profundidad de la arena, el limo y la arcilla y calcule la proporción aproximada de cada uno

### **2.2.10 Diseño agronómico**

Se analizan todos los datos pertinentes para garantizar que el sistema de riego pueda proveer de manera eficiente el agua requerida por los cultivos durante períodos de alta demanda, asegurando la humedad adecuada en el suelo para un óptimo desarrollo de las raíces. (Villanueva, 2022).

#### **2.2.10.1 Necesidad Neta (Nn).**

La necesidad neta de agua por los cultivos es la diferencia del aporte la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) y las precipitaciones efectivas. Además, es importante considerar que, aunque pueda llover durante la temporada seca, esto no debe influir en la frecuencia de riego diario, dado que es poco probable que la lluvia ocurra entre dos períodos de riego consecutivos, (Villanueva, 2022).

Por lo cual da entender que:

$$Nn = ET_c \quad (76)$$

Donde:

Nn: Necesidad neta

$ET_c$ : Evapotranspiración real del cultivo

### 2.2.10.2 Humedad Aprovechable. Se expresa:

$$H. d (cm) = \frac{(CC-PM)*Da*Z}{100} \quad (77)$$

Siendo:

CC: Capacidad de Campo en peso %

PM: Punto de Marchitez en peso %

Da: densidad aparente  $1.33 \text{ g/cm}^3$

Z: profundidad radicular efectiva en cm

### 2.2.10.3 Lámina Neta (Ln)

Se define como la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo para cubrir las necesidades de la planta por un tiempo determinado, expresado en mm

$$Ln = \left[ \frac{\varphi_{cc} - \varphi_{pm}}{100} \right] * h * n * 1000 \quad (78)$$

Donde:

CC: contenido de humedad del suelo a capacidad de campo (% en peso).

PM: Contenido de humedad del suelo en el punto de marchitamiento (% en peso).

h: Profundidad radicular efectiva (m).

n: coeficiente de agotamiento (%)

Para calcular la lámina se toman los datos de capacidad de campo y punto de marchitez indicados en la Tabla (3).

**Tabla 3:** Parámetro de tipo de suelo

Parámetro	Da ( $g \cdot cm^3$ )	Cc (%)	Pm (%)
Arenoso	1.65	9	4
Franco - arenoso	1.5	14	6
Franco	1.4	22	10
Franco - arcilloso	1.33	27	13
Arcillo - arenoso	1.3	31	15
Arcilloso	1.25	36	17

**Fuente:** (Portal frutícola, 2019)

Datos para el tipo de suelo:

**Tabla 4:** Velocidad de infiltración

Descripción	Valor (mm/h)
Muy arenoso	20 - 25
Arenoso	15 - 20
Areno – Limoso	10 - 15
Limo – Arcilloso	8 - 10
Arcilloso	<8

**Fuente:** Traxco (2019)

#### 2.2.10.4 Eficiencia de Riego (Ea).

Para (García y Briones,1997) “la eficiencia de aplicación está en función a la región climatológica donde trabaje el sistema de riego por aspersión” (ver Tabla 5).

**Tabla 5:** Eficiencia de aplicación del agua en los sistemas de riego por aspersión.

Región climatológica	Agua Útil (%)
Humedad o clima frio	80
Clima moderado	75
Clima seco y árido	70
Clima desértico	65

**Fuente:** García y Briones (1997)

#### 2.2.10.5 Lámina Bruta (Lb).

Villanueva (2022), es la lámina que cuantifica el agua que se debe aplicar en el riego ya que considera las pérdidas por lo cual la lámina bruta siempre será mayor que la neta.

#### 2.2.10.6 Frecuencia de Riego (Fr).

Representa el mayor intervalo entre riegos consecutivos y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Fr(dias) = \frac{Hd (cm)}{ET_c (mm.dia^{-1})} \quad (79)$$

### **2.2.10.7 Tiempo de riego (Tr).**

Según Villanueva (2022), “el riego por aspersión depende de la lámina bruta (Lb) de agua que se pretenda aplicar y de la precipitación media del sistema (Pms)”, de la cual se desprende la siguiente ecuación:

$$Tr(h) = \frac{Hd}{ef*va} \quad (80)$$

Donde:

ef: Eficiencia de riego

va: Velocidad de aplicación

### **2.2.10.8 Caudal necesario (m3 /h).**

Se determina con la siguiente expresión.

$$Q = \left[ \frac{S*Lb}{fr} \right] * 10 \quad (81)$$

Donde:

S: Superficie a regar en hectáreas

### **2.2.11 Diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión**

Se sugiere que, en un sistema de riego tecnificado destinado a áreas verdes, se divida el área en sectores considerando la forma geométrica de la zona a regar. Esto facilitará la selección apropiada de los aspersores y las distancias adecuadas entre ellos. Al planificar el sistema de riego por aspersión, es importante tener en cuenta ciertos criterios específicos, (Villanueva, 2022).

### 2.2.11.1 Precipitación Media del Sistema:

Expresado en (mm/h) viene dado por la siguiente expresión:

$$Pm = \frac{q_a}{A_r} \quad (82)$$

Donde:

$q_a$ : Es el caudal del aspersor seleccionado, en l/h

$A_r$ : Es el marco de riego en  $m^2$ .

### 2.2.11.2 Marco de Riego:

Villanueva (2022), Es la distancia en la que se dispondrán los aspersores en la parcela, calculada por lo general entre dos distancias, la primera es la distancia dada entre el radio mojado del aspersor ( $L$ ) y la segunda es la distancia entre líneas de aspersores ( $L'$ ). Según la forma de la superficie se puede calcular: (p. 30),

Rectangular:  $A = L * L'$

cuadrado:  $A = l^2$

triangular:  $A = \frac{l^2 \sqrt{3}}{2}$

### 2.2.11.3 Solape:

Solape solapamiento =  $2 - \% \text{ solapamiento}$

#### 2.2.11.4 Número de Aspersores:

Viene dado por la siguiente expresión:

$$N^{\circ} Asp = \frac{(La - X1 - X2)}{e} \quad (83)$$

Dónde:

La= Longitud del área a regar

X = Distancia entre cotas

e = Separación entre aspersores

#### 2.2.11.5 Pérdidas de Energía por Fricción:

##### Ecuación de Hazen-Williams.

Determinada por el coeficiente C que representa una característica del tubo y del fluido.

Considerando para tuberías matrices de diámetro mayor igual a 63mm  $\approx$  2 pulgadas (Villanueva, 2022)

$$Hf = 1.131 * 10^9 L(Q/C)^{1.852} D^{-4.871} \quad (84)$$

Donde:

Hf: Pérdida de carga por fricción (mca)

L: Longitud (m)

Q: Caudal (m<sup>3</sup> /h)

D: diámetro interior (mm)

**Rugosidad Relativa.** Según (Monge Redondo,2018) “la rugosidad entre tuberías C tienden a variar por su antigüedad convirtiéndose en más rugosas por lo cual el coeficiente disminuye”.

**Tabla 6:** Coeficiente de rugosidad Hazen - Willams para diferentes materiales

Material	C
PVC	150
Acero	140
Asbesto Cemento	135
Plástico corrugado	125
HDPE	150

**Fuente:** Adaptado de Saldarriaga (1998)

#### 2.2.11.6 Pérdidas Locales:

“Las pérdidas locales de energía son generadas por accesorios de distancias relativamente cortas. Si las longitudes equivalentes para un rango de tamaño de un accesorio dado se dividen por los diámetros de los accesorios, se obtiene una relación casi constante ( $L_e/D$ )” (Monge Redondo,2018).

En la siguiente tabla se podrá calcular la pérdida de carga en los accesorios en función al tipo de accesorio a diseñar bajo el material HDPE:

**Tabla 7:** Pérdidas locales en función al diámetro en tuberías de HDPE

Tipo de Accesorio	Longitud Equivalente
Tee	6D/15D

Codo segmentado de 90°	9D
Codo segmentado de 60°	8D
Codo segmentado de 45°	6D
Yee 45°	18D
Válvula globo convencional abierta complementaria	107D
Válvula de ángulo convencional	55D
Válvula de compuerta convencional	5D
Válvula mariposa	12D
Válvula check	30D
Reducción	18D

**Fuente:** (Villanueva, 2022)

### 2.2.11.7 Carga Dinámica Total en el Sistema de Riego:

Para Saldarriaga (2007) “la carga dinámica total es la sumatoria de las energías contra las cuales la bomba trabaja para mover el fluido de un punto a otro”, por lo cual se expresa como:

$$H_t = h_p + h_s + h_{accesorios} + h_{cotas} + h_{emisor} + h_{cabezal} \quad (85)$$

Donde:

$h_p$ : Pérdida de carga total de la tubería matriz de Riego

$h_s$ : Pérdida de carga total de la tubería secundaria de riego

$h_{accesorios}$ : Pérdida de accesorios en la tubería secundaria de riego

$h_{emisor}$ : Presión de trabajo del aspersor

### 2.2.11.8 Diámetro Interno de la tubería:

#### - Longitud del lateral

Para Faneci (2023), se calcula de la siguiente manera:

$$L = L_0 + S * (n - 1) \quad (86)$$

De dónde:

L = Longitud del lateral (m)

S = Separación de aspersores (m)

n = número de aspersores

#### - Longitud ficticia

Según Faneci (2023), se calcula de la siguiente manera:

$$L_f = 1.1xL \quad (87)$$

De dónde:

L = Longitud del lateral (m)

#### - Caudal en el origen del lateral

Para Faneci (2023), se calcula de la siguiente manera:

$$Q = nxq \quad (88)$$

Dónde:

q = caudal del aspersor

n = número de aspersores

- **Pérdida de carga máxima**

$$H_{fmax} = 0.20 \times H_{presión} \quad (89)$$

- **Diámetro**

Para calcular el diámetro, se realiza iteraciones de tal forma que la pérdida no sea mayor a la pérdida de carga máxima.

- **Coefficiente “K”**

$$K = \frac{10.67 \times L}{C^{1.852} \times D^{4.87}} \quad (90)$$

Dónde:

K = coeficiente de resistencia a la fricción del agua

L = Longitud del lateral (m)

C = Coeficiente del material

D = Diámetro interno (m)

- **Pérdida de carga total**

$$H_f = K \times Q^{1.852} \quad (91)$$

H<sub>f</sub> = Pérdida de carga total (m)

$K$  = coeficiente de resistencia a la fricción del agua

$Q$ : Caudal de bombeo ( $m^3/h$ )

Tener en cuenta que:  $H_f < H_{fmax}$

### **2.2.11.9 Eficiencia hidráulica de un sistema de agua**

La eficiencia hidráulica de un sistema se refiere a la capacidad del sistema para utilizar el agua de manera óptima y minimizar las pérdidas durante su transporte, almacenamiento y uso.

Para calcular la eficiencia del sistema hacemos uso de la siguiente ecuación.

$$E_s = E_{cap} * E_b * E_{alm} * E_c * E_d * E_a \quad (92)$$

Donde:

Eficiencia de captación ( $E_{cap}$ )

Eficiencia de la bomba de ariete ( $E_b$ )

Eficiencia de almacenamiento ( $E_c$ )

Eficiencia conducción ( $E_c$ )

Eficiencia de distribución ( $E_d$ )

Eficiencia de aplicación ( $E_a$ )

### **2.2.12 Eficiencia de aplicación**

La eficiencia de aplicación de riego es la cantidad de agua útil para el cultivo que queda en el suelo después de un riego, en relación al total del agua que se aplicó. Generalmente se mide en porcentaje

o litros de agua útil en el suelo por cada 100 litros aplicados, (Minagri, 2015), las variables que intervienen en la eficiencia de aplicación son: la escorrentía (E), pérdidas por evaporación y arrastre (Pevap) y percolación profunda (PP), se pueden medir directamente, excepto ésta última. La escorrentía es la variable más compleja de medir y el procedimiento es recoger el agua en un punto de la parcela y medir con un aforador. La variable de pérdidas por evaporación y arrastre se mide directamente en campo y a través de una evaluación del sistema de riego en condiciones reales de funcionamiento. (SAR, 2001).

#### **2.2.12.1 Pérdidas por evaporación y arrastre**

Stamboull, Zapata, Martinez, & Faci (2022), menciona que las pérdidas por evaporación y arrastre, es la diferencia entre la descarga de los aspersores y la lámina media recogida en los pluviómetros, para su cálculo se usa la siguiente ecuación:

$$PEA(\%) = \frac{(Lb - Lcc)}{Lb} * 100 \quad (93)$$

Donde:

Lb: Lámina bruta media del riego aplicado, en mm,

Lcc: Lámina media recogida de la malla de los pluviómetros, en mm

#### **2.2.12.2 Uniformidad de distribución**

Delgado, Ladino, & Areas (2021), mencionan que la uniformidad de distribución es un indicador de la uniformidad de altura de agua infiltrada a lo largo y ancho de la parcela. Las zonas recomendables para calcular la uniformidad son: la parte próxima al cabezal, la mitad del lote y el área más alejada.

Una vez seleccionadas las áreas de evaluación, se procede con la instalación de una red de recipientes sobre el suelo, formando una malla de 2x2 metros entre dos laterales. La uniformidad de distribución, se calcula mediante la siguiente ecuación. (p. 90)

$$UD = \frac{V_{25\%}}{V_m} * 100 \quad (94)$$

Donde:

$V_m$ : La media de todos los volúmenes medidos en cada uno de los vasos.

$V_{25\%}$ : La media de los volúmenes medidos en la cuarta parte de los vasos que han recogido menos agua.

### **2.2.12.3 Percolación profunda**

Salvatierra (2020), Filtración profunda o percolación es cuando el agua aplicada sobre la superficie del suelo se infiltra, pasa poco a poco hacia capas más profundas.

Una vez obtenidas estas dos variables descritas anteriormente y considerando un manejo apropiado de riego (sin escorrentía y aportando la lámina requerida), obtendremos el valor de Eficiencia de aplicación, procediendo según la ecuación siguiente:

$$Ea = 100 - PEA - PP \quad (95)$$

El dato de percolación profunda (PP), se obtiene indirectamente con el dato de Uniformidad de Distribución.

**Tabla 8:** Percolación profunda para diferentes valores de uniformidad de distribución en riego por aspersión

<b>UD</b>	75	80	85	90	95
<b>PP</b>	32	25	19	13	6

**Fuente:** (Salvatierra, 2020)

**Tabla 9.** Eficiencia de aplicación

Método de Riego	Rango de Eficiencia de Aplicación en Porcentaje (%)
Riego por aspersión	50 - 90
Riego por Microjet	60 - 95
Riego por goteo	65 - 95

**Fuente:** (Minagri, 2015)

### 2.2.13 Eficiencia de almacenamiento

La eficiencia de un reservorio está en función del diseño y buen manejo, de tal forma que las pérdidas por infiltración y evaporación sean mínimas, para calcular esta eficiencia está en función de los volúmenes medidos al inicio y final, mediante un tiempo determinado, (Mefca & Consude & Catie, 2018).

**Cálculo del volumen efectivo (Ve).** Este es el volumen de agua que realmente se mantiene en el tanque después de considerar las pérdidas:

$$V_e = V_f + P_e + P_f \quad (96)$$

$$E_{alm} = \frac{V_e}{V_T} * 100 \quad (97)$$

Donde:

V<sub>f</sub>: volumen final

Pe= Pérdida por evaporación

Pf= Pérdida por filtración

V<sub>T</sub>: volumen total

#### 2.2.14 Eficiencia de conducción

La eficiencia de conducción permite evaluar la pérdida de agua en el canal principal desde la bocatoma hasta el punto final del canal principal, (Minagri, 2015)

$$E_c = \frac{\text{Caudal que llega al final del canal principal} + \sum \text{Caudales de distribución}}{\text{Caudal de agua que entra al canal principal}} * 100 \quad (98)$$

#### 2.2.15 Eficiencia de captación

Según (Huamán, 2003) menciona que la eficiencia de la captación es la relación entre el caudal de ingreso por el bocal, según las condiciones que se encuentra y el caudal requerido para satisfacer la demanda. La eficiencia de la captación esta dado por la siguiente expresión.

$$E_c = \frac{Q_f}{Q} * 100 \quad (99)$$

Donde:

E<sub>c</sub>= eficiencia de la captación, en %

Q<sub>f</sub>= caudal que ingresa por el bocal

Q= caudal requerido.

## CAPÍTULO III

### 3 METODOLOGÍA

#### 3.1 MATERIALES Y MÉTODOS

##### 3.1.1 Materiales y equipos

Para dicha investigación se usaron software para facilitar el trabajo, además algunos materiales para realizar mediciones y finalmente los resultados, a continuación, se describe:

##### **Materiales para construcción de la captación.**

- Cemento
- Arena gruesa
- Grava

##### **Materiales y equipos para construcción e instalación de la bomba de ariete multigolpe.**

- Tubería PVC CL-10.
- Válvula globo de Ø3”.
- Codo de 45° Ø3”.
- Niple roscado de Ø3”.
- Tubería galvanizada para construcción de la bomba de ariete Ø3”.
- Tanque de extintor, para la construcción de la cámara de aire de Ø4”.
- Pesas de 0.300 y 0.600 kg
- Manómetro
- Válvula de Ø1 1/2”, para la tubería de impulsión.
- Manguera de polietileno de Ø1 1/2”.

### **Materiales para el almacenamiento**

- Tanque de almacenamiento de 1200 lt.

### **Materiales para la conducción**

- Tubería HDP de Ø2"
- Válvula de control de Ø2"

### **Materiales para la aplicación de riego**

- Tubería de HDP Ø ½".
- Reducción de Ø1" – ½"
- Aspersores

### **Equipos e instrumentos utilizados en campo**

- Gps
- Estación total
- Wincha
- Libreta de apuntes

### **Softwares utilizados**

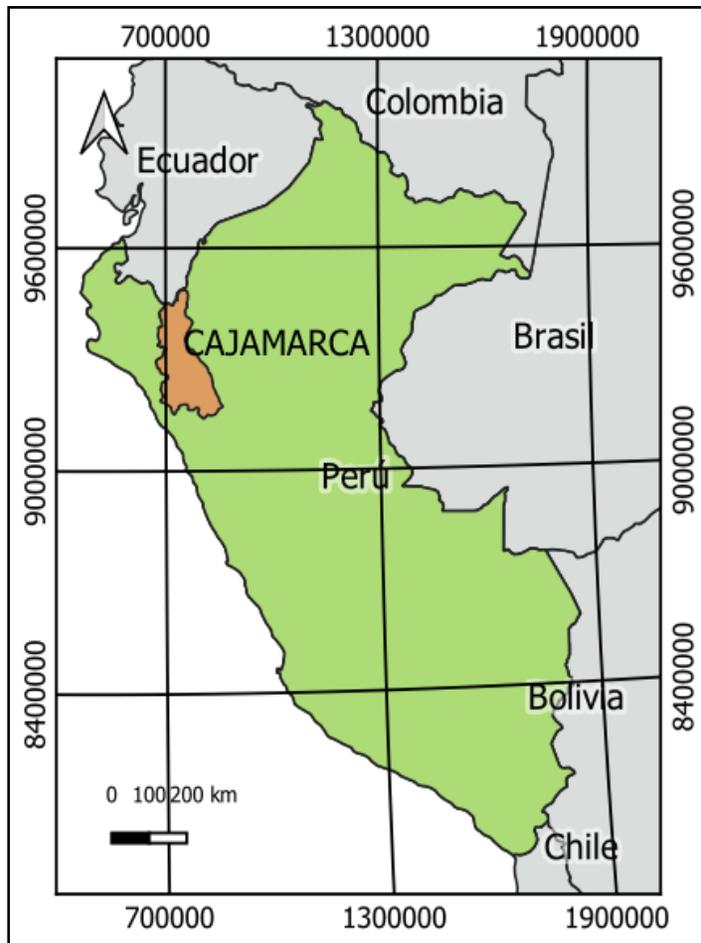
- Microsoft Word 2019: Para la redacción de la tesis.
- Microsoft Excel 2019: Para realizar cálculo de la elaboración de cedula de cultivo y el cálculo de la eficiencia del sistema.
- Autocad Civil 3D 2018: Para la elaboración perfiles y planos.
- Google Earth: para la ubicación de la zona de estudio.

- QGis: Para la ubicación de la zona de estudio.

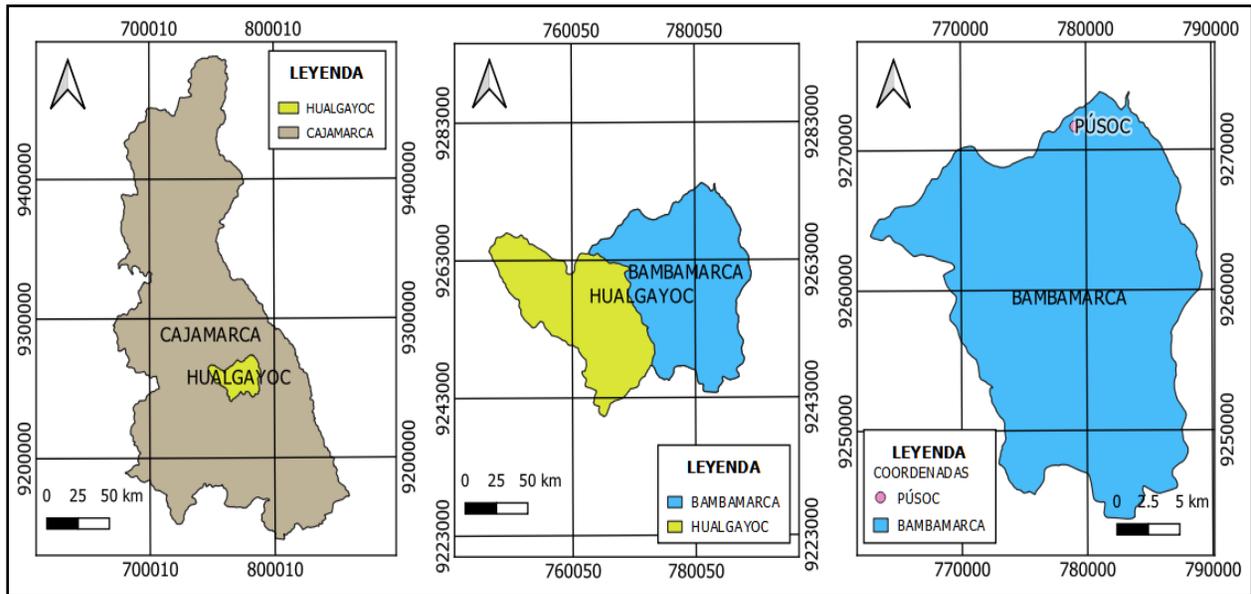
### Ubicación de la zona de estudio

El área de estudio se localiza en la región de Cajamarca, en la Provincia Hualgayoc, distrito de Bambamarca, en el sector Surmayo, del centro Poblado de Púsoc.

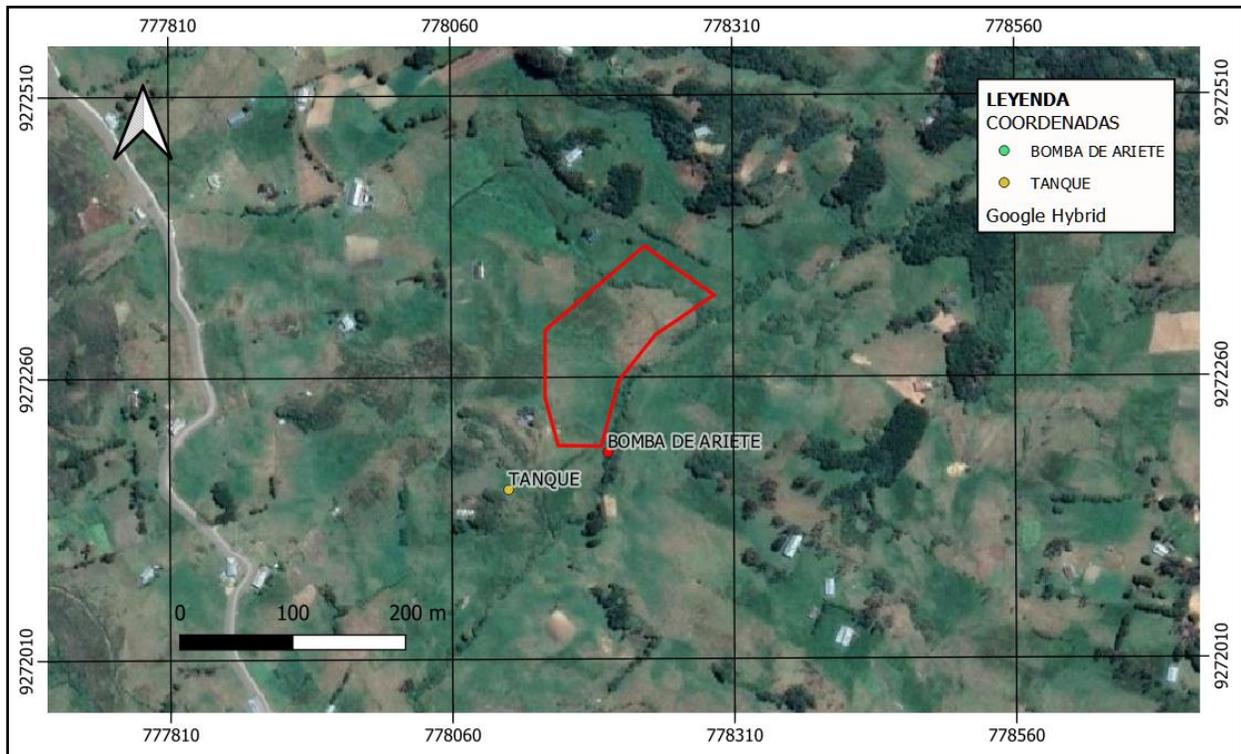
**Figura 10:** Mapa geográfico del Perú



**Figura 11:** Mapa departamental, provincial y distrital



**Figura 12:** Ubicación de la zona de investigación – Sector Surmayo del Centro Poblado Púsoc – Bambamarca.



**Fuente:** Google Earth, 2020

## Características resaltantes de la zona de estudio

### Ubicación

El centro poblado de Púsoc limita con:

Noreste: Centro poblado el Lirio

Sureste: Centro poblado el Mirador

Sur: Centro poblado el Romero

Oeste: Centro poblado el Naranjo

### Características geográficas

LOCALIDAD	COORDENADAS		RANGO ALTITUDINAL	
	LATITUD	LONGITUD	M.S.N.M.	REGIÓN
C.P. PÚSOC	6° 35' 13" S	78° 28' 37.3" W	2977	SIERRA

### **Vías de acceso**

El acceso al Sector Surmayo desde la ciudad de Bambamarca se realiza a través de una carretera enripiada que conecta los distritos de Bambamarca y Chalarca – Chota. Esta carretera pasa por los centros poblados de Tallamac y El Romero, culminando en el Centro Poblado de Púsoc, con un recorrido total de 21.4 km. Desde el centro poblado de Púsoc, se continúa 1.5 km en la misma dirección por la carretera enripiada hacia el Centro Poblado El Lirio - Chalarca, alcanzando

finalmente el Sector Surmayo. El tiempo estimado de viaje desde el distrito de Bambamarca es de aproximadamente 1 hora con 40 minutos en vehículo. Una vez en la zona de investigación, el transporte se realiza a pie, cubriendo una distancia de 500 metros.

### **Topografía y tipo de suelo**

El centro poblado de Púsoc presenta una topografía accidentada y los suelos son aptos para agricultura y ganadería.

### **Población:**

Según, la Municipalidad del CP Púsoc (2023), el centro poblado de Púsoc cuenta aproximadamente con 372 viviendas y con un total de 741 personas. Además, cuenta con instituciones de inicial y primaria y un puesto de salud.

### **Situación económica:**

En el centro poblado de Púsoc, las principales fuentes de ingreso provienen del sector agropecuario. La agricultura y la ganadería son las actividades predominantes que contribuyen significativamente a los ingresos de la población. En la agricultura, los habitantes se dedican a la siembra, el desarrollo, la cosecha, el transporte y la comercialización de diversos productos agrícolas. Los cultivos más comunes incluyen trigo, maíz, cebada, papa, oca y olluco. Por otro lado, en la ganadería, los ingresos se generan principalmente a través de la venta de animales y la producción de leche (Municipalidad del CP. Púsoc, 2023).

## 3.2 Metodología del trabajo

### Procedimiento para el desarrollo de la investigación

Se llevó a cabo el reconocimiento de campo en la zona beneficiada por la irrigación y en la quebrada 'Tacshana' para identificar el punto más estratégico, para la instalación del sistema de bomba de ariete multigolpe. Posteriormente, se realizó el levantamiento topográfico del terreno a irrigar y de la quebrada, con el fin de determinar las cotas necesarias para la captación, la altura de suministro e impulsión de la bomba, la ubicación del tanque de almacenamiento y las cotas de los aspersores.

**Foto 1:** Reconocimiento de campo en el sector Surmayo del centro poblado Púsoc -Bambamarca.



**Foto 2:** Levantamiento topográfico de la zona beneficiada por irrigación y de la quebrada Tacshana



### **3.2.1 Aforar la quebrada Tacshana, en los meses de lluvia y estiaje.**

En la quebrada Tacshana se realizaron, los aforos correspondientes mediante los métodos del flotador y el método volumétrico.

#### **Método del flotador:**

Para el método del flotador, se utilizó para los meses lluviosos de abril – mayo. Para dicho método se eligió un tramo recto de 9 metros, donde midió la longitud del espejo de agua y a una equidistancia de 0.20 m se tomó lectura del tirante de agua, de esta manera se calcula el área de la sección.

Para determinar la velocidad se colocó el flotador en el punto de inicio y cuando comience a moverse se registra el tiempo que demora en llegar al punto final. Este proceso se repite varias veces. Para calcular el caudal haremos uso de la Ec. (15), para el factor de corrección, se hará uso de la Tabla 2. Finalmente se obtendrá un caudal promedio de todos los aforos.

**Foto 3:** Aforo de la quebrada Tacshana mediante el método del flotador



### **Método volumétrico**

Durante la temporada de estiaje, de junio a septiembre, se empleó el método volumétrico para medir el caudal de la quebrada Tacshana. Se captó el flujo a través de una tubería de PVC de 6 pulgadas de diámetro. Para el aforo, se utilizó un recipiente graduado de 50 litros, que se colocó en el cauce de la quebrada y se cronometró el tiempo necesario para llenarlo; este procedimiento se repitió varias veces para garantizar la fiabilidad de los datos. Para calcular el caudal aforado, se hizo uso de la Ec. (16).

### **3.2.2 Altura de suministro y altura de entrega, de la bomba de ariete multigolpe**

Se realizó el levantamiento topográfico con estación “Leyca ts10”. Con la data obtenida en campo se realizó el procesamiento de datos en gabinete, usando el software Civil 3D, donde se determinó las cotas de la tubería de suministro y de la tubería de entrega. Estos datos, servirán para el diseño de la bomba de ariete hidráulico multigolpe.

### **3.2.3 Relacionar el caudal de suministro y el caudal de entrega, utilizando una bomba de ariete multigolpe.**

#### **Selección de la bomba**

Con los datos de topografía obtenidos en gabinete, se realizó el diseño de la bomba y se seleccionó el diámetro de tubería de suministro y entrega, de tal manera que cubra el requerimiento de agua para el cultivo de papa. El diámetro seleccionado de la tubería de suministro fue de 3” y el diámetro de la tubería de impulsión de 1 1/2”, operando con 3 válvulas de impulso.

**Foto 4:** Selección de la bomba de ariete multigolpe



## **Caudal de suministro**

Se determinó el caudal de suministro teórico, haciendo uso de la Ec. (47) y que está en función de las pérdidas de fricción, longitud de tubería, rugosidad relativa, el diámetro y la viscosidad del fluido. Para determinar el caudal de suministro real, se realizará mediante el método volumétrico.

**Foto 5:** Aforo del caudal de suministro por el método volumétrico.



## **Caudal de entrega**

Para calcular el caudal de entrega teórico se hizo uso de la Ec. (19), teniendo como variables el diámetro de tubería, la velocidad, el tiempo del periodo de aceleración, el tiempo de periodo de bombeo el tiempo del periodo de retroceso y el tiempo del ciclo. Para determinar el caudal de entrega real, se realizó mediante el método volumétrico.

**Foto 6:** Caudal de entrega de la bomba de ariete multigolpe



Para determinar la relación de caudales aplicamos la Ec. (75), Además se realizará un cuadro comparativo de los caudales teóricos y reales (Tabla 14).

### **3.2.4 Eficiencia hidráulica del sistema de agua, para uso agrícola, utilizando una bomba de ariete multigolpe en el sector Surmayo**

Para calcular la eficiencia hidráulica del sistema de manera óptima, es crucial considerar:

#### **Demanda de agua para el cultivo de papa**

##### Evotranspiración de cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>)

Para calcular la demanda de agua, se realizó mediante el método de Penman Monteith, haciendo uso de la Ec. 1. Los datos de temperatura y humedad relativa, fueron obtenidos de la página web de Senamhi.

### Evotranspiración de cultivo (ETc)

Para calcular la evapotranspiración del cultivo (ETc), utilizamos la Ec. 11, en la cual el coeficiente del cultivo (Kc) se obtiene de la Tabla 1 y la evapotranspiración de referencia (ETo) se calcula según la Ec. 1.

### Demanda de agua

Para calcular la demanda de agua, utilizamos la Ec. 14, en la cual el ETc y PE han sido calculados previamente.

### **Textura de suelo**

Para determinar la textura del suelo, se colocó una muestra de 5 cm de suelo en una botella transparente. Después, se añade agua y se agita para que los componentes se separen naturalmente. Con el tiempo, se observa que se forma una capa de arena en el fondo, seguida de limo en el centro y arcilla en la parte superior. Se mide la altura de cada capa y se calcula el porcentaje correspondiente de cada tipo de suelo. Finalmente, se utilizan estos porcentajes para determinar la textura del suelo utilizando el triángulo de textura de suelos, según se muestra en la Tabla 10.

**Foto 7:** Textura de suelo



### **Diseño agronómico**

Se llevó a cabo el diseño agronómico para el área de riego en el sector Surmayo del centro poblado Púsoc, donde se calcularon los siguientes parámetros:

- Necesidad neta: Viene siendo lo mismo que el ETc, Ec 11.
- Humedad aprovechable: Para calcular la humedad aprovechable usamos la Ec. 77, para ello se tiene en cuenta la textura de suelo ya determinada y los valores de CC(%), Pm(%), y la DA(%), se obtienen de la Tabla 3.
- Lamina neta: Para calcular la lámina neta usamos la Ec. 78, para ello se tiene en cuenta la textura de suelo ya determinada y los valores de CC(%), Pm(%), estos valores se obtiene de la Tabla 3, profundidad radicular, y el coeficiente de agotamiento.
- Frecuencia de riego: Se calcula mediante la Ec. 79 y se obtiene dividiendo la humedad aprovechable y el ETc.

- Tiempo de riego: Se calcula mediante la Ec. 80 y reemplazando los valores de humedad aprovechable, eficiencia de riego (Tabla 5) y velocidad de aplicación (Tabla 4).
- Caudal necesario: Se calcula mediante la Ec. 81.

### **Diseño hidráulico.**

El diseño hidráulico se realizó con el software WaterCAD, empleando la topografía generada previamente en el gabinete para modelar las tuberías de conducción y distribución del sistema de riego por aspersión. Este proceso nos permitió obtener resultados sobre la presión, velocidad, caudal y diámetro de las tuberías.

A continuación, se describe el procedimiento para calcular la eficiencia hidráulica del sistema de agua en el sector Surmayo.

#### **3.2.4.1 Eficiencia de aplicación**

Se realizó el cálculo de la eficiencia de aplicación, para ello se hizo uso de la Ec. 95, donde está en función de las pérdidas por evaporación y arrastre y percolación profunda, a continuación, se detalla la metodología del cálculo de éstas.

#### **Perdida por evaporación y arrastre**

Se realizó el cálculo mediante la Ec. 93, donde:

- ✓ Lamina bruta: Viene siendo el aforo del caudal de los aspersores, mediante el método volumétrico y finalmente se saca un promedio.
- ✓ Lamina recogida en los pluviómetros: Se mide el volumen de agua que se almacena en los pluviómetros en cierto tiempo, finalmente se saca un promedio.

### **Uniformidad de distribución**

Se realizó el cálculo mediante la Ec. 94.

- ✓ Volumen de los vasos: Se midió los volúmenes de los vasos y se calculó un promedio.
- ✓ Volúmenes medidos en la cuarta parte que han recogido menos agua: Aquí se eligen los vasos con menos agua y se saca un promedio.

Finalmente, con los datos obtenidos de pérdidas por evaporación y arrastre y uniformidad de distribución se procede a calcular la Eficiencia de aplicación.

#### **3.2.4.2 Eficiencia en la línea de conducción**

Para determinar esta eficiencia, se llevó a cabo aforos, utilizando el método volumétrico tanto en la salida del tanque de almacenamiento como en la descarga de la tubería de conducción. De esta manera, se calculó la eficiencia en la línea de conducción.

#### **3.2.4.3 Eficiencia en el tanque de almacenamiento**

Se realizó una lectura en el tanque de almacenamiento para determinar las pérdidas por evaporación e infiltración, con el fin de calcular la eficiencia del tanque en esta investigación.

#### **3.2.4.4 Eficiencia de la Bomba de ariete hidráulico multigolpe**

Con la demanda de agua previamente calculada, se procedió al diseño de una bomba de ariete hidráulico multigolpe que satisfaga las necesidades de riego del cultivo de papa. Para ello, se llevó a cabo un levantamiento topográfico en la quebrada Tacshana para determinar el desnivel desde la captación hasta la ubicación de la bomba de ariete multigolpe, así como el desnivel desde la bomba

hasta el tanque de almacenamiento. Utilizando bibliografía encontrada en tesis y otras fuentes, se realizó los cálculos de los parámetros necesarios para la bomba.

Finalmente, con los datos obtenidos sobre los desniveles de suministro e impulsión, así como los caudales de entrada y salida, se procedió al cálculo de la eficiencia de la bomba de ariete multigolpe.

#### **3.2.4.5 Eficiencia de captación:**

Para calcular la eficiencia de captación, se captó una porción del agua de la quebrada Tacshana, la cual representa el caudal que ingresa al bocal. El caudal requerido corresponde al caudal de suministro necesario para la bomba de ariete.

**Foto 8:** Ubicación de la captación para la bomba de ariete multigolpe



## CAPÍTULO IV

### 4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 RESULTADOS

##### 4.1.1 Cálculo de la demanda de agua

###### Uso del software CROPWAT 8.0

Para determinar la demanda de agua, se utilizó el software CROPWAT 8.0. Este software emplea modelos simplificados del ciclo de crecimiento de cultivos para calcular la demanda de agua, utilizando información sobre el suelo, el clima y las características específicas del cultivo.

Los datos que se requieren para dicho cálculo, fueron recolectados de la estación meteorológica “Bambamarca”, estos datos fueron: Temperatura mínima, temperatura máxima, humedad relativa, velocidad del viento, insolación y precipitación.

se utilizó el software CROPWAT 8.0 para estimar la demanda de agua basándose en modelos simplificados del ciclo de crecimiento de cultivos. Este programa utiliza datos sobre el suelo, el clima y las características particulares del cultivo. Los datos necesarios para este cálculo fueron obtenidos de la estación meteorológica “Bambamarca” e incluyen la temperatura mínima, temperatura máxima, humedad relativa, velocidad del viento, horas de insolación y precipitación.

**Figura 13:** Datos obtenidos para la Eto, mediante el software CROPWAT 8.0

Eto Penman-Monteith Mensual - C:\Users\msi\Documents\eto.PEM

País PERU Estación Bambamarca

Altitud 3035 m. Latitud 6.35 °S Longitud 78.51 °W

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación horas	Rad MJ/m <sup>2</sup> /día	Eto mm/día
Enero	11.1	20.3	82	0.9	4.2	16.2	3.08
Febrero	11.4	20.3	83	0.8	3.6	15.4	2.97
Marzo	11.7	20.1	85	0.8	3.4	14.8	2.84
Abril	11.5	20.6	85	0.9	4.7	15.9	2.94
Mayo	10.8	20.9	83	1.0	5.8	16.2	2.92
Junio	9.5	20.7	80	1.2	6.4	16.2	2.87
Julio	8.8	20.7	78	1.3	6.7	16.9	2.99
Agosto	9.0	21.4	75	1.4	6.5	17.9	3.29
Septiembre	10.2	21.6	76	1.4	5.8	18.1	3.44
Octubre	10.9	21.5	78	1.2	4.9	17.2	3.35
Noviembre	10.4	21.6	77	1.1	5.2	17.7	3.42
Diciembre	11.1	20.7	81	1.0	4.6	16.6	3.18
Promedio	10.5	20.9	80	1.1	5.2	16.6	3.11

**Figura 14:** Datos obtenidos para la precipitación

Precipitación mensual - C:\ProgramData\CROPWAT\data\rain\PP EFECTIVA.CRM

Estación BAMBAMARCA Método Prec. Ef Fórmula FAO/AGLW

	Precipit. mm	Prec. efec mm
Enero	83.1	42.5
Febrero	95.0	52.0
Marzo	135.7	84.6
Abril	80.1	40.1
Mayo	43.5	16.1
Junio	15.8	0.0
Julio	12.2	0.0
Agosto	12.2	0.0
Septiembre	24.1	4.4
Octubre	99.2	55.3
Noviembre	91.2	49.0
Diciembre	88.5	46.8
Total	780.6	390.7

Con los resultados obtenidos de  $E_{To}$  para todos los meses del año utilizando el software CROPWAT 8.0, donde septiembre se destaca como el mes más desfavorable con un valor de 3.44 mm/día, procedemos al cálculo de  $E_{Tc}$  utilizando la Ec. (4) y el valor correspondiente de  $K_c$  según la Tabla 1.

$$E_{Tc} = K_c * E_{To}$$

$$E_{Tc} = 1.1 * 3.44 \text{ mm/día}$$

$$E_{Tc} = 3.78 \text{ mm/día}$$

### **Cálculo de la precipitación efectiva (PE).**

Para hacer este cálculo debemos tener en cuenta si la precipitación media es mayor o menor a 75 mm/mes, para este caso, la precipitación para el mes de setiembre es de 24.06 mm/mes, siendo menor a 75 mm/mes, por ello hacemos uso de la Ec. (13).

$$PE = 0.6 * P - 10$$

$$PE = 0.6 * 24.06 - 10$$

$$PE = 4.44 \text{ mm/mes}$$

$$PE = 0.15 \text{ mm/día}$$

### **Cálculo de la demanda de agua (DA).**

Con los datos calculados de PE y  $E_{Ta}$ , calculamos la demanda de agua, haciendo uso de la Ec. (7).

$$DA = 3.78 \text{ mm/día} - 0.15 \text{ mm/día}$$

$$DA = 3.64 \text{ mm/día}$$

Convertimos la demanda de agua de mm/día a L/s, considerando un área de 0.84 Ha, partimos de:

$$1\text{mm} = 1\text{L}/\text{m}^2$$

$$3.64 \frac{1\text{L}}{\text{dia} \cdot \text{m}^2} * \frac{1\text{dia}}{86400\text{ s}} * \frac{10000\text{m}^2}{1\text{Ha}} * 0.84\text{Ha}$$

$$\text{DA} = 0.35 \text{ L/s}$$

Los resultados del requerimiento de agua para todos los meses del año, se encuentran en el ANEXO

1.

#### **4.1.2 Diseño de la bomba de ariete**

##### **Consideraciones preliminares**

##### **Cálculo de la altura de descarga (Hd)**

Se obtuvo mediante la topografía del lugar.

$$\text{Hd} = 34.09 \text{ m}$$

##### **Cálculo de la altura de suministro (Hs)**

$$\text{HS} = \frac{1}{10}\text{Hd}$$

$$\text{HS} = \frac{1}{10} * 34.09 \text{ m}$$

$$\text{Hs} = 3.409$$

Mediante el levantamiento topográfico, la altura de suministro real fue:

$$\text{Hs} = 6.08 \text{ m}$$

Esta altura está dentro de los límites establecidos por (Martínez Montes, 2021):

$$1\text{m} \leq 6.08\text{m} \leq 20\text{m}$$

### **Cálculo de la longitud de la tubería de suministro**

Conociendo la altura de suministro de 6.08 m, procedemos a calcular la longitud de la tubería de suministro, mediante la Ec. (22).

$$L = 4 H_s$$

$$L = 4 * 6.08 \text{ m}$$

$$L = 24.32 \text{ m}$$

La longitud real de la tubería de suministro instalada en la quebrada Tacshana fue de:

$$19.83 \text{ m}$$

$$L = 19.83 \text{ m}$$

$$10\text{m} \leq 19.83\text{m} \leq 30\text{m}$$

Romero & Gutiérrez (2020), en sus investigaciones afirman que el ángulo debe estar entre 10° y 45°, por lo tanto, procederemos al cálculo del ángulo que forma la tubería de suministro con el terreno:

$$\sin \theta = H_s/s$$

$$\sin \theta = \frac{6.08 \text{ m}}{19.83 \text{ m}}$$

$$\theta = 17.81^\circ$$

### **Cálculo del diámetro de la tubería de suministro**

Teniendo el valor de la longitud de la tubería de suministro, calculamos el diámetro de la tubería de suministro, mediante la Ec. (23).

$$\frac{L}{D} = 150 a \quad , \quad \frac{L}{D} = 500$$

$$D = 19830 \frac{mm}{150} \quad ; \quad D = 19830 mm/500$$

$$D = 39.66 mm \quad ; \quad D = 132.20 mm$$

Para dicho diseño se eligió una tubería de 3", ya que está dentro de los límites.

$$Ds = 80.10 mm$$

### **Cálculo del diámetro de la tubería de descarga**

Calculamos el diámetro de la tubería de descarga, para la bomba de ariete hidráulico multigolpe, haciendo uso de la Ec. (24).

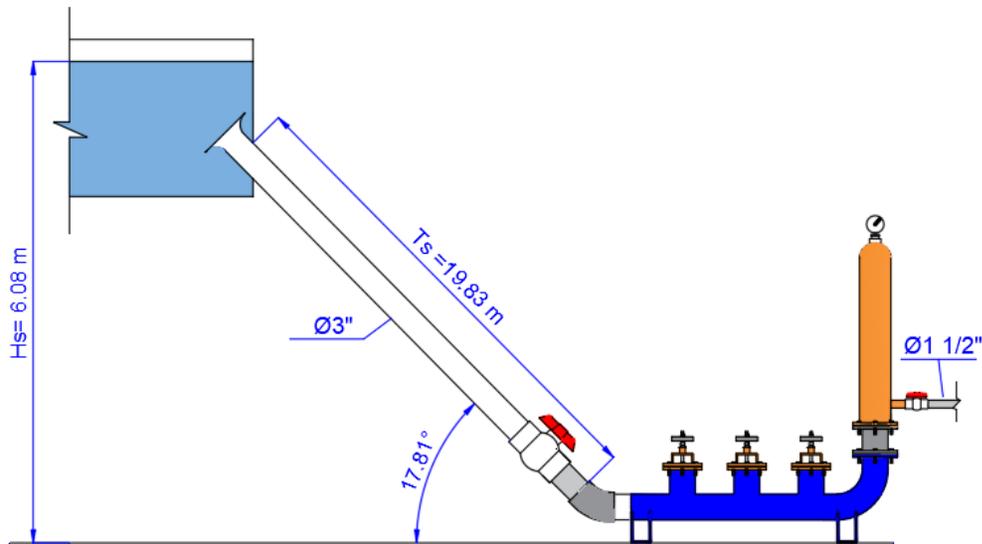
$$Dd = \frac{Ds}{2}$$

$$Dd = \frac{3''}{2} \quad Dd = 1 \frac{1}{2}''$$

Para dicho diseño se consideró 1 1/2".

$$Dd = 43.40 mm$$

**Figura 15:** Dimensiones de la tubería de suministro y entrega



## CÁLCULO DEL CAUDAL DE SUMINISTRO

### - Cálculo del tipo de régimen para la tubería de suministro

Para calcular el Reynolds utilizamos la Ec. (31), donde, asumimos una viscosidad cinemática de  $1.240 \times 10^{-6}$ , para una temperatura de  $12^\circ$ , (ver ANEXO 4), además se considera una velocidad de 0.90 m/s.

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

$$Re = \frac{0.90 \frac{m}{s} * 0.0801 m}{1.240 \times 10^{-6} m^2/s}$$

$$Re = 58137.10$$

El Reynolds corresponde a un flujo de régimen turbulento.

### - Calculamos la rugosidad relativa en la tubería de suministro

Para calcular la rugosidad relativa necesitamos el dato de la rugosidad absoluta, el material usado es PVC, cuyo valor es de 0.0000015 m.

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

$$\varepsilon_r = \frac{0.0000015 \text{ m}}{0.0801 \text{ m}}$$

$$\varepsilon_r = 1.87266 * 10^{-5}$$

- **Calculamos el factor de fricción en la tubería de suministro**

Para calcular el factor de fricción se hará uso de los datos calculados anteriormente como: número de Reynolds y rugosidad relativa.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{\varepsilon_r}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{1.87266 * 10^{-5}}{3.7} + \frac{2.51}{58137.10 \sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0.0203$$

- **Pérdidas de fricción en la tubería de suministro**

Para calcular las pérdidas por fricción en la tubería de suministro se hará uso de los datos calculados anteriormente como: L= 19.83, D= 0.0556 m,  $\lambda = 0.02201$  y  $g= 9.81$ , además se asumirá una velocidad de 0.90m/s:

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

$$h_f = 0.0203 \frac{19.83}{0.0801} * \frac{0.90^2}{2*9.81}$$

$$h_f = 0.21 \text{ m}$$

Ahora procedemos a calcular el caudal de suministro, teniendo en cuenta la Ec. (40).

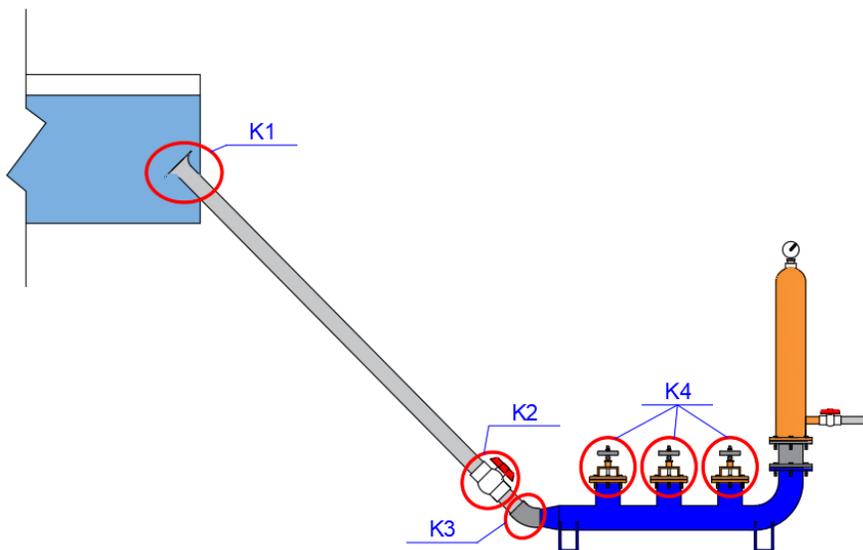
$$Q = -2.2148\pi \sqrt{\frac{D^5 h_f}{L}} \log_{10} \left( \frac{\epsilon_r}{3.7} + \frac{0.5666v}{D^{1.5}} \sqrt{\frac{L}{h_f}} \right)$$

$$Q = -2.2148\pi \sqrt{\frac{0.0801^5 * 0.21}{19.83}} \log_{10} \left( \frac{1.87266 * 10^{-5}}{3.7} + \frac{0.5666 * 1.240 * 10^{-6}}{0.0801^{1.5}} \sqrt{\frac{19.83}{0.21}} \right)$$

$$Q = 4.536 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

### Determinación de coeficientes de resistencia locales

**Figura 16:** Pérdidas locales de los accesorios



- ✓ Coeficiente en la entrada (Reducción Ø4 – Ø3)

$$K1 = 0.030 \text{ m}$$

- ✓ Coeficiente en el codo de 45° de Ø3"

$$K2 = 0.30 \text{ m}$$

- ✓ Coeficiente en la válvula globo de Ø3"

$$K3 = 6.80 \text{ m}$$

Para calcular el coeficiente de perdidas en las válvulas de impulso hacemos uso de la Ec. (58), donde la carrera de válvula es de:  $s = 0.39$

$$Rs = \frac{2.43 - 1.06 s + 10^{(0.95 - 13.30s)}}{s}$$

$$Rs = \frac{2.43 - 1.06 * 0.39 + 10^{(0.95 - 13.30 * 0.39)}}{0.39}$$

$$Rs = 5.17$$

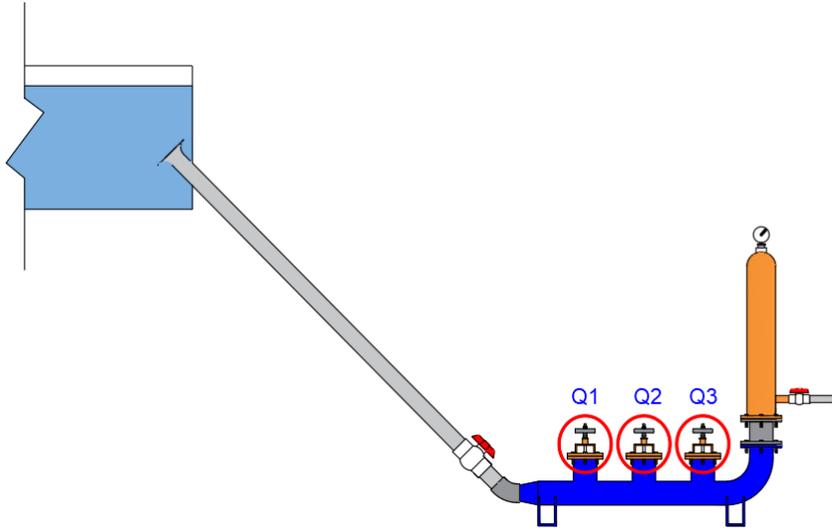
Por lo tanto, la sumatoria de coeficiente de perdidas es:

$$Kt = 12.30$$

### **Cálculo del caudal necesario para abastecer el ariete hidráulico**

A continuación, se detalla el cálculo del caudal necesario para abastecer el ariete hidráulico

**Figura 17:** Caudal para alimentar la bomba de ariete



$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Para determinar el caudal haremos uso de la Ec. (50), la cual la expresaremos en función del caudal.

$$v_2 = \sqrt{\frac{2gHs}{1 + \lambda \frac{L}{D} + \Sigma K}}$$

$$Q_T = A_T * \sqrt{\frac{2gHs}{1 + f \frac{L}{D} + \Sigma K}}$$

para calcular el área total de salida de las válvulas de impulso, debemos tener en cuenta que las 3 válvulas son iguales, entonces el área total será:

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3$$

$$A_T = 3A_1$$

En la Figura 20, se muestra el área de salida de la válvula de impulso, esta área se calcula de la siguiente manera:

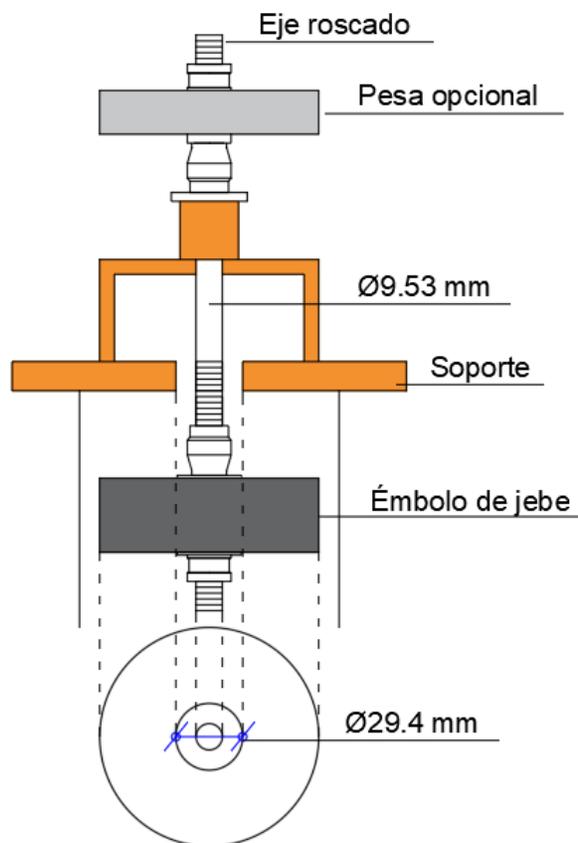
$$A_T = 3 * \left( \frac{\pi * 0.0294^2}{4} - \frac{\pi * 0.00953^2}{4} \right) \quad A_T = 1.82 * 10^{-3} m^2$$

Con el área total calculada, procedemos a calcular el diámetro total.

$$A_T = \frac{\pi * DT^2}{4} = 1.82 * 10^{-3} m^2$$

$$1.82 * 10^{-3} = \frac{\pi * DT^2}{4} \quad DT = 0.048 m$$

**Figura 18:** Área de salida de la válvula de impulso



Finalmente calculamos el caudal necesario para alimentar un ariete hidráulico multigolpe de 3 válvulas.

$$Q_T = 1.82 * 10^{-3} * \sqrt{\frac{2 * 9.81 * 6.08}{1 + 0.0203 * \frac{19.83}{0.048} + 12.30}}$$

$$Q_T = 4.279 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

### **Cálculo de la velocidad en las válvulas de impulso**

Para calcular la velocidad hacemos uso de la Ec. (50).

$$V = \sqrt{\frac{2gHs}{1 + f\frac{L}{D} + \Sigma K}}$$

$$V = \sqrt{\frac{2*9.81*6.08}{1 + 0.0203*\frac{19.83}{0.0294} + 12.30}}$$

$$V = 2.10 \text{ m/s}$$

### **Selección y diseño de componentes del ariete hidráulico**

#### **- Cuerpo del ariete**

Según, Huaman (2021), los elementos internos como: las válvulas de impulso, descarga y la cámara de aire, se ubicarán dentro del cuerpo del ariete. Es crucial que este cuerpo pueda resistir las presiones internas generadas por el impacto del golpe de ariete.

- **Válvula de impulso**

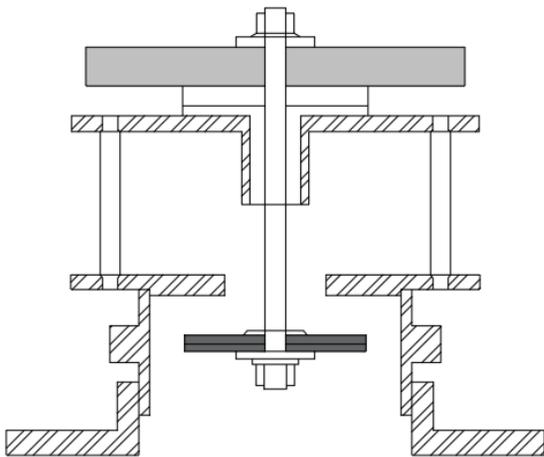
La válvula de impulso es el componente más importante en el funcionamiento del ariete hidráulico, siendo la encargada de producir el golpe de ariete, debido al cierre brusco ocasionado por el efecto del incremento de la velocidad de fluido. Esta válvula permite regular la cantidad de agua que penetra en la cámara de aire, por lo cual varía el número de golpes por minuto, (Huaman, 2021).

- **Válvula con pesas encima**

La construcción de este tipo de válvulas es robusta, lo que asegura una operación apropiada para un ciclo de vida relativamente prolongado. Este diseño tiene la ventaja de ajustar su carrera y velocidad de cierre con la modificación de su conjunto de pesas.

Una desventaja de este tipo de válvulas es que deben estar acomodadas verticalmente para su operación, y así las pesas actúen por gravedad. Ver Figura 21.

**Figura 19:** Válvula con pesas por encima



**Fuente:** (Huaman, 2021)

### Tiempo de duración de un periodo

Para nuestro cálculo utilizaremos los tiempos hallados en prácticas realizadas por J. A. Eytelwein, en donde el tiempo de aceleración es de 0.9s, el tiempo de bombeo es de 0.052s y el tiempo de retroceso es de 0.048s. El periodo se calcula reemplazando estos valores en la Ec. (17).

$$T = Ta + Td + Tr$$

$$T = 0.9 + 0.052 + 0.048$$

$$T = 1s$$

### CÁLCULO DEL CAUDAL TOTAL EN UN CICLO

#### - Cálculo del desecho en un ciclo de trabajo

Hacemos uso de la Ec. (20).

$$Qp = \frac{1}{T} * \frac{\pi D^2}{4} \left[ \int_0^{Ta} V(t) dt + \int_{Ta+Td}^{Ta} V(t) dt \right]$$

$$Qp = \frac{1}{1} * \frac{\pi * 0.0294^2}{4} \left[ \int_0^{0.9} 2.10 dt + \int_{0.9+0.052}^{0.9} 2.10 dt \right]$$

$$Qp = 3.632 * 10^{-3} m^3/ciclo$$

#### - Cálculo de bombeo para un ciclo de trabajo

$$qb = \frac{1}{T} * \frac{\pi D^2}{4} \int_{Ta}^{Ta+Td} V(t) dt$$

$$qb = \frac{1}{1} * \frac{\pi * 0.0801^2}{4} \int_{0.9}^{0.9+0.052} 2.10 dt$$

$$qb = 5.501 * 10^{-4} m^3 / ciclo$$

Ahora calculamos el caudal consumido por el ariete hidráulico multigolpe en un ciclo de trabajo.

$$Q = Qp + qb$$

$$Q = 3.632 * 10^{-3} m^3 / ciclo + 5.501 * 10^{-4} m^3 / ciclo$$

$$Q = 4.183 * 10^{-3} m^3 / ciclo$$

#### - Cálculo de la presión dinámica

Hacemos uso de la Ec. (66).

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

$$P = \frac{999.5 * 2.10^2}{2}$$

$$P = 2209.69 \text{ Pa}$$

#### - Cálculo de la energía cinética

$$E_c = \frac{mV^2}{2}$$

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

$$E_c = \frac{4.536 * 10^{-3} * 999.5 * 2.10^2}{2}$$

$$E_c = 10.02 \text{ Nm}$$

## CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE FRICCIÓN EN LA TUBERÍA DE DESCARGA

### - Cálculo de Reynolds

Para calcular el Reynolds asumimos una viscosidad cinemática de  $1.240 \times 10^{-6}$ , para una temperatura de  $12^\circ$ , además se considera una velocidad de 0.90 m/s. VER ANEXO 4

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

$$Re = \frac{0.90 \frac{m}{s} * 0.0434 m}{1.240 \times 10^{-6} m^2/s}$$

$$Re = 31500$$

El Reynolds corresponde a un flujo de régimen turbulento.

### - Calculamos la rugosidad relativa en la tubería de descarga

Para calcular la rugosidad relativa necesitamos el dato de la rugosidad absoluta, el material usado es PVC, cuyo valor es de 0.0000015 m, (ver ANEXO 7).

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{D}$$

$$\epsilon_r = \frac{0.0000015 m}{0.0434 m}$$

$$\epsilon_r = 3.456 * 10^{-5}$$

- **Calculamos el factor de fricción en la tubería de descarga**

Para calcular el factor de fricción, utilizaremos los datos previamente calculados, como el número de Reynolds y la rugosidad relativa.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left( \frac{\epsilon_r}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{3.456 * 10^{-5}}{3.7} + \frac{2.51}{31500 * \sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0.0233$$

- **Pérdidas de fricción en la tubería de descarga**

Para calcular las pérdidas por fricción, utilizamos la Ec. (37) y sustituimos los datos previamente calculados: L= 19.83 m, D= 0.0434 m, f= 0.0233 y g= 9.81 m/s<sup>2</sup>. Además, asumimos una velocidad de 0.90 m/s.

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

$$h_f = 0.0233 \frac{19.83}{0.0434} * \frac{0.90^2}{2 * 9.81}$$

$$h_f = 1.828 \text{ m}$$

- **Cálculo de pérdidas locales**

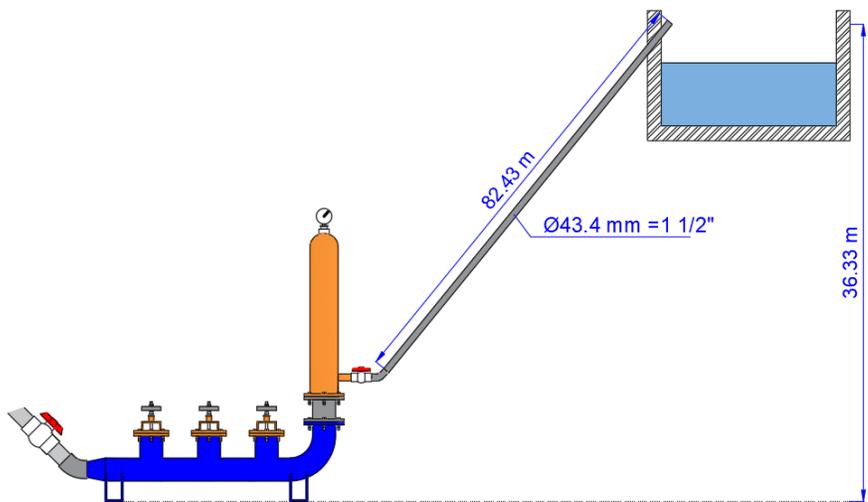
$$h_l = k \frac{V^2}{2g}$$

$$h_l = 10 \frac{0.90^2}{2 * 9.81}$$

$$h_l = 0.41 \text{ m}$$

### Altura desarrollada por el ariete

**Figura 20:** Altura desarrollada por la bomba de ariete



Para el cálculo de la altura desarrollada por el ariete debemos sumar la altura de descarga y las pérdidas de fricción y locales, hacemos uso de la Ec. (53).

$$H = H_d + h_f + h_l$$

$$H = 34.09 \text{ m} + 1.828 \text{ m} + 0.41 \text{ m}$$

$$H = 36.33 \text{ m}$$

## CÁLCULO DE FENÓMENOS FÍSICOS INVOLUCRADOS EN EL GOLPE DE ARIETE HIDRÁULICO

### - Cálculo de la celeridad de la onda de presión

Para realizar dicho cálculo, hacemos uso de la Ec. (57), donde se utilizó tubería de diámetro: 0.0801 m, el espesor de la tubería ( $\delta$ ) es de 0.0022 m, el módulo de elasticidad del material ( $E_0$ ) es de: 3200Mpa y el módulo de elasticidad del fluido es: 2Gpa.

$$a = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{3200\text{Mpa} * 0.0801\text{ m}}{2\text{Gpa} * 0.0022\text{ m}}}}$$

$$a = 185.12\text{ m/s}$$

### - Tiempo de cierre de la válvula

Para calcular el tiempo de cierre de la válvula hacemos uso de la Ec. (58), además hacemos uso de los datos calculados con anterioridad.

$$T = \frac{2 * 19.83}{185.12}$$

$$T = 0.214\text{ s}$$

### - Cálculo de la sobrepresión dentro del ariete hidráulico

$$\Delta p = \rho * a * V$$

$$\Delta p = 999.50 * 185.12 * 2.10$$

$$\Delta p = 0.389\text{ Mpa}$$

Según nuestros cálculos el cierre es rápido, calcularemos la sobrepresión mediante la siguiente ecuación (60)

$$\Delta H = \frac{V^*a}{g}$$

$$\Delta H = \frac{2.10 * 185.12}{9.81}$$

$$\Delta H = 39.68 \text{ m}$$

Calculamos la carga máxima haciendo

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

$$H_{max} = 6.08 + 39.68$$

$$H_{max} = 45.76 \text{ m}$$

Por lo tanto, la presión máxima se calcula con la Ec. (68).:

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

$$P_{max} = 999.50 * 9.81 * 45.76$$

$$P_{max} = 0.449 \text{ Mpa}$$

Para determinar la presión mínima, primeramente, se calculará la carga mínima

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

$$H_{min} = 6.08 - 39.68$$

$$H_{min} = -33.60 \text{ m}$$

Mediante la Ec. (69), calcularemos la presión mínima.

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

$$P_{max} = 999.50 * 9.81 * 33.60$$

$$P_{max} = 0.329 \text{ Mpa}$$

### **Cálculo del coeficiente de arrastre de la válvula de impulsión**

Hacemos uso de la Ec. (64).

$$C_d = \frac{0.345 - 0.275 + 10^{(0.52 - 6.85 * s)}}{s}$$

$$C_d = \frac{0.345 - 0.275 + 10^{(0.52 - 6.85 * 0.39)}}{0.39}$$

$$C_d = 0.63$$

### **Fuerza de arrastre sobre la válvula de impulso**

La fuerza de arrastre se da al momento en que la válvula comienza a cerrarse y su cálculo se hace mediante la Ec. (63).

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

Calculamos el valor de  $A_d$ :

$$A_d = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 0.075^2}{4}$$

$$F_d = 0.63 \left( \frac{999.50 * 2.10^2}{9.81} \right) * \frac{\pi * 0.075^2}{4}$$

$$F_d = 1.25 Kg$$

## CÁLCULO DEL PESO MÁXIMO PARA LAS VÁLVULAS DE IMPULSIÓN

El peso máximo se calcula mediante la Ec. (67).

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

Donde:

$$M = f \frac{L}{D} + \sum K$$

$$M = 0.0203 \frac{19.80}{0.0294} + 12.30 = 25.98$$

Entonces, el peso Máximo de la válvula de impulse será:

$$W_{max} = \frac{3.14 * 0.0375^2 * 6.08 * 999.50 * 0.63}{25.98}$$

$$W_{max} = 0.65 kg$$

### - Cálculo del peso del vástago

$Wv = Volumen * Densidad$

$$Wv = \frac{\pi * D^2}{4} * Lv * \rho_{Acero}$$

$$Wv = \frac{\pi * 0.00953^2}{4} * 0.20 * 7980$$

$$Wv = 0.11 \text{ kg}$$

- **Cálculo del peso de la pesa**

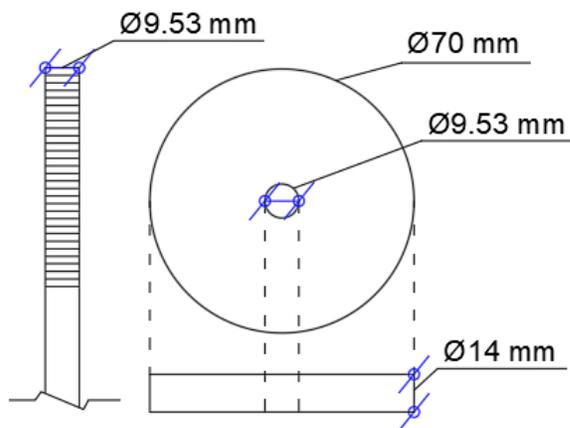
$$Wp = \text{Volumen} * \text{Densidad}$$

$$Wp = \pi(R^2 - r^2) * e * \rho_{\text{Acero}}$$

$$Wp = \pi(0.035^2 - 0.00477^2) * 0.014 * 7980$$

$$Wp = 0.422 \text{ kg}$$

**Figura 21:** Peso de la pesa



- **Cálculo del peso del jebe de caucho**

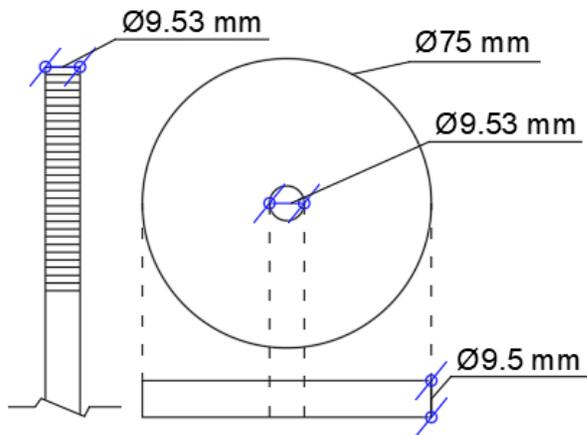
$$Wjc = \text{Volumen} * \text{Densidad}$$

$$Wjc = \pi(R^2 - r^2) * e * \rho_{\text{Acero}}$$

$$Wjc = \pi(0.038^2 - 0.00477^2) * 0.0095 * 950$$

$$Wp = 0.04 \text{ kg}$$

**Figura 22:** peso del jebe de caucho



- **Cálculo del peso de las tuercas**

$$WT = 0.011 * 4$$

$$WT = 0.04 \text{ kg}$$

Entonces, el peso de la valvula de impulse sera:

$$W = W_v + W_p + W_{jc} + WT$$

$$W = 0.11 + 0.42 + 0.04 + 0.04$$

$$W = 0.62 \text{ Kg}$$

Por lo tanto 0.62 kg está dentro del rango.

$$0 < 0.62 \text{ kg} < 0.65 \text{ kg}$$

**Potencia útil de la bomba de ariete**

La potencia lo calculamos mediante la Ec. (70), H, es la altura desarrollada por el ariete hidráulico.

$$PU = \gamma * qb * H$$

$$PU = 999.50 * 0.000551 * 36.33$$

$$PU = 196.28 \text{ W}$$

### **Potencia recibida de la bomba**

Para calcular hacemos uso de la siguiente Ec. (72)

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

$$Pb = (0.00363 + 0.00055) * 999.50 * 9.81 * 6.08$$

$$Pb = 249.34 \text{ W}$$

### **Cálculo de la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico**

Para calcular la eficiencia hacemos uso de la siguiente Ec. (74)

$$\eta = \frac{qb * Hi}{(Qp + qb) * Hs} * 100 (\%)$$

$$\eta = \frac{0.00055 * 36.33}{0.00418 * 6.08} * 100$$

$$\eta = 78.72 \%$$

### **Rendimiento volumétrico de la bomba de ariete multigolpe**

Usamos la siguiente Ec. (75).

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

$$n_v = \frac{0.00055}{0.00418} \times 100 (\%)$$

$$n_v = 13.17 \%$$

### **Diseño de la válvula de aire**

Esta válvula permite que el aire entre en la cámara de aire y se comprima cuando el agua golpea contra el cierre de la válvula de impulso, creando así una presión adicional que impulsa el agua a través del sistema. El diámetro recomendado de la válvula de aire es de 1 a 2 mm, (Huaman, 2021).

### **DISEÑO DE LA CÁMARA DE AIRE**

#### **- Capacidad de la cámara de aire**

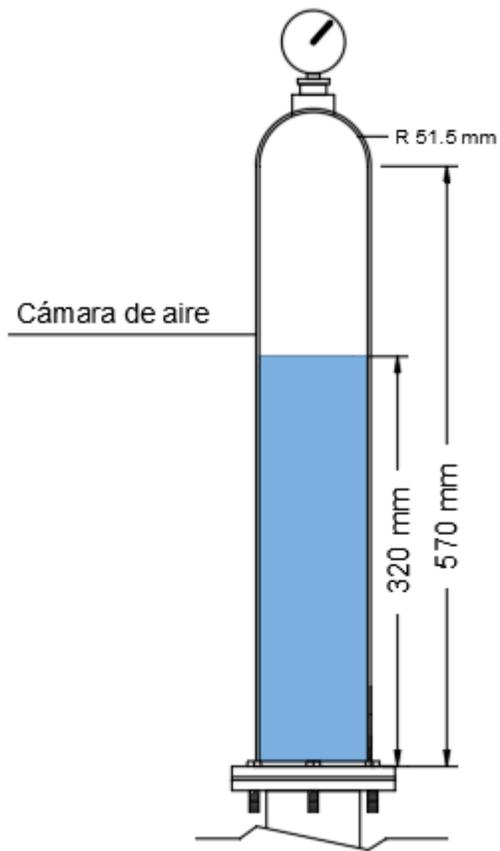
Calculamos la capacidad de la cámara mediante la siguiente ecuación:

$$Vt = \frac{\pi Dc^2}{4} L + \frac{\pi Re^3}{3}$$

$$Vt = \frac{\pi * 0.103^2}{4} 0.57 + \frac{\pi 0.0515^3}{3}$$

$$Vt = 0.005m^3$$

**Figura 23:** Volumen de la cámara de aire



Calculamos el volumen inicial del agua.

$$V_{agua} = \frac{\pi D c^2}{4} L_{agua}$$

$$V_t = \frac{\pi * 0.103^2}{4} * 0.320$$

$$V_t = 0.003 m^3$$

Por lo tanto, el volumen inicial será:

$$V_{aire} = V_t - V_{agua}$$

$$V_{aire} = 0.005 - 0.003$$

$$V_{aire} = 0.002 \text{ m}^3$$

- **Cálculo de la presión mínima y máxima en la cámara de aire**

$$P1 = Hd * \gamma$$

$$P1 = 34.09 * 999.50 * 9.81$$

$$P1 = 334.26 \text{ KPa}$$

Para el cálculo de la presión (P2), debemos calcular el volumen de aire después del choque hidráulico V2 aire.

$$V_{2 \text{ aire}} = V_{aire} - V_{agua/ciclo}$$

$$V_{2 \text{ aire}} = 0.002 \text{ m}^3 - 0.000551 \text{ m}^3$$

$$V_{2 \text{ aire}} = 0.0018 \text{ m}^3$$

Entonces la presión máxima sería:

$$P2 = \frac{P1 * V1}{V2}$$

$$P2 = \frac{334.26 * 0.002}{0.0018}$$

$$P2 = 435.62 \text{ KPa}$$

### 4.1.3 Diseño del tanque de almacenamiento

- ✓ Ubicación del tanque: El depósito de almacenamiento se situará en la zona más elevada del terreno, con sus coordenadas en N: 9272137.73, E: 778107.61, Z: 3035.03 metros sobre el nivel del mar.
- ✓ Forma del tanque: el tanque a diseñar, será de forma trapezoidal.
- ✓ Ingreso del agua: El ingreso de agua al depósito se llevará a cabo mediante la tubería de entrega de 1 ½ “, con un caudal de 0.47 L/s.
- ✓ Material del tanque: Para asegurar una mayor durabilidad y facilitar el mantenimiento, el tanque de almacenamiento se construirá con Geomembrana.

Para calcular el volumen del tanque tenemos que tener en cuenta los siguientes datos:

- ✓ La bomba de ariete hidráulico, impulsa agua las 24 horas del día.
- ✓ El caudal de entrega es de 0.47 l/s o lo mismo que  $40.61 \text{ m}^3/\text{dia}$ .

Para calcular el volumen del tanque usamos la siguiente ecuación:

$$Vt = q * t \tag{87}$$

Donde:

q: es el caudal que entrega la bomba  $\frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$ .

T: es el tiempo (dia).

$$Vt = 40.61 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * \text{dia}$$

$$Vt = 40.61 \text{ m}^3$$

Para calcular las dimensiones del tanque usamos la siguiente ecuación:

$$V = \frac{Abr * ABr}{2} * Lr * Hr \quad (88)$$

Donde:

V = Volumen del reservorio.

Abr = ancho del reservorio base menor (m)

ABr = ancho del reservorio base mayor (m)

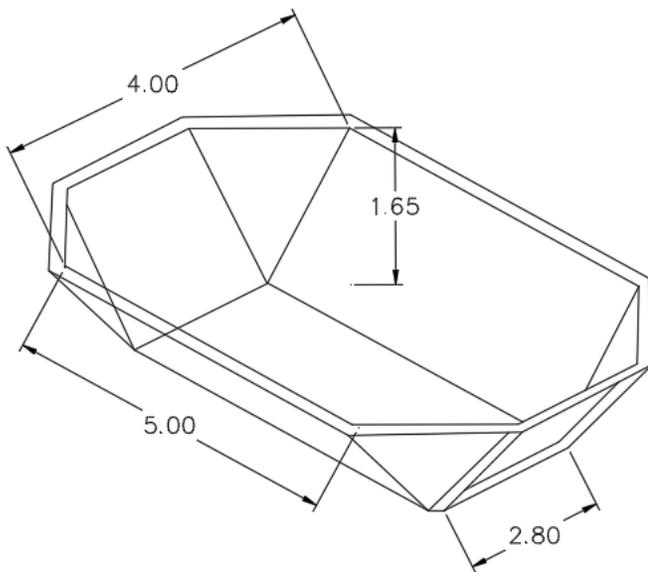
Lr = Largo del reservorio (m).

Hr = Altura del reservorio (m).

Asignando valores: Abr= 2.8 m, ABr = 4 m, Lr = 5 m y Hr = 1.65 m, reemplazando valores en la ecuación se obtiene:

$$V = \frac{2.8 * 4}{2} * 5 * 1.65 \quad V = 46.2 \text{ m}^3$$

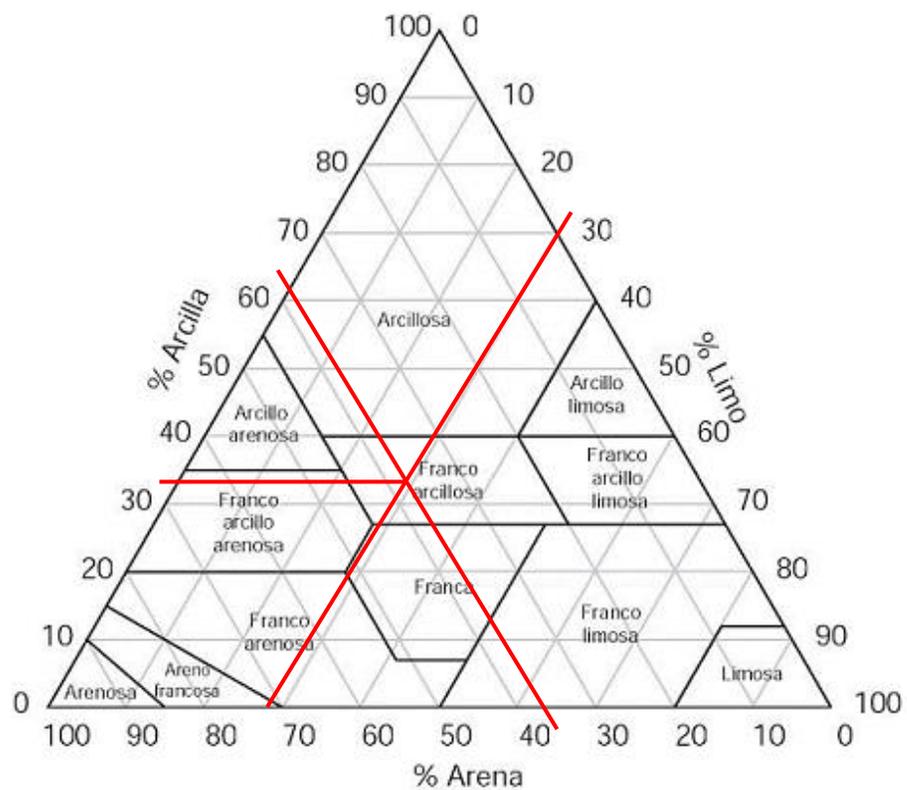
**figura 24:** Dimensiones del tanque de almacenamiento



#### 4.1.4 Textura del suelo

**Tabla 10:** Muestras de textura de suelo en el sector Surmayo

MUESTRA	TIPO DE SUELO		
	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)
M1	39	29.3	31.7
M2	36.8	30.9	32.4
M3	39.2	32.9	27.8
M4	34.6	36.2	29.2
M5	35.4	38.1	26.5



Mediante la intersección de los porcentajes de suelo, corresponde a un suelo franco arcilloso.

#### 4.1.5 Diseño agronómico

Datos:

- Tipo de suelo = Franco – Arcilloso
- Área de riego ( $m^2$ )= 8408.2
- Caudal de oferta (L/s) = 0.466
- Capacidad de campo (CC) = 27
- Punto de marchitez (PM) = 13
- Demanda neta (mm/día) = 3.64
- Eficiencia de aplicación (Ea) = 80%
- Velocidad de infiltración básica = 10 mm/h

#### **Cálculo de la necesidad Neta (Nn).**

Para calcular la necesidad neta, utilizamos la Ec. (76).

$$Nn = ET_c$$

$$Nn = 3.64 \text{ mm/día.}$$

#### **Cálculo de la Humedad Aprovechable.**

Para realizar el cálculo de la humedad aprovechable debemos tener en cuenta los datos mencionados con anterioridad ya que están en función al tipo de suelo, además la densidad aparente para el suelo franco arcilloso es de: 1.33 g/cm<sup>3</sup> y la profundidad radicular para la papa es de: 40 cm, además se consideró como porcentaje de agotamiento tolerable del 50%.

$$H. d \text{ (cm)} = \frac{(CC-PM)*Da*Z}{100}$$

$$H. d \text{ (cm)} = \frac{(27-13)*1.33*40}{100}$$

$$H. d \text{ (cm)} = 3.72 \text{ cm}$$

### **Cálculo de la lámina Bruta (Lb).**

Para realizar el cálculo de la lámina bruta, se divide la necesidad neta con la eficiencia de aplicación. La eficiencia de aplicación para aspersión es de 80%.

$$Lb = \frac{3.64 \text{ mm/día}}{0.80}$$

$$Lb = 4.55 \frac{\text{mm}}{\text{día}}$$

$$Lb = 0.44 \frac{L}{S}$$

### **Cálculo de la frecuencia de Riego (Fr).**

Hacemos uso de los datos calculados anteriormente.

$$Fr = \frac{37.2 \text{ mm}}{3.64 \text{ mm.día}^{-1}}$$

$$Fr = 10.23 \text{ días, o lo mismo que: 10 días.}$$

### **Cálculo del tiempo de riego (Tr).**

$$Tr = \frac{Hd}{ef*va}$$

calculamos la velocidad de aplicación

$$Va \left( \frac{mm}{hora} \right) = \frac{Caudal\ Asp}{Ar\ Aspersor} = \frac{0.835 m^3/h}{11.75 \times 11.75\ m^2} = 6.05\ mm/h$$

Teniendo en cuenta que la humedad aprovechable es de 3.72 cm y eficiencia de aspersión es del 80%

Tr = 7.70 horas

**Caudal necesario (m<sup>3</sup> /h). Se determina por la siguiente expresión:**

$$Q = \left[ \frac{S * Lb}{fr} \right] * 10$$

$$Q = \left[ \frac{0.84\ ha * 4.55}{10.23} \right] * 10$$

$$Q = 3.74\ m^3/h$$

#### 4.1.6 Diseño hidráulico

##### Diámetro de laterales

Datos:

Numero de aspersores (n): 5

Caudal de aspersor (q): 0.201 L/s

Presión de trabajo: 43.5 mca

Separación de aspersores (s): 11.5 m

Distancia del primer aspersor (L0): 11 m

- **Cálculo de la longitud lateral**

$$L = L_0 + s * (n-1)$$

$$L = 11 + 11.5 * (5-1)$$

$$L = 45.5 \text{ m}$$

- **Longitud ficticia**

$$L_f = 1.1 * L$$

$$L_f = 1.1 * 45.5 \text{ m}$$

$$L_f = 50.05 \text{ m}$$

- **Caudal en el lateral**

$$Q = n * q$$

$$Q = 5 * 0.201 \text{ L/s}$$

$$Q = 0.81 \text{ L/s}$$

- **Perdida de carga máxima**

$$H_{fmax.} = 0.2 * \text{Presión de trabajo}$$

$$H_{fmax.} = 0.2 * 43.5$$

$$H_{fmax.} = 8.7 \text{ m}$$

- **Elección del diámetro**

$$D = 0.030 \text{ m}$$

- **Coefficiente "k"**

$$k = \frac{10.67 * L}{C^{1.852} * D^{4.87}}$$

Para esta investigación, se utilizará tubería de HDPE, donde el valor de “C”, es de 150, reemplazamos:

$$k = \frac{10.67 * 45.5}{150^{1.852} * 0.030^{4.87}}$$

$$K = 1299771.41$$

- **Pérdida de carga total**

$$H_f = 2.43 \text{ m}$$

Los diámetros de las tuberías para todos los laterales se muestran en el ANEXO 8.

**4.1.7 Eficiencia de captación**

**Tabla 11:** Eficiencia de la captación

Q. requerido (m <sup>3</sup> /s)	Q. de la captación (m <sup>3</sup> /s)	E. captación
4.609x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> /s	5.862x10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> /s	100 %

**4.1.8 Eficiencia de almacenamiento**

Para el almacenamiento de agua se empleó un tanque de HDPE con una capacidad de 1200 L. Para calcular el volumen efectivo, se utilizó la Ec. (96). Es importante destacar que las pérdidas por evaporación se consideran nulas, dado que el tanque está debidamente cerrado, y no se registran pérdidas por filtración, debido a que el tanque es impermeabilizado. En consecuencia, el volumen efectivo sería:

$$V_e = 1200 \text{ L}$$

Para calcular la eficiencia de almacenamiento hacemos uso de la Ec. (97). Teniendo en cuenta que el VT es de 1200 L.

$$E_{alm} = \frac{1200 \text{ L}}{1200 \text{ L}} * 100$$

$$E_{alm} = 100\%$$

#### 4.1.9 Eficiencia de conducción

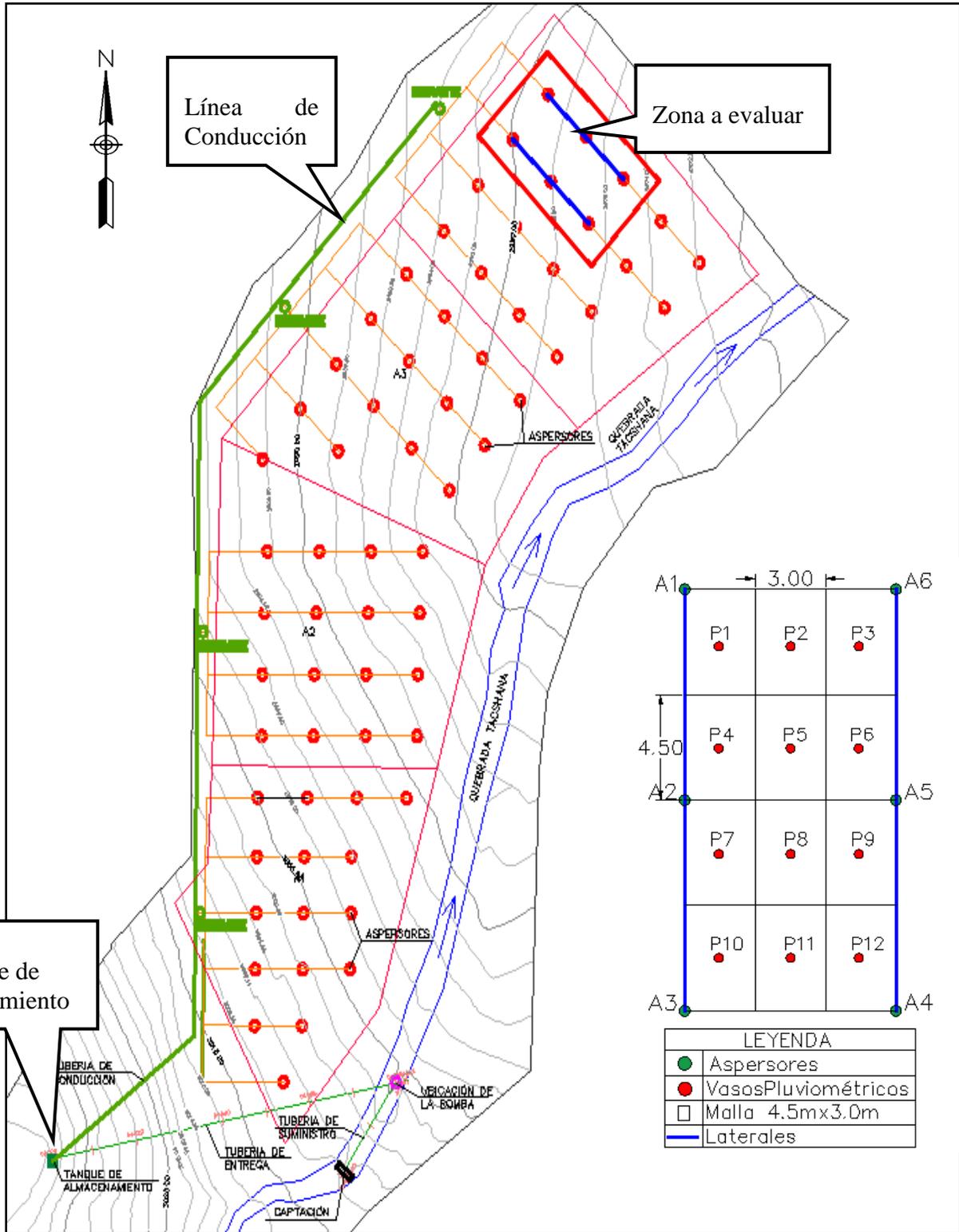
Para determinar la eficiencia en la línea de conducción hacemos uso de la Ec. (98). Para la investigación, se empleó una manguera de HDPE con un diámetro de 1 1/2” y una longitud de 150 m. Para determinar el caudal que se descarga del tanque se realizó por el método volumétrico, resultando un caudal de 1.55 L/s. En el contexto de esta investigación, se considera que el caudal de distribución es nulo, ya que se está analizando únicamente la parcela más lejana. Asimismo, el caudal que llega al final de la manguera es de 1.53 L/s.

Q. SALIDA DEL TANQUE			Q. SALIDA DE LA MANGUERA		
V (L/s)	T (s)	Q (L/s)	V (L/s)	T (s)	Q (L/s)
10	6.39	1.565	10	6.52	1.534
10	6.43	1.555	10	6.57	1.522
10	6.48	1.543	10	6.49	1.541
Prom=		1.55	Prom=		1.53

$$E_c = \frac{1.53+0}{1.55} * 100$$

$$E_c = 98.7 \%$$

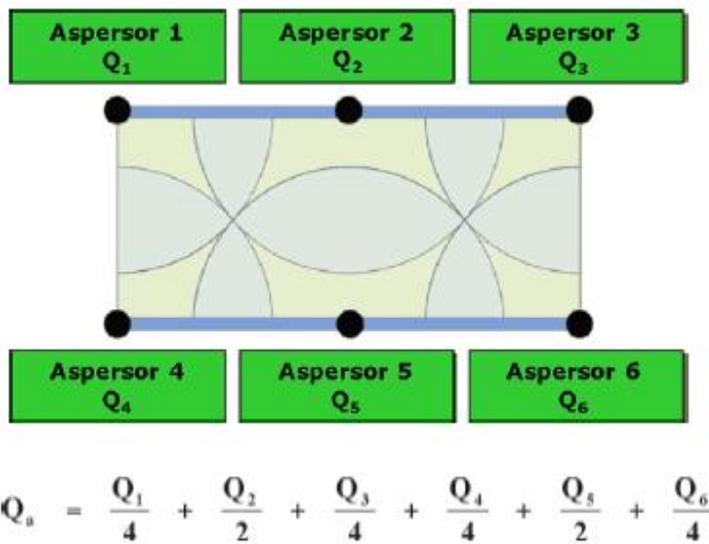
#### 4.1.10 Eficiencia de aplicación



## Perdidas por evaporación y arrastre

### - Lamina de los aspersores (La)

El caudal aplicado en la zona evaluada (en litros por hora) se determinará considerando que, de 6 aspersores, un cuarto del agua de los aspersores en las esquinas y la mitad de los otros dos aspersores caen en la zona evaluada.



**Tabla 12:** Cálculo del caudal de los aspersores

Aspersor	Vol. (L)	T (s)	q (L/s)	q (L/h)	Qa (L/h)
A1	8	54.42	0.147	529.22	132.30
A2	8	52.14	0.153	552.36	276.18
A3	8	50.62	0.158	568.95	142.24
A4	8	49.44	0.162	582.52	145.63

A5	8	50.67	0.158	568.38	284.19
A6	8	51.17	0.156	562.83	140.71

Para calcular la lámina de los aspersores usamos la siguiente ecuación:

$$La \text{ (mm)} = \frac{Qa \text{ L/h}}{\text{Superficie zona evaluada (m}^2\text{)} * 60} * \text{T tiempo de evaluación}$$

Donde:

$$\sum Qa = 1121.25$$

$$S = 276.13 \text{ m}^2$$

$$T = 80 \text{ min}$$

$$La = \frac{1121.25}{276.13 * 60} * 80$$

$$La \text{ (mm)} = 5.41$$

- **Lamina que se recogen de los pluviómetros (Lb)**

Se procede a calcular el área de la embocadura del recipiente. para este estudio se colocó baldes de 4 L, teniendo un diámetro de 19.5 cm, entonces:

$$\text{Área (cm}^3\text{)} = 0.785 * 19.5^2$$

$$\text{Área (cm}^3\text{)} = 298.50$$

Ahora calculamos la lámina recogida en los recipientes.

$$Lb = \frac{\text{Volumen medio recogido (cm3)}}{\text{area de embase (cm2)}} * 10$$

**Tabla 13:** Lámina recogida en el recipiente

Pluviómetros	Área (cm2)	V (L)	V (cm3)	Lb (mm)
P1	298.50	0.115	115	3.85
P2	298.50	0.143	143	4.79
P3	298.50	0.124	124	4.15
P4	298.50	0.140	140	4.69
P5	298.50	0.167	167	5.59
P6	298.50	0.141	141	4.72
P7	298.50	0.131	131	4.39
P8	298.50	0.167	167	5.59
P9	298.50	0.148	148	4.96
P10	298.50	0.139	139	4.66
P11	298.50	0.176	176	5.90
P12	298.50	0.155	155	5.19

Prom. Lb = 4.75 mm

Para calcular la PEA, usamos la siguiente ecuación.

$$PEA = \frac{La-Lb}{La} * 100$$

$$PEA = \frac{5.41-4.75}{5.41} * 100$$

$$PEA = 12.27 \%$$

#### 4.1.10.1 Uniformidad de distribución

Con los datos obtenidos en los pluviómetros, ordenamos de mayor a menor

VOLMEN DE PLUVIÓMETROS (L)											
V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12
176	167	167	155	148	143	141	140	139	131	124	115

$$V_{25\%} = 123.33$$

$$V_m = 145.5$$

$$UD = \frac{123.33}{145.5} * 100$$

$$UD = 84.77\%$$

Con el valor Calculado de la UD, nos ubicamos en la TABLA (8), donde la PP = 19.29

entonces la eficiencia de aplicación viene siendo:

$$Ea = 100 - PEA - PP$$

$$Ea = 100 - 12.27 - 19.29$$

$$Ea = 68.44 \%$$

#### **4.1.11 Eficiencia del sistema**

Para calcular la eficiencia del sistema, para el mes de setiembre, hacemos uso de la Ec. (92).

$$Es = E_{cap} \cdot E_b \cdot E_{alm} \cdot E_c \cdot E_d \cdot E_a.$$

$$Es = (1 \cdot 0.551 \cdot 1 \cdot 0.987 \cdot 0.684) \cdot 100$$

$$Es = 37.23\%$$

En el Anexo 10, se expone de manera detallada la eficiencia del sistema, correspondiente a los meses de estiaje.

## 4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el sistema de riego en el sector Surmayo del centro poblado de Púsoc, se ha diseñado y construido una bomba de ariete hidráulico multigolpe, cuyas dimensiones han sido ajustadas en función de la demanda de agua, para el cultivo de papa. Ahora se busca verificar la correspondencia entre los datos teóricos obtenidos a través de los cálculos realizados y los datos observados en campo. Las pruebas se llevaron a cabo en el mismo lugar de instalación, donde los aforos se realizarán mediante el método volumétrico (entrada y salida), y las alturas fueron proporcionados mediante la topografía (altura de suministro y altura de elevación).

### Pruebas de campo y resultados

Se realizaron cuatro pruebas experimentales durante los meses de estiaje (junio a septiembre) para evaluar la eficiencia de la bomba de ariete. En estas pruebas, se variaron los caudales de suministro con el fin de satisfacer la demanda de agua. Este enfoque permitió analizar cómo las diferencias en el caudal impactan el rendimiento de la bomba de ariete hidráulico con tres válvulas de impulsión.

**Tabla 14:** Eficiencia y rendimiento volumétrico de la bomba de ariete hidráulico con tres válvulas de impulso, con diferentes caudales de suministro.

Mes -Dem.	QSum.	QEntr.	QDesp.	HSum.	HEntr.	Eficiencia	Rendimiento
Bruta	(L/s)	(L/s)	(L/s)	(m)	(m)	(%)	Volum. (%)
Setiembre-	4.42	0.44	4.04	6.08	34.09	55.12	9.83
0.439 L/s	4.51	0.44	3.97				
	4.45	0.44	4.07				

Qprom=	4.461	0.439	4.025				
Agosto –	4.42	0.43	4.04	6.08	34.09	54.96	9.80
0.437 L/s	4.51	0.44	3.97				
	4.45	0.44	4.07				
Qprom=	4.461	0.437	4.025				
Julio –	4.27	0.39	3.88	6.08	34.09	51.52	9.19
0.397 L/s	4.30	0.40	3.95				
	4.39	0.40	3.93				
Qprom=	4.320	0.397	3.919				
Junio –	4.18	0.38	3.80	6.08	34.09	51.19	9.13
0.381 L/s	4.12	0.38	3.80				
	4.20	0.38	3.77				
Qprom=	4.170	0.381	3.788				

### 4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- En la presente investigación, se determinó el caudal mínimo de la quebrada Tacshana durante la época de estiaje, siendo de 6.51 L/s, mientras que los caudales de suministro para los meses de estiaje fueron: para junio de 4.171 L/s, para el mes de julio de 4.32 L/s, para el mes de agosto y septiembre de 4.46 L/s. Esta comparación indica que disponemos de suficiente agua para alimentar nuestro sistema de bomba de ariete y así cubrir la demanda de agua para los cultivos de papa en el sector Surmayo del centro poblado Púsoc - Bambamarca. En la investigación de Diaz & Segura (2023), se registró un flujo de 0.6620 m<sup>3</sup>/s en la quebrada Tunguillan, mientras que el suministro de la bomba alcanzó los 127.8 L/min, concluyendo que este flujo es adecuado para satisfacer las necesidades de la población investigada. Por otro lado, Chero (2018) comenzó su investigación realizando mediciones de flujo en la quebrada Moras, ubicada en la comunidad de Feical-Piura, donde se obtuvo un caudal de 300 L/min y un flujo suministrado por la bomba de ariete de 15.24 L/s, demostrando que este último caudal también es suficiente para satisfacer las necesidades de su muestra de estudio.
- Se calculó la demanda de agua para el sistema de aspersión en una superficie de 0.84 hectáreas, determinando que el mes de mayor necesidad es setiembre, con una demanda bruta de 4.55 mm/día, equivalente a 0.439 litros por segundo. El suelo investigado presenta una textura franco arcillosa, con riego programado cada 10 días y una eficiencia de aplicación del 68.4%. En el estudio de Villanueva (2022), se encontró que el mes con mayor demanda de agua fue marzo, con una necesidad bruta de 3.42 mm o 3.87 metros cúbicos por hora, con riego cada 5 días y una eficiencia de aplicación del 80%. Además, se identificó una necesidad mínima de 2.9 mm, con riego cada 15 días. Según Huamán (2021), noviembre fue el mes con mayor

demanda de agua, alcanzando 7.13 mm/día o 2.47 litros por segundo, con una eficiencia de aplicación del 74% en una superficie de 3 hectáreas.

- Diseñamos una bomba de ariete hidráulico con tres válvulas de impulsión, con una tubería de suministro de 3", el cuerpo del ariete de 3" y la tubería de salida de 1 1/2". El caudal de suministro fue de 0.00461 m<sup>3</sup>/s, caudal de entrega de 0.000466 m<sup>3</sup>/s, con una eficiencia de 56.72% y rendimiento volumétrico 10.12%. El caudal entregado fue almacenado en un reservorio de 46.2 m<sup>3</sup>, pero para el estudio se hizo con un tanque de 1200 L. Según, Huaman (2021), diseñó una bomba de ariete hidráulico con tubería de suministro de 4" y la tubería de salida de 1", el caudal de suministro fue de 0.013875 m<sup>3</sup>/s, el caudal de entrega de 0.00112 m<sup>3</sup>/s, con una eficiencia de 53.57% y un rendimiento volumétrico de 7.50%. El caudal entregado fue almacenado en un tanque de 315 m<sup>3</sup>. Según, Díaz & Segura (2023), diseñó una bomba de ariete con tubería de suministro de 4", el cuerpo del ariete 2 1/2" y la manguera de la salida de 1", el ariete hidráulico puede almacenar agua hasta 33.6 m<sup>3</sup> diarios, pero para la muestra se toma un tanque de almacenamiento de 2500 litros. Según las investigaciones de Brito (2022), diseñó una bomba de ariete multigolpe, con 3, 2 y una válvula, con una tubería de entrada de 2" y la tubería de salida de 1", con un caudal de entrada de 0.00546 m<sup>3</sup>/s y un caudal de salida de 0.001001 m<sup>3</sup>/s, la eficiencia de la bomba para una válvula de impulsión fue de 0.355, para 2 válvulas de impulsión la eficiencia fue de 11.55 y para tres válvulas una eficiencia de 24.11.
- Para la presente investigación se usaron aspersores modelo 5022 SD PC para cobertura total, con presiones de 3bar y 4 bar, con caudales de 0.725 y 0.835 m<sup>3</sup>/h. Además el diámetro mojado para estos aspersores fue de 23.50 m. Según la investigación de Villanueva (2022), el

aspersor seleccionado es modelo Ibis, de tipo impacto semifijo con una presión media de 3 bares y un diámetro mojado de 77 m.

- La eficiencia del sistema para la presente investigación fue del 37.23%, esta eficiencia se obtuvo del producto de las eficiencias de la captación (100%), eficiencia de la bomba de ariete multigolpe (55.12%), para el mes de setiembre, eficiencia de almacenamiento (100%), eficiencia de conducción (98.7%) y eficiencia de aplicación (68.4%). Según, la investigación de Aquino, L., & Gonzales, J. (2020). Se obtuvo una eficiencia de conducción promedio del 99.20% al analizar por tramos, y del 99.27% al hacerlo por meses. Respecto a la eficiencia de distribución en los laterales de 3er orden "Pizal" y "San Carlos", se registraron promedios de 88.65% y 74.43%, respectivamente.

## CAPÍTULO V

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Se determinó la eficiencia hidráulica de un sistema de agua, para uso agrícola, en el sector Surmayo del Centro Poblado Púsoc, utilizando una bomba de ariete con tres válvulas de impulsión. El resultado obtenido fue del 37.23%.
- Se estimó la demanda de agua para el sistema de aspersión en el sector Surmayo del centro poblado Púsoc - Bambamarca, para un área de 0.84 ha, donde el mes de mayor demanda es el mes de setiembre con una necesidad bruta de 4.55 mm/día, o lo mismo que 0.439 L/s.
- Se llevaron a cabo aforos en la quebrada Tacshana desde abril de 2023 hasta abril del 2024. Durante este periodo, se registró un caudal mínimo de 6.51 litros por segundo en el mes de agosto, estos aforos se realizaron mediante el método volumétrico para época de estiaje, ver ANEXO 2.
- Se estimaron la altura de la tubería de suministro de 6.08 m y altura de la tubería de descarga de 34.09 m, para la bomba de ariete multigolpe. Estos cálculos se llevaron a cabo en gabinete, utilizando la topografía de la zona de estudio.
- Se determinó el caudal de suministro para la bomba de ariete hidráulico con tres válvulas de impulsión, durante los meses de estiaje. En junio, el caudal de suministro fue de 4.17 L/s, con un caudal de entrega de 0.381 L/s y un rendimiento volumétrico del 9.13 %. En julio, el caudal de suministro fue de 4.32 L/s, con un caudal de entrega de 0.397 L/s y un rendimiento volumétrico del 9.19 %. En agosto, se registró un caudal de suministro de 4.46 L/s, un caudal de entrega de 0.437 L/s y un rendimiento volumétrico del 9.80 %.

Finalmente, en septiembre, se mantuvo un caudal de suministro de 4.46 L/s, con un caudal de entrega de 0.439 L/s y un rendimiento volumétrico del 9.83 %.

- Se diseñó una bomba de ariete hidráulico, con tres válvulas de impulsión para garantizar el suministro de agua a las tierras de cultivo en la época de estiaje en el sector Surmayo del Centro Poblado Púsoc – Bambamarca.
- Se estimó la eficiencia hidráulica del sistema de agua, en el sector Surmayo del Centro Poblado de Púsoc, siendo del 37.23 % para el mes de setiembre, donde la eficiencia de la captación fue del 100%, la eficiencia de la bomba de ariete para 3 válvulas de impulso fue de 55.12%, la eficiencia de almacenamiento fue de 100%, la eficiencia de conducción de 98.7 % y finalmente la eficiencia de aplicación de 68.44%. Además, se estimaron las eficiencias hidráulicas para los meses anteriores de estiaje, para el mes de junio fue de 34.58%, para el mes de julio de 34.80% y para el mes de agosto del 37.13%.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Para optimizar la eficiencia del sistema, se recomienda llevar a cabo un mantenimiento periódico de la bomba de ariete. Además, es fundamental revisar la instalación de tuberías para minimizar las pérdidas por fricción y seleccionar adecuadamente los accesorios. Asimismo, se sugiere ofrecer capacitaciones a los agricultores del sector Surmayo del Centro Poblado Púsoc, enfocadas en técnicas de riego y en el uso óptimo del sistema.
- La base donde se colocará la bomba debe ser completamente plana y nivelada. Es necesario asegurar el ariete con anclajes o sujetadores para prevenir deslizamientos y vibraciones que puedan causar el bloqueo de sus componentes móviles y, como consecuencia, detener el funcionamiento del equipo.
- Se recomienda proteger la tubería de suministro, utilizando mallas o filtros, ya que existe el riesgo de que ingresen sólidos que podrían obstruir el funcionamiento de la bomba de ariete. Además, se debe aplicar pintura anticorrosiva en la bomba para prevenir la corrosión y de esta manera extender su durabilidad.
- Se recomienda establecer un horario de riego que minimice la evaporación (preferiblemente temprano o en las tardes) y que permita que las plantas absorban el agua antes de que la temperatura se eleve demasiado.
- Se recomienda que la presión del agua sea adecuada para los aspersores, ya que, si la presión es demasiado, puede generar desperdicio de agua por evaporación y niebla, mientras que si es muy poca no puede alcanzar eficazmente todas las áreas a regar.

- Se recomienda verificar las uniones de tuberías y accesorios tanto en la línea de conducción, distribución, como en los aspersores durante la instalación. La presencia de fugas puede afectar negativamente la eficiencia del sistema.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aquino, Lenin & Gonzales, Jorge (2020). *Determinación de la Eficiencia de Conducción y Distribución del Canal “San Rumualdo” del Subsector Hidráulico Lambayeque, año 2018-2019*. Lambayeque - Peru.
- Brito, Jorge (2022). *Estudio mediante simulación del efecto hidrodinámico del número de válvulas de impulso en las características operativas de una bomba de ariete hidráulico*.
- Chero, Alexander (2018). *Diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico*.
- Delgado Tulia, Ladino Greydi, & Areas, Nolver (2021). *Evaluación de sistemas de riego utilizados*.
- Escobar, Luis & Chicaiza, Kevin (2022). *Diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico para la comunidad “Chilcapamba” del cantón Mocha*. Ambato - Ecuador.
- García, Arantes. (2020). Biodiversity and ecosystem services in the Campo Rupestre. A road map for the sustainability of the hottest Brazilian biodiversity hotspot. *Perspectives in Ecology and Conservation*.
- Gutierrez, Luis (2022). Primeras Jornadas Internacionales sobre Bombas Manuales y de Ariete. *Ingenieria Diseño Industrial*.
- Huamán, Carlos (2021). Diseño de una bomba de ariete hidráulico, comercial y sostenible, para usarse en la zona rural del distrito de Lamas. Tarapoto - Perú.
- Huamán, Jeferson (2021). *Diseño y cálculo de un sistema de bombeo económico y sostenible, para tierras eriazas en la asociación Huaman Tapara, de la localidad de Nuñoa*.
- Julca, Neuter (2019). *Diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico para la evacuación de aguas ácidas en empresas mineras de Cajamarca, 2019*.
- Marin, Manuel (2 de abril de 2021). *Bombas de ariete para las zonas rurales*. Obtenido de Agro Peru: <https://www.agroperu.pe/bombas-de-ariete-para-las-zonas-rurales/>

- Minagri (2015). Manual n° 5 "*Medición del agua*".
- Quispe, Royber (2018). *Evaluación y mejoramiento del abastecimiento del sistema de agua potable aplicando golpe de ariete, barrio Partido Alto-Shanao-Lamas-2018. Universidad César Vallejo.*
- Salvatierra, Benito (2020). Eficiencia de aplicación del riego en Andalucía. *Consejería de Agricultura y Pesca.*
- Stamboull, T., Zapata, N., Martínez, C., & Faci, J. (2022). evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre y de los cambios microclimáticos durante el riego por aspersión de alfalfa. *Esfera del agua.*
- Velasquez, Sandra & Quintana, Rafael (2022). *Diseño de un sistema de riego aplicando el sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en el tramo km 02+000 al 06+000 del Río Lircay– Angaraes. Huancavelica - Perú.*
- White, Frank M. (2004). *Mecánica de fluidos.* McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A. U.

### **Linkografía**

- Arévalo, David & Merchán, Carlos (2022). *Evaluación de los principales parámetros de la bomba de ariete para mejorar su funcionamiento.* Repositorio institucional de la Universidad de Cuenca. Disponible en:  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/37945>
- Díaz, Carlos, & Segura, Segundo (2023). *Diseño de una bomba de ariete hidráulico para suministrar agua en el centro poblado San Juan de Tinguillan-Las Pirias, Jaén-Cajamarca.* Repositorio institucional de la universidad de Jaén. Disponible en:  
<http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/544>.
- CMR/SSL. (16 de mayo de 2022). *Golpe de ariete: Definición, efectos y prevención.* Obtenido de Sierra Services:

<https://www.sierraservicesltd.com/post/golpe-de-ariete-definici%C3%B3n-efectos-y-prevenci%C3%B3n>.

- Marin, Miguel (2 de abril de 2021). *Bombas de ariete para las zonas rurales*. Obtenido de Agro Peru:

<https://www.agroperu.pe/bombas-de-ariete-para-las-zonas-rurales/>

- Monterroso, Alejandro, & Gómes, Jesús (2021). Impacto del cambio climático en la evapotranspiración potencial y periodo de crecimiento en México. *Tierra Latinoamerica* , 39, págs. 1-2. Disponible en:

<https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.774>

- Nations, F. (13 de mayo de 2020). *Global Information System ON water and Agriculture*. Obtenido de AQUASTAT-FAO's. Disponible en:

<https://www.fao.org/aquastat/en/>

- Villanueva, Nery (2022). *Diseño hidráulico de un sistema de riego por aspersión*. Lima - Peru. Disponible en:

<https://hdl.handle.net/20.500.12672/18857>

## 6 ANEXOS

### 6.1 ANEXO 1

**Tabla 15:** Resultados del diseño agronómico

PARÁMETRO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
N° Días mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Kc	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Área (HA)	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
ETo (mm/día)	3.08	2.97	2.84	2.94	2.92	2.87	2.99	3.29	3.44	3.35	3.42	3.18
ETc = kc*ETo (mm/día)	3.39	3.27	3.12	3.23	3.21	3.16	3.29	3.62	3.78	3.69	3.76	3.50
PP (mm/mes)	83.11	94.98	135.74	80.09	43.53	15.78	12.15	12.23	24.06	99.16	91.23	88.49
PP Efectiva (mm/mes)	42.49	51.98	84.59	40.07	16.12	0.00	0.00	0.00	4.44	55.33	48.98	46.79
PP Efectiva (mm/día)	1.37	1.86	2.73	1.34	0.52	0.00	0.00	0.00	0.15	1.78	1.63	1.51
Demanda neta (mm/día)	2.02	1.41	0.40	1.90	2.69	3.16	3.29	3.62	3.64	1.90	2.13	1.99
Demanda neta (L/S)	0.19	0.14	0.04	0.18	0.26	0.31	0.32	0.35	0.35	0.18	0.21	0.19
Demanda bruta (mm/día)	2.52	1.76	0.49	2.37	3.37	3.95	4.11	4.52	4.55	2.38	2.66	2.49
Demanda bruta (L/S)	0.24	0.17	0.05	0.23	0.33	0.38	0.40	0.437	0.439	0.23	0.26	0.24
Humedad aprovechable	3.72	3.72	3.72	3.72	3.72	3.72	3.72	3.72	3.72	3.72	3.72	3.72
Frecuencia de riego (días)	18.44	26.41	93.1	19.60	13.84	11.78	11.32	10.29	10.23	19.60	17.48	18.71
Tiempo de riego (días)	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70	7.70
Caudal necesario (m3/h)	1.15	0.56	0.05	1.02	2.04	2.82	3.05	3.70	3.74	1.02	1.28	1.12
Caudal necesario (L/S)	0.32	0.16	0.01	0.28	0.57	0.78	0.85	1.03	1.04	0.28	0.36	0.31

### 6.2 ANEXO 2

**Tabla 16:** Aforos de la quebrada Tacshana en el sector Surmayo – Púsoc – Bambamarca

MESES	CAUDAL DE LA QUEBRADA TACSHANA (L/s)			
	SEM. 1	SEM. 2	SEM. 3	SEM. 4
ABRIL - 2023	14.34	13.14	13.23	11.39
MAYO – 2023	10.58	10.21	11.72	11.66
JUNIO – 2023	10.43	9.86	9.64	10.03

JULIO – 2023	9.58	8.74	8.61	8.81
AGOSTO - 2023	7.68	7.16	7.01	6.51
SETIEMBRE - 2023	6.73	6.82	7.41	7.69
OCTUBRE – 2023	8.97	9.62	8.76	9.14
NOVIEMBRE – 2023	9.33	9.57	8.39	9.46
DICIEMBRE – 2023	10.05	9.78	10.57	10.61
ENERO - 2024	10.81	10.69	10.84	10.22
FEBRERO - 2024	12.18	13.26	13.82	14.75
MARZO - 2024	17.91	15.02	14.73	16.01
ABRIL - 2024	15.32	14.68	11.32	12.88

### 6.3 ANEXO 3

Tubos PVC rígido para fluidos a presión normas técnicas peruanas ITINTEC N° 399-002

(TUBO X 5 MTS.)		PRESION NOMINAL kg/cm2 (lbs/plg2)									
DIAMETRO NOMINAL (Plg)	DIAMETRO EXTERIOR (Mm)	C - 5 (75)		C - 7.5 (105)		C - 10 (150)		C - 15 (200)		C - 10 ROSCA (150)	
		DIAMETRO INTERIOR (mm)	ESPESOR (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	ESPESOR (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	ESPESOR (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	ESPESOR (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	ESPESOR (mm)
½	21.0	-	-	-	-	17.4	1.8	17.4	1.8	15.8	2.6
¾	26.5	-	-	-	-	22.9	1.8	22.9	1.8	20.1	3.2
1	33.0	-	-	-	-	29.4	1.8	28.4	2.3	25.8	3.6
1 ¼	42.0	-	-	-	-	38.0	2.0	36.2	2.9	34.0	4.0
1 ½	48.0	-	-	44.4	1.8	43.4	2.3	41.4	3.3	39.4	4.3
2	60.0	56.4	1.8	55.6	2.2	54.2	2.9	51.6	4.2	48.6	5.7
2 ½	73.0	69.4	1.8	67.8	2.6	66.0	3.5	62.8	5.1		
3	88.5	84.1	2.2	82.1	3.2	80.1	4.2	76.1	6.2		
4	114.0	108.4	2.8	105.8	4.1	103.2	5.4	98.0	8.0		
6	168.0	159.8	4.1	155.8	6.1	152.0	8.0	144.6	11.7		
8	219.0	208.4	5.3	203.2	7.9	198.2	10.4	188.4	15.3		
10	273.0	259.6	6.7	253.2	9.9	247.0	13.0	235.0	19.0		
12	323.0	307.2	7.9	299.6	11.7	292.2	15.4	278.0	22.5		

Fuente: (Index, 2022)

## 6.4 ANEXO 4

Temperatura	Densidad	Viscosidad	Viscosidad cinemática	Módulo de elasticidad volumétrica	Tensión superficial	Presión de vapor
	$\rho$	$\mu$	$\nu$	<b>K</b>	$\sigma$	<b>Pv</b>
C°	Kg/m <sup>3</sup>	N.s/m <sup>2</sup> . 10 <sup>-3</sup>	m <sup>2</sup> /s. 10 <sup>-6</sup>	Pa. 10 <sup>-7</sup>	N/m. 10 <sup>-2</sup>	Pa
0	999,9	1,792	1,792	204	7,62	588
1	999,9	1,732	1,732			
2	1000,0	1,674	1,674			
3	1000,0	1,619	1,619			
4	1000,0	1,568	1,568			
5	1000,0	1,519	1,519	206	7,54	882
6	1000,0	1,473	1,473			
7	999,9	1,429	1,429			
8	999,9	1,387	1,387			
9	999,8	1,348	1,348			
10	999,7	1,310	1,310	211	7,48	1.176
11	999,6	1,274	1,274			
12	999,5	1,239	1,240			
13	999,4	1,206	1,207			
14	999,3	1,175	1,176			
15	999,1	1,145	1,146	214	7,41	1.666
16	999,0	1,116	1,117			
17	998,8	1,088	1,089			
18	998,6	1,060	1,061			
19	998,4	1,034	1,036			
20	998,2	1,009	1,011	220	7,36	2.447
21	998,0	0,984	0,986			
22	997,8	0,961	0,963			
23	997,6	0,938	0,940			
24	997,5	0,916	0,918			
25	997,1	0,895	0,898	222	7,26	
26	996,8	0,875	0,878			
27	996,5	0,855	0,858			
28	996,3	0,836	0,839			
29	996,0	0,818	0,821			
30	995,7	0,800	0,803	223	7,18	4.297
35	994,1	0,723	0,727	224	7,10	
40	992,2	0,656	0,661	227	7,01	7.400

Fuente: (UTN - FRBA, 2010)

## 6.5 ANEXO 5

### Coefficientes de resistencia locales según P. G. Kiseliov.

Entrada en el tubo para bordes agudos.....	$\zeta = 0.50$
Entrada suave en el tubo.....	$\zeta = 0.50 - 0.20$
Ensanchamiento repentino.....	$\zeta = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$
Estrechamiento repentino.....	$\zeta = 0.5 \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$
Cono de transición (para $d_2 = 2d_1$ ).....	$\zeta = 5.0$
Cono de transición (para $d_2 \approx 0.5d_1$ ).....	$\zeta = 0.20$
Giro brusco a $90^\circ$ .....	$\zeta = 1.20$
Giro suave a $90^\circ$ .....	$\zeta = 0.15$
Salida del tubo por debajo del nivel.....	$\zeta = 1.0$
Válvula de disco totalmente abierta.....	$\zeta = 0.10$
Válvula de compuerta totalmente abierta.....	$\zeta = 0.11 - 0.12$
Diferentes robinetes totalmente abiertos.....	$\zeta = 5.0$
Válvulas de sujeción con bombas provistas de mallas.....	$\zeta = 10.0$
Entrada suave en el canal.....	$\zeta = 0.10$
Entrada en el canal con bordes de entrada agudos (con presión lateral).....	$\zeta = 0.40$
Estrechamiento suave del canal.....	$\zeta = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$
Estrechamiento suave del canal ( $A_2 < A_1$ ).....	$\zeta = 0.10$

Fuente: Pashkov, N.N., Dolqachev, F.M., (1985), Hidráulica y máquinas hidráulicas, Editorial Mir Moscú - Rusia.

## 6.6 ANEXO 6

Coefficientes de pérdidas para válvulas abiertas, codos y «tes».

Diámetro nominal, in									
	Roscado				Acoplado				
	1/2	1	2	4	1	2	4	8	20
Válvulas (abiertas):									
Globo	14	8,2	6,9	5,7	13	8,5	6,0	5,8	5,5
Compuerta	0,30	0,24	0,16	0,11	0,80	0,35	0,16	0,07	0,03
De retención	5,1	2,9	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
De ángulo	9,0	4,7	2,0	4,5	4,5	2,4	2,0	2,0	2,0
Codos:									
45° normal	0,39	0,32	0,30	0,29					
45° suave					0,21	0,20	0,19	0,16	0,14
90° normal	2,0	1,5	0,95	0,64	0,50	0,39	0,30	0,26	0,21
90° suave	1,0	0,72	0,41	0,23	0,40	0,30	0,19	0,15	0,10
180° normal	2,0	1,5	0,95	0,64	0,41	0,35	0,30	0,25	0,20
180° suave					0,40	0,30	0,21	0,15	0,10
«Tes»									
Flujo directo	0,90	0,90	0,90	0,90	0,24	0,19	0,14	0,10	0,07
Flujo lateral	2,4	1,8	1,4	1,1	1,0	0,80	0,64	0,58	0,41

Fuente: (M. White, 2004)

## 6.7 ANEXO 7

Valores de rugosidad nominal para diferentes materiales

Tuberías	"n" laboratorio	"n" diseño recomendada
Hormigón	0,009 – 0,011	Red alcantarillado: 0,011-0,012 Red A. residual: 0,012-0,013
HDPE	0,009 – 0,015	Red alcantarillado: 0,012-0,020
PVC	0,009 – 0,011	Red alcantarillado / Red A. residual: 0,011-0,013
Corrugada	0,012- 0,030	0,021 – 0,029

Fuente: (M. White, 2004)

## 6.8 ANEXO 8

**Tabla 17.** Parámetros de la bomba de ariete con 3 válvulas de impulsión

<b>PARÁMETROS DE LA BOMBA</b>	<b>RESULTADOS</b>
Altura de entrega (Hd)	34.09m
Altura de suministro (Hs)	6.08 m
Longitud de tubería de suministro (L)	19.83 m
Diámetro de la tubería de suministro (Ds)	80.1 mm
Diámetro de la tubería de descarga (Dd)	43.4 mm
Caudal de suministro (Q)	0.0045 m <sup>3</sup> /s
Caudal para alimentar a las válvulas (QT)	0.0043 m <sup>3</sup> /s
Desecho en un ciclo de trabajo (Qp)	0.00363 m <sup>3</sup> /s
Caudal bombeado en un ciclo de trabajo (qp)	0.000551m <sup>3</sup> /s
Caudal que consume la bomba: $Q=Qp+qp$	0.00418 m <sup>3</sup> /s
Presión dinámica (P)	2209.69 Pa
Energía cinética (Ec)	10.02 Nm
Altura desarrollada por el ariete	36.33 m
Celeridad de onda de presión ( $\alpha$ )	185.12 m/s
Tiempo de cierre de la válvula	0.214 s
Sobrepresión máxima dentro del ariete	0.449 Mpa
Sobrepresión mínima dentro del ariete	0.329 Mpa
Peso de las válvulas de impulso	0.62 Kg
Potencia útil del ariete (Pu)	196.28 W
Potencia recibida (Pb)	249.34 W
Eficiencia requerida de la bomba (n%)	78.72%
Rendimiento volumétrico	13.17

## 6.9 ANEXO 9

**Tabla 18:** Diámetros de tubería para laterales

N° DE LATERALES	DIÁMETRO (Ø)
L 1	1 1/2 “
L 2	1 1/2 “
L 3	1 “
L 4	1 “
L 5	1 “
L 6	1 “
L 7	1 “
L 8	3/4 “
L 9	3/4 “
L 10	1 “
L 11	1 “
L 12	1 “
L 13	1 “
L 14	1 “
L 15	3/4 “
L 16	3/4 “
L 17	3/4 “
L 18	3/4 “

## 6.1 ANEXO 10

**Tabla 19:** Eficiencia hidráulica del sistema

EFICIENCIA DEL SISTEMA						
MES	Ecap.	Eb.	Ealm.	Econd.	Eaplic.	Esistema
Junio	1	0.51	1	0.987	0.6844	34.58
Julio	1	0.52	1	0.987	0.6844	34.80
Agosto	1	0.55	1	0.987	0.6844	37.13
Setiembre	1	0.55	1	0.987	0.6844	37.23

## 6.2 ANEXO 11

### Ficha técnica del aspersor

# 5022 SD PC



## Aspersores para Cobertura Total

Aspersor plástico a impacto, 1/2" macho o 3/4" hembra. montado sobre elevador

- Riego mas eficiente para límites de campos con la mejor uniformidad.
- Kit PC intercambiable pendiente de patente.
- Unidad PC encajada en la boquilla trasera para fácil montaje y desmontaje.

**Aplicaciones:** Riego y fertirrigación de bordes de cultivos de campo, patatas, zanahorias y flores.

- Único e innovador mecanismo PC modular
- Sencillo cambio de aspersor de circulo completo por aspersor de circulo sectorial y viceversa.
- Martillo único combinado con placa SD (Super Difusora) diseñada para una distribución uniforme incluso a baja presión (1.5 bar).
- Espaciamiento de hasta 14m.
- La combinación con el aspersor de circulo completo asegura que al 100% del agua permanece dentro del área de riego.
- Su amplio rango de caudales lo convierte en el socio ideal para todo aspersor de círculo completo en cualquier cultivo o campo.
- Materiales plásticos para alto impacto y sin para trabajo intenso, brindan resistencia a la corrosión, a los productos químicos y a la radiación UV.

**5022 SD PC Tabla de rendimientos**

color manguito	Color boquilla (mm)	P (bar)	Q (m3/h)	D (m)
Rojo	2.5 Púrpura	1.5	0.320	19.00
		2.0	0.375	20.00
		2.5	0.420	21.00
		3.0	0.460	21.50
		3.5	0.490	22.00
	2.8 Naranja	4.0	0.525	22.00
		1.5	0.415	21.50
		2.0	0.475	22.00
		2.5	0.530	22.50
		3.0	0.580	23.00
Negro	3.0 Rojo	3.5	0.630	23.00
		4.0	0.680	23.50
		1.5	0.445	21.00
		2.0	0.520	21.50
		2.5	0.575	22.00
		3.0	0.625	22.50
	3.2 Verde	3.5	0.680	23.00
		4.0	0.730	23.00
		1.5	0.520	21.00
		2.0	0.590	21.50
		2.5	0.660	22.50
		3.0	0.725	23.50
		3.5	0.770	23.50
		4.0	0.835	23.50

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

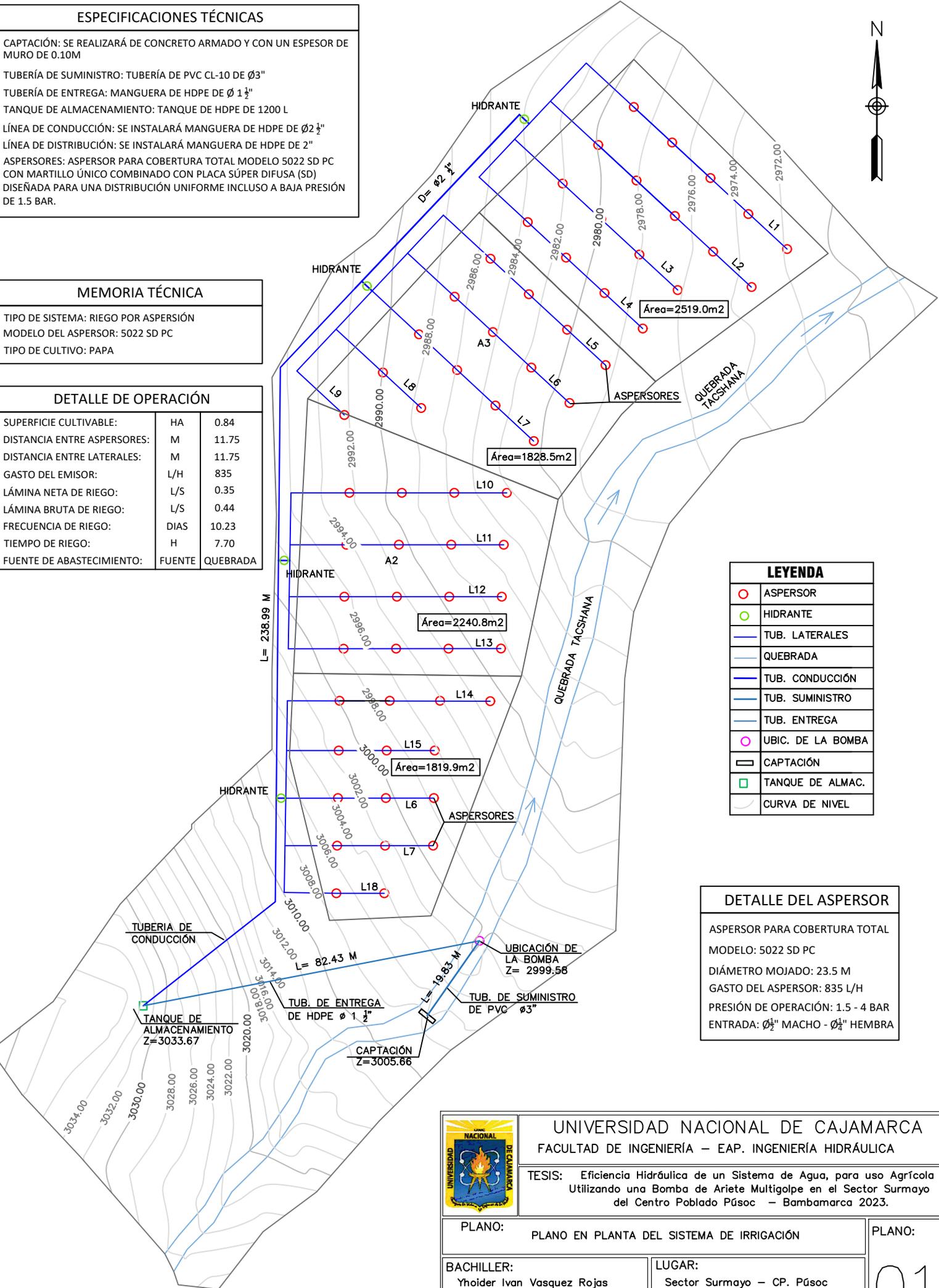
CAPTACIÓN: SE REALIZARÁ DE CONCRETO ARMADO Y CON UN ESPESOR DE MURO DE 0.10M  
 TUBERÍA DE SUMINISTRO: TUBERÍA DE PVC CL-10 DE Ø3"  
 TUBERÍA DE ENTREGA: MANGUERA DE HDPE DE Ø 1 1/2"  
 TANQUE DE ALMACENAMIENTO: TANQUE DE HDPE DE 1200 L  
 LÍNEA DE CONDUCCIÓN: SE INSTALARÁ MANGUERA DE HDPE DE Ø2 1/2"  
 LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN: SE INSTALARÁ MANGUERA DE HDPE DE 2"  
 ASPERSORES: ASPERSOR PARA COBERTURA TOTAL MODELO 5022 SD PC CON MARTILLO ÚNICO COMBINADO CON PLACA SÚPER DIFUSA (SD) DISEÑADA PARA UNA DISTRIBUCIÓN UNIFORME INCLUSO A BAJA PRESIÓN DE 1.5 BAR.

### MEMORIA TÉCNICA

TIPO DE SISTEMA: RIEGO POR ASPERSIÓN  
 MODELO DEL ASPERSOR: 5022 SD PC  
 TIPO DE CULTIVO: PAPA

### DETALLE DE OPERACIÓN

SUPERFICIE CULTIVABLE:	HA	0.84
DISTANCIA ENTRE ASPERSORES:	M	11.75
DISTANCIA ENTRE LATERALES:	M	11.75
GASTO DEL EMISOR:	L/H	835
LÁMINA NETA DE RIEGO:	L/S	0.35
LÁMINA BRUTA DE RIEGO:	L/S	0.44
FRECUENCIA DE RIEGO:	DIAS	10.23
TIEMPO DE RIEGO:	H	7.70
FUENTE DE ABASTECIMIENTO:	FUENTE	QUEBRADA



LEYENDA	
	ASPERSOR
	HIDRANTE
	TUB. LATERALES
	QUEBRADA
	TUB. CONDUCCIÓN
	TUB. SUMINISTRO
	TUB. ENTREGA
	UBIC. DE LA BOMBA
	CAPTACIÓN
	TANQUE DE ALMAC.
	CURVA DE NIVEL

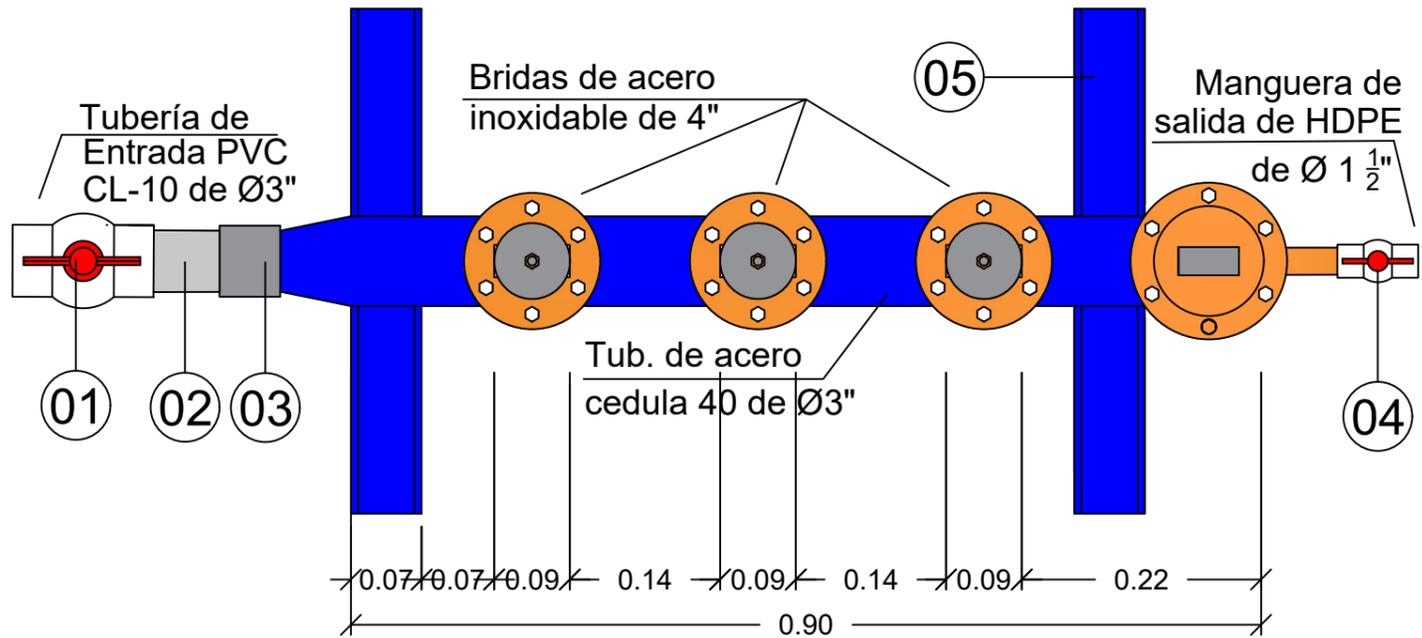
DETALLE DEL ASPERSOR
ASPERSOR PARA COBERTURA TOTAL
MODELO: 5022 SD PC
DIÁMETRO MOJADO: 23.5 M
GASTO DEL ASPERSOR: 835 L/H
PRESIÓN DE OPERACIÓN: 1.5 - 4 BAR
ENTRADA: Ø 1/2" MACHO - Ø 3/4" HEMBRA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA – EAP. INGENIERÍA HIDRÁULICA

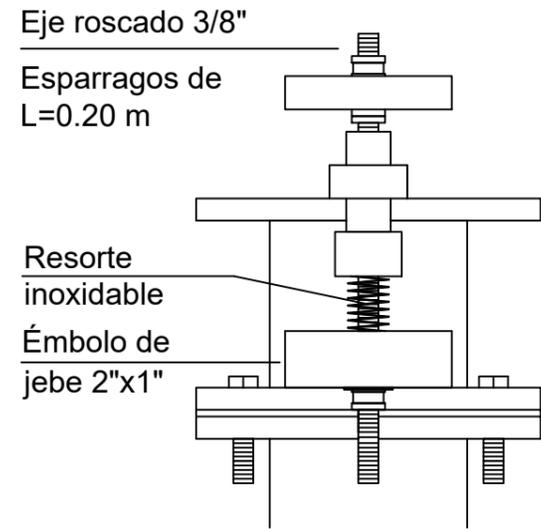
TESIS: Eficiencia Hidráulica de un Sistema de Agua, para uso Agrícola Utilizando una Bomba de Ariete Multigolpe en el Sector Surmayo del Centro Poblado Púsoc – Bambamarca 2023.

PLANO:	PLANO EN PLANTA DEL SISTEMA DE IRRIGACIÓN	PLANO:	01	
BACHILLER:	Yhoider Ivan Vasquez Rojas	LUGAR:		Sector Surmayo – CP. Púsoc
ASESOR:	Dr. Ing. José F. Huamán Vidaurre	FECHA:		Setiembre del 2024
		ESCALA:	1/1050	

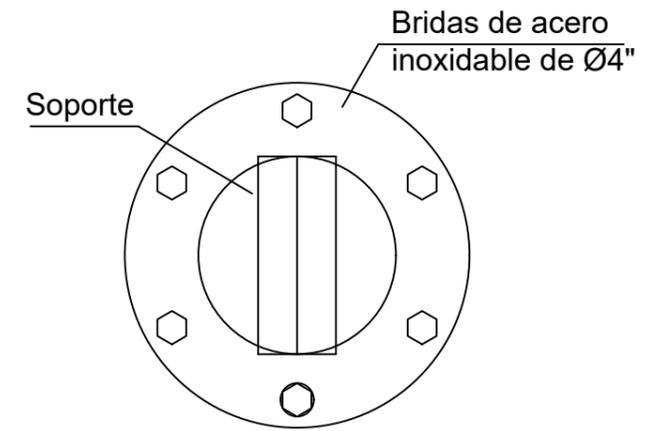
VISTA EN PLANTA



ESQUEMA DE VÁLVULAS DE ENTREGA

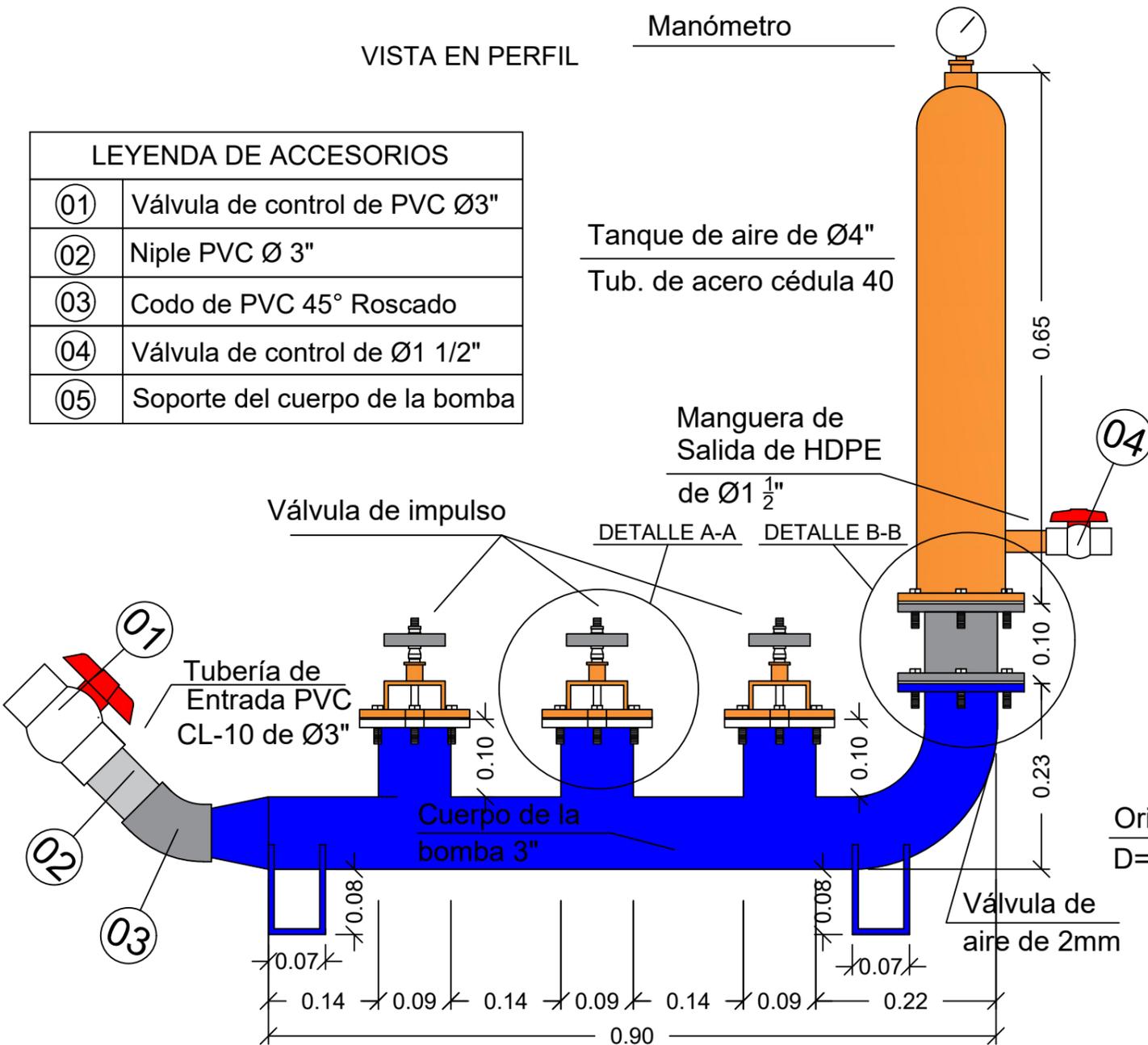


DETALLE B-B



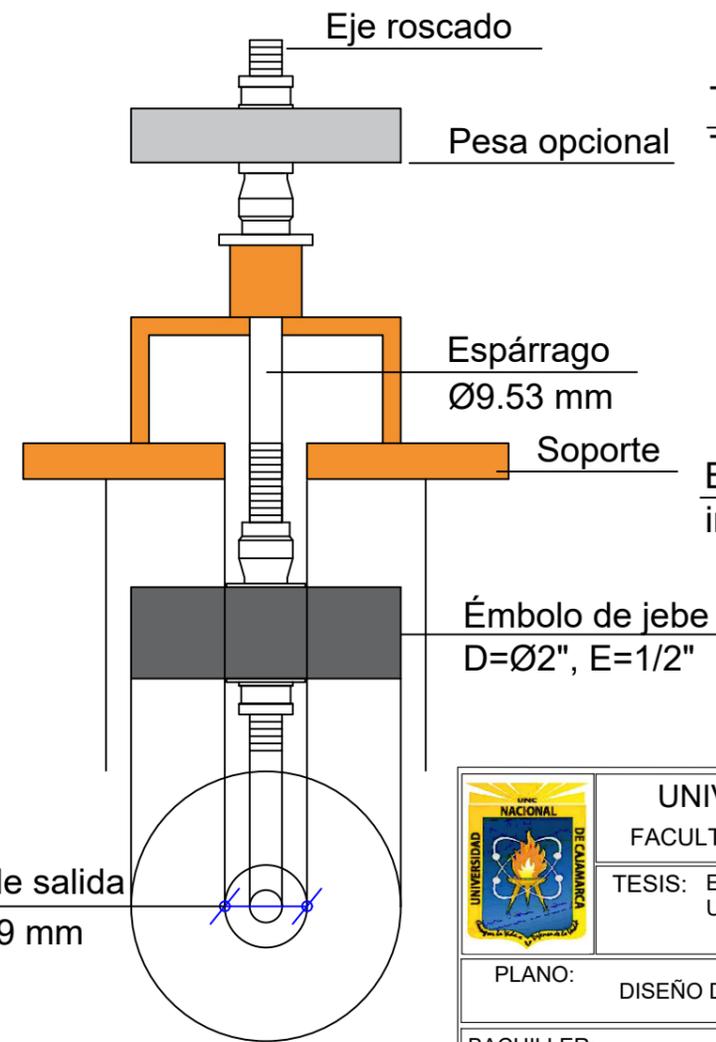
VISTA EN PERFIL

Manómetro



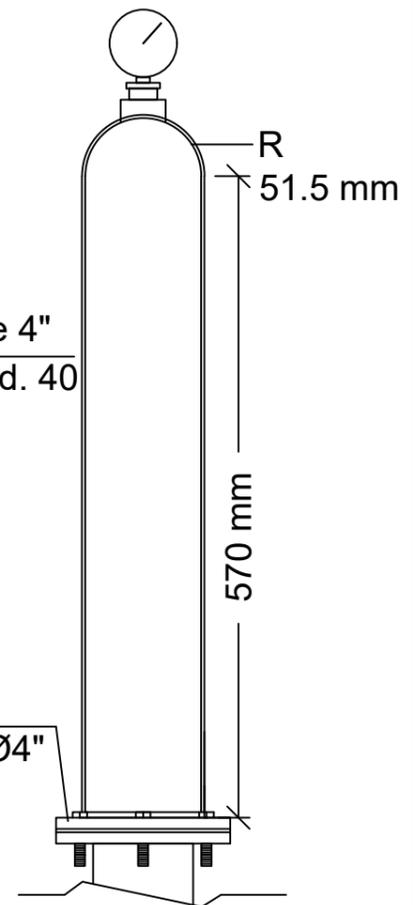
ESQUEMA DE VÁLVULAS DE IMPULSO

DETALLE A-A



Tanque de aire 4"

Tub. Acero Ced. 40



LEYENDA DE ACCESORIOS

01	Válvula de control de PVC Ø3"
02	Niple PVC Ø 3"
03	Codo de PVC 45° Roscado
04	Válvula de control de Ø1 1/2"
05	Soporte del cuerpo de la bomba



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA - EAP. INGENIERÍA HIDRÁULICA

TESIS: Eficiencia Hidráulica de un Sistema de Agua, para uso Agrícola Utilizando una Bomba de Ariete Multigolpe en el Sector Surmayo del Centro Poblado Púsoc - Bambamarca 2023.

PLANO: DISEÑO DE LA BOMBA DE ARIETE MULTIGOLPE

PLANO:

BACHILLER:  
Yhoider Ivan Vasquez Rojas

LUGAR:  
Sector Surmayo - CP. Púsoc

ASESOR:  
Dr. Ing. José F. Huamán vidaurre

FECHA:  
Setiembre del 2024

ESCALA:  
Indicada

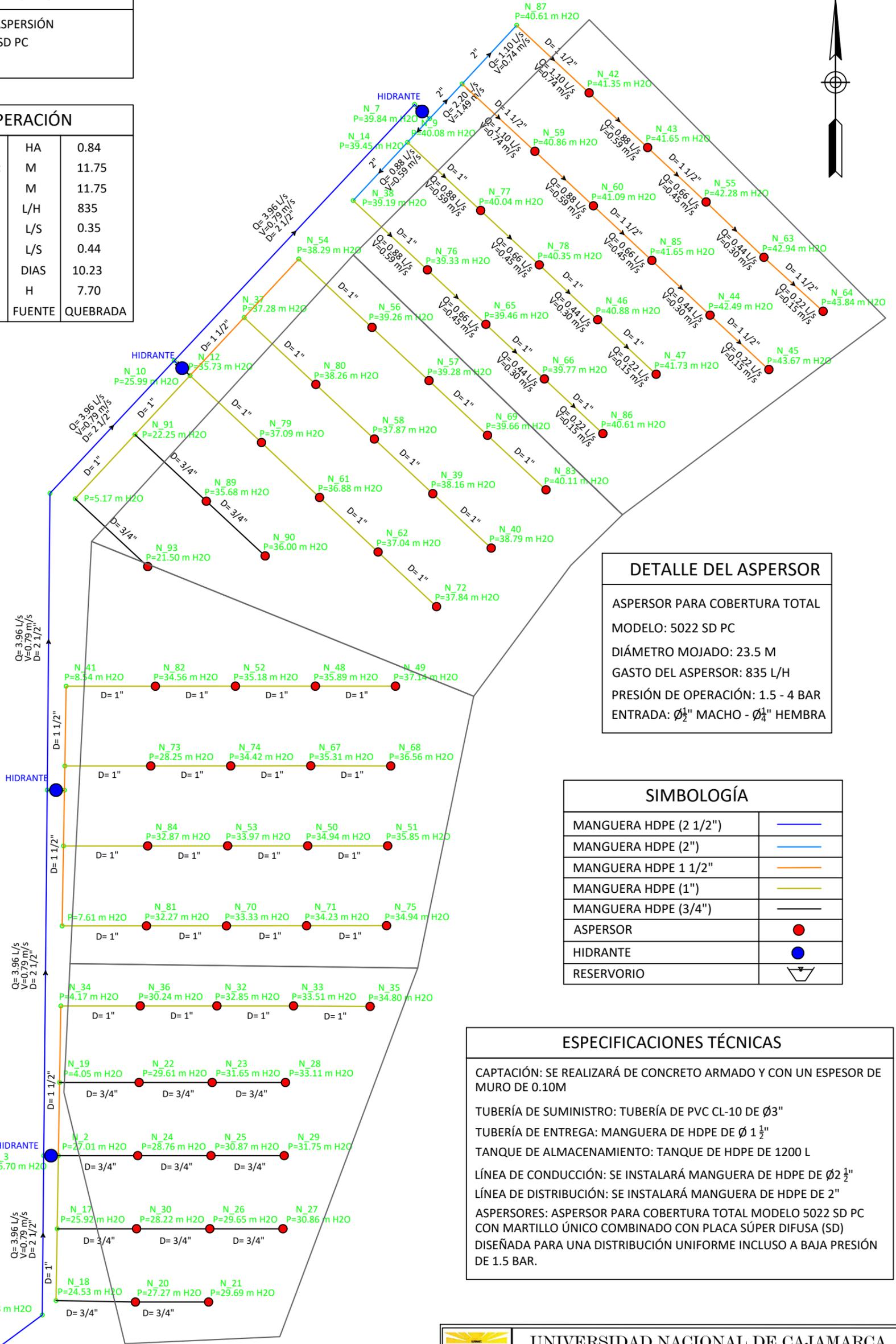
02

# MEMORIA TÉCNICA

TIPO DE SISTEMA: RIEGO POR ASPERSIÓN  
 MODELO DEL ASPERSOR: 5022 SD PC  
 TIPO DE CULTIVO: PAPA

## DETALLE DE OPERACIÓN

SUPERFICIE CULTIVABLE:	HA	0.84
DISTANCIA ENTRE ASPERSORES:	M	11.75
DISTANCIA ENTRE LATERALES:	M	11.75
GASTO DEL EMISOR:	L/H	835
LÁMINA NETA DE RIEGO:	L/S	0.35
LÁMINA BRUTA DE RIEGO:	L/S	0.44
FRECUENCIA DE RIEGO:	DIAS	10.23
TIEMPO DE RIEGO:	H	7.70
FUENTE DE ABASTECIMIENTO:	FUENTE	QUEBRADA



### DETALLE DEL ASPERSOR

ASPERSOR PARA COBERTURA TOTAL  
 MODELO: 5022 SD PC  
 DIÁMETRO MOJADO: 23.5 M  
 GASTO DEL ASPERSOR: 835 L/H  
 PRESIÓN DE OPERACIÓN: 1.5 - 4 BAR  
 ENTRADA:  $\varnothing 1/2$ " MACHO -  $\varnothing 1/4$ " HEMBRA

### SIMBOLOGÍA

MANGUERA HDPE (2 1/2")	
MANGUERA HDPE (2")	
MANGUERA HDPE 1 1/2"	
MANGUERA HDPE (1")	
MANGUERA HDPE (3/4")	
ASPERSOR	
HIDRANTE	
RESERVORIO	

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

CAPTACIÓN: SE REALIZARÁ DE CONCRETO ARMADO Y CON UN ESPESOR DE MURO DE 0.10M  
 TUBERÍA DE SUMINISTRO: TUBERÍA DE PVC CL-10 DE  $\varnothing 3$ "  
 TUBERÍA DE ENTREGA: MANGUERA DE HDPE DE  $\varnothing 1 1/2$ "  
 TANQUE DE ALMACENAMIENTO: TANQUE DE HDPE DE 1200 L  
 LÍNEA DE CONDUCCIÓN: SE INSTALARÁ MANGUERA DE HDPE DE  $\varnothing 2 1/2$ "  
 LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN: SE INSTALARÁ MANGUERA DE HDPE DE 2"  
 ASPERSORES: ASPERSOR PARA COBERTURA TOTAL MODELO 5022 SD PC CON MARTILLO ÚNICO COMBINADO CON PLACA SÚPER DIFUSA (SD) DISEÑADA PARA UNA DISTRIBUCIÓN UNIFORME INCLUSO A BAJA PRESIÓN DE 1.5 BAR.

RESERVORIO  
 N: 9,272,137.73 m  
 E: 778,107.61 m  
 COTA: 3,033.67 m



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA - EAP DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

TESIS: Eficiencia Hidráulica de un Sistema de Agua, para uso Agrícola Utilizando una Bomba de Ariete Multigolpe en el Sector Surmayo del centro Poblado Púsoc - Bambamarca 2023

PLANO: Modelamiento Estático de Riego por Aspersión en el Sector Surmayo del CP. Púsoc - Bambamarca

PLANO:

BACHILLER: Yhoider Ivan Vasquez Rojas

LUGAR: Sector Surmayo - C.P. Púsoc

ASESOR: Dr. Ing. José F. Huamán Vidaurre

FECHA: Setiembre 2024

ESCALA: 1/1000

03