UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

T E S I S

Evaluación del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, Distrito de Goyllarisquizga – 2024

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Bach. John Abdiel MENDOZA BERROSPI

Bach. Santiago MENDOZA BERROSPI

Asesor:

Mg. Josue Hermilio DIAZ LAZO

Cerro de Pasco – Perú – 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

T E S I S

Evaluación del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, Distrito de Goyllarisquizga – 2024

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Rommel Luis LOPEZ ALVARADO	**Dr. Luis Alberto PACHECO PEÑA**
PRESIDENTE	**MIEMBRO**

Dr. David Johnny CUYUBAMBA ZEVALLOS

MIEMBRO

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 050-2026-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bach. John Abdiel MENDOZA BERROSPI

Bach. Santiago MENDOZA BERROSPI

Escuela de Formación Profesional:

Ingeniería Ambiental

Tipo de trabajo:

Tesis

Título del trabajo:

Evaluación del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga – 2024

Asesor

Mg. Josue Hermilio DIAZ LAZO

Índice de Similitud

8 %

Calificativo:

APROBADO

Se adjunta el informe y el reporte de evaluación del software Turnitin Similarity

Cerro de Pasco, 30 de julio del 2026

Firmado digitalmente por PALOMINO ISIDRO Ruben Edgar FAU 20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 30-07-2026 11:01:07 -05:00

DEDICATORIA

A nuestros padres por su cariño incondicional, respaldo permanente y esfuerzo inquebrantable. Gracias por confiar en nosotros y por brindarnos la motivación necesaria para alcanzar nuestras metas académicas.

A nuestros profesores y asesores de la carrera de Ingeniería Ambiental, por su orientación especializada, inspiración y valioso compromiso. Su entrega y experiencia han sido esenciales en el desarrollo de este trabajo.

A nuestros amigos, por su paciencia, ánimo y compañía durante los momentos de estudio intenso y desafíos. Su apoyo ha sido una fuente de motivación constante.

Finalmente, a nuestras familias y seres queridos, por su comprensión y aliento durante todo este proceso. Su confianza en mis capacidades me ha impulsado a dar lo mejor de nosotros.

Con gratitud y aprecio,

Los Autores.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo de investigación pudo concretarse gracias al respaldo y la participación de distintas personas e instituciones, hacia quienes dirigimos nuestro más sincero reconocimiento y gratitud.

Reconocemos al Magister Diaz Lazo, Josue Hermilio, por acompañarnos durante el desarrollo de este trabajo con sus orientaciones, observaciones y permanente disposición para guiarnos. Su experiencia y dedicación fueron fundamentales para fortalecer la calidad y claridad de esta investigación.

Asimismo, extendemos nuestro reconocimiento a los docentes de la escuela de Ingeniería Ambiental, quienes, mediante sus enseñanzas y experiencias compartidas, contribuyeron significativamente a nuestra formación profesional y despertaron en nosotros el interés por ampliar nuestros conocimientos y perspectivas.

También agradecemos a nuestros compañeros y amistades, quienes estuvieron presentes brindándonos ánimo, colaboración y motivación en los momentos de mayor exigencia académica. Su apoyo representó un impulso importante para continuar avanzando.

A nuestras familias, les expresamos una gratitud especial por la paciencia, comprensión y confianza depositada en nosotros durante este proceso. Su respaldo emocional fue esencial para afrontar cada desafío y alcanzar esta meta académica.

Finalmente, manifestamos nuestro agradecimiento a la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión por ofrecer las condiciones, recursos y espacios necesarios para el desarrollo de esta investigación.

Con aprecio y gratitud, dedicamos este reconocimiento a todos quienes formaron parte de este logro académico.

RESUMEN

La investigación titulada “Evaluación del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga – 2024” tuvo como objetivo evaluar la efectividad de un sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para cubrir la demanda hídrica de cultivos de pastizales (ryegrass y trébol) en un área de 0.25 ha, estimada en un caudal de 0.14 L/s.

El estudio se desarrolló bajo un enfoque experimental y de nivel aplicado, orientado a la solución de una problemática real en el ámbito rural. La unidad de análisis correspondió al caserío de Canchapunque, ubicado en el distrito de Goyllarisquizga.

Los resultados evidenciaron que el sistema alcanzó una eficiencia hidráulica de 53.57%, logrando un caudal de descarga de hasta 0.15 L/s, valor que supera la demanda requerida. El sistema permitió elevar el agua a una altura de 30 m mediante una tubería de descarga de 100 m de longitud y 25 mm de diámetro. Este desempeño se sustentó en el aprovechamiento del fenómeno del golpe de ariete, generado a partir de un caudal de alimentación de 0.84 L/s, conducido hacia una bomba de 1.5 pulgadas mediante una tubería de alimentación de 20 m de longitud, 50 mm de diámetro y un desnivel de 10 m desde la fuente de captación.

En conclusión, el sistema de ariete hidráulico constituye una alternativa técnicamente viable y eficiente para el abastecimiento de agua de riego en zonas rurales con limitaciones de acceso a energía convencional, garantizando el cumplimiento de la demanda hídrica.

Palabras clave: ariete hidráulico, eficiencia hidráulica, sistema de bombeo, demanda hídrica.

ABSTRACT

The research titled “Evaluation of a hydraulic ram pumping system for irrigation water supply in the hamlet of Canchapunque, Goyllarisquizga District – 2024” aimed to evaluate the effectiveness of a hydraulic ram pumping system in meeting the water demand of pasture crops (ryegrass and clover) across a 0.25-hectare area, with an estimated flow requirement of 0.14 L/s.

The study employed an experimental, applied research approach aimed at solving a real-world problem in a rural setting. The unit of analysis was the hamlet of Canchapunque, located in the Goyllarisquizga District.

The results demonstrated that the system achieved a hydraulic efficiency of 53.57% and a discharge flow rate of up to 0.15 L/s, a value exceeding the required demand. The system successfully lifted water to a height of 30 m through a discharge pipe 100 m long and 25 mm in diameter. This performance relied on harnessing the water hammer phenomenon, generated from an inflow rate of 0.84 L/s directed to a 1.5-inch pump via a supply pipe 20 m long and 50 mm in diameter, with a 10 m vertical drop from the water source.

In conclusion, the hydraulic ram system represents a technically viable and efficient alternative for irrigation water supply in rural areas with limited access to conventional energy, ensuring that water demand is met.

Keywords: hydraulic ram pump, hydraulic efficiency, pumping system, water demand.

INTRODUCCIÓN

La investigación presentada se orientó a evaluar la efectividad de un sistema de bombeo basado en ariete hidráulico para la elevación de agua con fines de riego, con el propósito de aportar soluciones sostenibles frente a las limitaciones de abastecimiento hídrico que afectan la actividad agrícola en el caserío de Canchapunque, localizado en el distrito de Goyllarisquizga, provincia Daniel Alcides Carrión y región Pasco. El estudio surge ante la necesidad de implementar alternativas tecnológicas capaces de mejorar el aprovechamiento del recurso hídrico y reducir los costos asociados a los métodos tradicionales de bombeo utilizados en zonas rurales.

En la primera etapa de la investigación se efectuó una evaluación de las fuentes de agua disponibles y de los requerimientos hídricos de los cultivos predominantes en el área de estudio. Esta información permitió definir las condiciones técnicas necesarias para el planteamiento del sistema hidráulico. Posteriormente, se desarrollaron los procedimientos de diseño y dimensionamiento mediante cálculos hidráulicos y ensayos experimentales realizados en campo, con la finalidad de identificar las condiciones operativas más adecuadas para el funcionamiento del ariete hidráulico. Del mismo modo, se estimó el caudal de descarga alcanzable a partir de la información experimental obtenida, los criterios teóricos y los antecedentes científicos consultados.

Los resultados obtenidos permitieron determinar una configuración eficiente del sistema de ariete hidráulico, adecuada para atender las necesidades de riego agrícola de la población beneficiaria. Asimismo, se evaluó el comportamiento operativo del sistema considerando parámetros de rendimiento y eficiencia hidráulica. Aunque las motobombas convencionales continúan siendo ampliamente empleadas en actividades agrícolas, su utilización demanda elevados gastos de operación y mantenimiento, además de ocasionar efectos perjudiciales sobre el ambiente debido al uso permanente de combustibles fósiles.

Frente a esta problemática, el estudio propone el empleo del ariete hidráulico como una tecnología sostenible y autosuficiente, cuyo funcionamiento se basa en principios físicos que permiten elevar agua sin requerir energía eléctrica ni combustibles. En consecuencia, esta alternativa representa una opción ambientalmente favorable para comunidades rurales con acceso limitado a recursos energéticos. De igual manera, la investigación incorpora un análisis económico orientado a demostrar la viabilidad del sistema como una estrategia que contribuye a disminuir los costos de irrigación y fortalecer las actividades productivas de los agricultores de la zona.

La estructura del trabajo se encuentra organizada en cuatro capítulos.

Capítulo I, describe la problemática de investigación y se plantean los objetivos que orientan el desarrollo del estudio.

Capítulo II, comprende los antecedentes y fundamentos teóricos que sustentan científicamente la investigación.

Capítulo III, explica la metodología aplicada, incluyendo los métodos, técnicas e instrumentos utilizados para la obtención y el procesamiento de datos.

Capítulo IV se presentan las actividades ejecutadas en campo, los resultados alcanzados y el análisis e interpretación correspondiente.

Los autores.

ÍNDICE

Página.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ECUACIONES

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema 1

1.2. Delimitación de la investigación 5

1.3. Formulación del problema 7

1.3.1. Problema general 7

1.3.2. Problemas específicos 7

1.4. Formulación de objetivos 8

1.4.1. Objetivo general 8

1.4.2. Objetivos específicos 8

1.5. Justificación de la investigación 8

1.6. Limitaciones de la investigación 9

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio 11
2.2. Bases teóricas – científicas 15
2.3. Definición de términos básicos 44
2.4. Formulación de hipótesis 46
2.4.1. Hipótesis general 46
2.4.2. Hipótesis específicas 46
2.5. Identificación de variables 46
2.6. Definición operacional de variables e indicadores 47

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación 48
3.2. Nivel de investigación 48
3.3. Métodos de investigación 48
3.4. Diseño de investigación 49
3.5. Población y muestra 49
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 50
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación 50
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos 51
3.9. Tratamiento estadístico 52
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica 52

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo 53

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados. 105
4.3. Prueba de hipótesis 117
4.3.1. Prueba de hipótesis general.....117
4.3.2. Prueba de hipótesis específicas.....117
4.4. Discusión de resultados.....118
CONCLUSIONES
RECOMENDACIONES
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Página.

Tabla 1. Rangos de longitud de la tubería de alimentación en relación de su diámetro. 28

Tabla 2. Parámetros de la cámara de aire 37

Tabla 3. Definición operacional de variables e indicadores. 47

Tabla 4. Determinación de caudal usando el método volumétrico de aforo. 58

Tabla 5. Determinación de la Radiación solar extraterrestre (mm/día) 65

Tabla 6. Determinación de Evapotranspiración de Referencia por el método de Hargreaves-Samani 65

Tabla 7. Determinación de Precipitación Efectiva por el método de método del USDA Soil Conservation Service 67

Tabla 8. Valores promedio del coeficiente de cultivo Kc. 68

Tabla 9. Resultados de la demanda hídrica del cultivo y determinación del caudal de descarga 70

Tabla 10. Medidas de diámetros de tuberías 74

Tabla 11. Longitud para las tuberías de alimentación, dependiendo del diámetro. 75

Tabla 12. Parámetros del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico 79

Tabla 13. Componentes del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico 80

Tabla 14. Parámetros de la cámara de aire 84

Tabla 15. Materiales requeridos para la línea de alimentación. 86

Tabla 16. Materiales para la línea de descarga 87

Tabla 17. Relación de los accesorios para la bomba tipo ariete hidráulico. 88

Tabla 18. Aforo del caudal del manantial. 95

Tabla 19. Parámetros operativos y aforo del caudal de descarga (60 golpes/min). 97

Tabla 20. Aforo del caudal de rebose (primera evaluación) 98

Tabla 21. Parámetros operativos y aforo del caudal de descarga (70 golpes/min). 100

Tabla 22. Aforo del caudal de rebose (segunda evaluación) 101

Tabla 23. Parámetros operativos y aforo del caudal de descarga (80 golpes/min). 103

Tabla 24. Aforo del caudal de rebose (tercera evaluación) 104

Tabla 25. Resumen de los datos recopilados en los ensayos de campo. 109

Tabla 26. Valores de eficiencia y eficacia logrados para la bomba de ariete hidráulico. 109

Tabla 27. Costos de materiales 115

Tabla 28. Costos de mano de obra en el ensamblaje del ariete hidráulico. 116

Tabla 29. Costos de inversión en la instalación del sistema de ariete hidráulico 116

Tabla 30. Costos de mantenimiento de la bomba tipo ariete hidráulico. 117

Tabla 31. Parámetros de diseño vs. resultados experimentales. 122

ÍNDICE DE FIGURAS

Página.

Figura 1. Crías muertas por abandono y déficit alimentario en el ganado ovino 3

Figura 2. Área agrícola destinada a la siembra de pasto (ryegrass y trébol) en la zona rural de Canchapunque. 4

Figura 3. Sembrío del pastizal (ryegrass y trébol), en la zona rural del caserío de Canchapunque. 4

Figura 4. Alimentación de ovinos con pastizales cultivadas, en la zona rural del caserío de Canchapunque. 5

Figura 5. Vista aéreo, del caserío de Canchapunque 6

Figura 6. Vista panorámica del caserío de Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga. 6

Figura 7. Pastizales cultivados por los pobladores del caserío de Canchapunque. 10

Figura 8. Sistema de siembra en hileras y surcos para fines de riego 16

Figura 9. Sistema de riego por melgas 16

Figura 10. Sistema de riego por goteo 17

Figura 11. Sistema de riego por aspersión 18

Figura 12. Eficiencia de tipos de riego. 18

Figura 13. Sobrepresión generada por el golpe de ariete 20

Figura 14. Diagrama del sistema de bombeo según John Whitehurst 21

Figura 15. Diagrama del sistema de bombeo según Joseph Montgolfier 21

Figura 16. La fuerza de arrastre del agua ocasiona el cierre brusco de la válvula de choque. 22

Figura 17. Se genera un “golpe de ariete”, provocando un incremento considerable en la presión del fluido. 23

Figura 18. La válvula de retención se abre, lo que posibilita el ingreso del agua hacia la cámara de aire y la tubería de impulsión. 23

Figura 19. Cierre de la válvula de retención, liberándose el agua por medio de la tubería de impulsión.....24
Figura 20. Apertura de la válvula de choque, dando inicio nuevamente al ciclo. 24
Figura 21. Configuración de sistema de bombeo tipo Ariete Hidráulico. 25
Figura 22. Válvula con resorte de pletina 30
Figura 23. Válvula con plato perforado. 31
Figura 24. Válvula con resorte. 31
Figura 25. Válvula con pesas superiores. 32
Figura 26. Válvula con pesas inferiores. 32
Figura 27. Válvula de solapa 34
Figura 28. Válvula tipo cabezal 34
Figura 29. Válvula de bisagra 35
Figura 30. Válvula de disco suelto 35
Figura 31. Válvula de tapón 36
Figura 32. Imagen satelital del sitio de investigación 54
Figura 33. Existencia de la planta "Pajonal altoandino" en áreas de cultivo de pastizales. 54
Figura 34. Manantial subterráneo 55
Figura 35. Corriente de agua que viene del manantial subterráneo. 55
Figura 36. Medición del caudal ofrecido mediante el método volumétrico de aforo. 57
Figura 37. Pozas en las coordenadas UTM: E: 345459m; N: 8838455m; y altitud 4110 m.s.n.m. 59
Figura 38. Configuración inicial del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico. 59
Figura 39. Ubicación de la bomba de ariete hidráulico 61
Figura 40. Configuración del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico. 62
Figura 41. Textura del suelo 69

Figura 42. Tanque de alimentación de agua 77
Figura 43. Tanque de almacenamiento de agua.....78
Figura 44. Diseño de la bomba tipo ariete hidráulico.....81
Figura 45. Válvula tipo cabezal invertida.....82
Figura 46. Válvula tipo cabezal 83
Figura 47. Prototipo proyectado del ariete hidráulico. 83
Figura 48. Materiales requeridos para la línea de alimentación 87
Figura 49. Tubería HDPE DE 25 mm PE 80 SDR 17 87
Figura 50. Accesorios que forman parte del cuerpo de la bomba tipo ariete hidráulico. 88
Figura 51. Ensamblaje de la bomba de ariete hidráulico.....89
Figura 52. Instalación del sistema de bombeo hidráulico.....90
Figura 53. Tendido de la línea de descarga.....90
Figura 54. Aseguramiento de la línea de descarga. 91
Figura 55. Fuente de alimentación.....92
Figura 56. Cerrado de las válvulas.....92
Figura 57. Puesta en marcha del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico. 93
Figura 58. Verificación de la presión de trabajo.....93
Figura 59. Apertura de la válvula que permite el paso del caudal de descarga 94
Figura 60. Llegada de caudal de descarga 94
Figura 61. A la izquierda se observa la válvula de impulsión a una apertura de 14 mm y a la derecha la bomba de ariete en funcionamiento (primera evaluación). 96
Figura 62. Medicion del caudal de descarga a un ritmo de 60 golpes de ariete en un minuto 97
Figura 63. A la izquierda se observa la válvula de impulsión a una apertura de 12 mm y a la derecha la bomba de ariete en funcionamiento (segunda evaluación).....99

Figura 64. Medición del caudal de descarga a un ritmo de 70 golpes de ariete en un minuto 100
Figura 65. A la izquierda se observa la válvula de impulsión a una apertura de 10 mm y a la derecha la bomba de ariete en funcionamiento (tercera evaluación). 102
Figura 66. Medición del caudal de descarga a un ritmo de 80 golpes de ariete en un minuto 103
Figura 67. N° de golpes/minuto Vs. Caudal de alimentación. 110
Figura 68. N° de golpes/minuto Vs. Caudal de descarga. 111
Figura 69. N° de golpes/minuto Vs. Eficiencia de la Bomba de ariete. 112
Figura 70. Eficiencia de la Bomba de ariete Vs. Caudal de descarga. 112
Figura 71. Vista fotográfica con el presidente del caserío. 123

ÍNDICE DE ECUACIONES

Página.

Ecuación 1. Relación de transferencia de flujo en un sistema ideal según (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013).....26

Ecuación 2. Eficiencia del ariete Hidráulico.....26

Ecuación 3. Caudal de alimentación.....27

Ecuación 4. Diámetro de tubería de alimentación.....28

Ecuación 5. Altura de alimentación (Ha).....29

Ecuación 6. Determinación de la pérdida de carga o energía.....38

Ecuación 7. Cálculo de la altura de descarga.....38

Ecuación 8. Cálculo del caudal de entrega.....39

Ecuación 9. Cálculo del rendimiento volumétrico.....40

Ecuación 10. Cálculo de la potencia del ariete hidráulico.....40

Ecuación 11. Energía cinética.....44

Ecuación 12. Energía potencial.....44

Ecuación 13. Cálculo de la presión.....45

Ecuación 14. Determinación de caudal por el método de aforo volumétrico.....57

Ecuación 15. Altura de alimentación (Ha).....60

Ecuación 16. Ecuación de Hargreaves-Samani.....63

Ecuación 17. Precipitación efectiva según USDA Soil Conservatión.....66

Ecuación 18. Caudal de alimentación.....71

Ecuación 19. Diámetro de tubería de alimentación según Bondschu.....73

Ecuación 20. Ecuación para determinar la pérdida de carga o energía.....85

Ecuación 21. Ecuación para determinar la altura de descarga.....86

Ecuación 22. Caudal de rebose.....98

Ecuación 23. Caudal de rebose 101

Ecuación 24. Caudal de rebose 104

Ecuación 25. Eficiencia para la primera evaluación. 106

Ecuación 26. Eficiencia para la segunda evaluación. 107

Ecuación 27. Eficiencia para la tercera evaluación. 108

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

En las últimas décadas, los efectos asociados al cambio climático han adquirido una mayor intensidad, generando alteraciones significativas en los patrones climáticos a nivel mundial. En la región andina del Perú, estas variaciones se manifiestan mediante la ocurrencia de fenómenos meteorológicos extremos, tales como lluvias intensas, granizadas, heladas, vientos fuertes y prolongados periodos de sequía, los cuales afectan de manera directa el desarrollo de las actividades agropecuarias y la disponibilidad de recursos naturales esenciales para la producción (FAO, 2006).

Dentro de este contexto, uno de los problemas más relevantes se presenta durante la época de estiaje, periodo caracterizado por una notable disminución de la disponibilidad de agua proveniente de las fuentes naturales. Esta situación repercute en la reducción de la producción de pastos cultivados y naturales, limitando la disponibilidad de alimento para el ganado y afectando la sostenibilidad de los sistemas pecuarios rurales. Asimismo, la escasez hídrica influye negativamente en la productividad ganadera, ocasionando disminuciones en los ingresos económicos de las

familias dedicadas a esta actividad y comprometiendo su seguridad alimentaria (Fernández Gómez, 2010; FAO, 2006).

En el distrito de Goyllarisquizga, perteneciente a la provincia Daniel Alcides Carrión de la región Pasco, dicha problemática se presenta con mayor incidencia en las comunidades altoandinas. En particular, el caserío de Canchapunque depende principalmente de la crianza de ovinos y alpacas como principal fuente de sustento económico. Sin embargo, durante los periodos de escasez hídrica, la limitada disponibilidad del recurso agua y el deterioro de los pastizales generan condiciones desfavorables para el adecuado desarrollo del ganado, incrementándose la presencia de enfermedades y los índices de mortalidad animal.

De igual manera, cuando la temporada de estiaje coincide con las fases reproductivas del ganado, especialmente durante el periodo de parición, las condiciones de vulnerabilidad se intensifican significativamente. La insuficiente disponibilidad de alimento afecta el estado nutricional de las hembras, disminuyendo su capacidad de cuidado hacia las crías y provocando, en muchos casos, su abandono. Esta situación incrementa las pérdidas productivas dentro del sistema pecuario. Por ello, resulta necesario implementar alternativas tecnológicas sostenibles que aseguren el acceso permanente al recurso hídrico, contribuyendo de esta manera a fortalecer la estabilidad y continuidad de la actividad ganadera en la zona.

Figura 1. *Crías muertas por abandono y déficit alimentario en el ganado ovino*



Nota. Elaboración propia

Con la finalidad de enfrentar esta problemática, los pobladores han incorporado la siembra de diversas variedades de pastizales destinadas a garantizar la alimentación del ganado durante los periodos de escasez de agua. Sin embargo, para conservar adecuadamente estos cultivos y optimizar su producción, resulta indispensable disponer de sistemas de riego que permitan un uso eficiente del recurso hídrico. En este sentido, la implementación de tecnologías de riego contribuye a mejorar la distribución del agua y a incrementar la eficiencia de aplicación en las actividades agropecuarias (MINAGRI, 2015).

No obstante, los sistemas de bombeo convencionales empleados para el abastecimiento de agua suelen depender de fuentes de energía externas, como la electricidad o los combustibles fósiles. Esta dependencia incrementa los costos de operación y mantenimiento, además de generar impactos ambientales asociados al consumo energético y a la emisión de contaminantes. Frente a ello, los sistemas de bombeo que aprovechan fuentes de energía renovable representan una alternativa sostenible para el aprovechamiento eficiente del recurso hídrico en zonas rurales (Mott, 1996; Acitores F., 2012).

Figura 2. *Área agrícola destinada a la siembra de pasto (ryegrass y trébol) en la zona rural de Canchapunque.*



Nota. Elaboración propia

Figura 3. *Sembrío del pastizal (ryegrass y trébol), en la zona rural del caserío de Canchapunque.*



Nota. Elaboración propia

Figura 4. *Alimentación de ovinos con pastizales cultivadas, en la zona rural del caserío de Canchapunque.*



Nota. Elaboración propia

1.2. Delimitación de la investigación

✓ Delimitación espacial

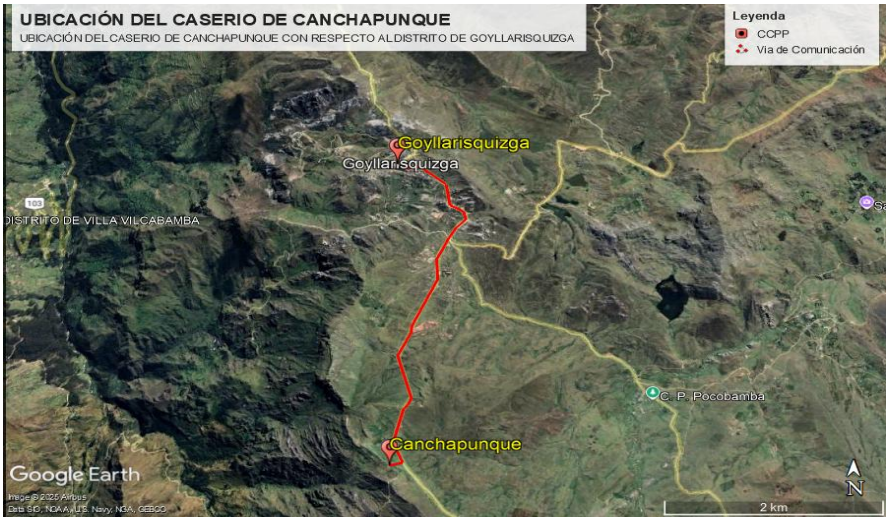
La investigación fue desarrollada en el caserío de Canchapunque, jurisdicción del distrito de Goyllarisquizga, provincia Daniel Alcides Carrión, región Pasco. El estudio se ejecutó en un terreno de propiedad del señor Teodoro Mendoza Fuster, espacio donde se instaló y sometió a evaluación el sistema de bombeo basado en ariete hidráulico bajo condiciones operativas reales.

El área de estudio se encuentra ubicada a una altitud aproximada de 4130 metros sobre el nivel del mar, registrando como referencia las coordenadas UTM 345536 m Este y 8838887 m Norte. Estas condiciones geográficas corresponden a un ecosistema altoandino caracterizado por factores climáticos rigurosos y una disponibilidad variable del recurso hídrico durante determinadas temporadas del año, aspectos que sustentan la relevancia y necesidad de la presente investigación.

Respecto a su ubicación y acceso, el caserío se sitúa aproximadamente a 4 kilómetros al sur de la capital distrital de Goyllarisquizga. La conexión se realiza mediante una carretera afirmada que permite un recorrido cercano a los 10 minutos.

Asimismo, el desplazamiento hacia la zona se efectúa principalmente mediante vehículos menores y motocicletas, lo que favoreció el desarrollo de las labores de instalación, seguimiento y evaluación del sistema de bombeo durante la ejecución del estudio.

Figura 5. *Vista aéreo, del caserío de Canchapunque*



Nota. Elaboración propia. Tomada de Google Earth

Figura 6. *Vista panorámica del caserío de Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga.*



Nota. Elaboración propia

- ✓ **Delimitación Temporal**

Los datos empleados en el desarrollo de la presente investigación corresponden al mes de septiembre del año 2024, debido a que durante este periodo se registra, de manera recurrente, una marcada disminución de las precipitaciones pluviales. Esta situación repercute directamente en el estado y la productividad de los pastizales cultivados y naturales. Asimismo, las fuentes hídricas de la zona presentan caudales reducidos, lo que limita la disponibilidad de agua para las actividades agropecuarias y, en consecuencia, afecta los niveles de productividad ganadera.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es la efectividad del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga - 2024?

1.3.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Cuál es la disponibilidad y la demanda del recurso hídrico para el sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga - 2024?
- ✓ ¿Cuáles son los parámetros de diseño y funcionamiento del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga - 2024?
- ✓ ¿Cómo influye la carrera de la válvula de impulsión en la eficiencia del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga - 2024?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar la efectividad del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga - 2024

1.4.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar la disponibilidad y la demanda del recurso hídrico para el sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga – 2024.
- ✓ Establecer los parámetros de diseño y funcionamiento del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga – 2024.
- ✓ Determinar la influencia de la carrera de la válvula de impulsión en la eficiencia del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga – 2024.

1.5. Justificación de la investigación

En el ámbito rural del caserío de Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga, provincia Daniel Alcides Carrión, región Pasco, se presenta una problemática relacionada con la insuficiente disponibilidad de pasturas para la alimentación de los animales domésticos durante las temporadas de verano o estiaje. Por esta razón, los pobladores han optado por establecer pastizales en sus parcelas con la finalidad de garantizar la provisión de forraje para el ganado y mantener niveles adecuados de productividad pecuaria. No obstante, durante estos periodos de escasez hídrica, resulta necesario aplicar riego y, en muchos casos, recurrir a sistemas de bombeo para asegurar

el abastecimiento de agua. Sin embargo, los sistemas de bombeo convencionales requieren inversiones para su adquisición, además de gastos asociados a su operación y mantenimiento, lo que representa una carga económica para las familias rurales de la zona. En este contexto, se plantea determinar la efectividad del sistema de bombeo que utiliza un ariete hidráulico, el cual aprovecha la energía mecánica renovable producida por el fenómeno del golpe de ariete para impulsar el agua hacia un tanque de almacenamiento, desde donde posteriormente puede ser distribuida mediante un sistema de riego por gravedad destinado al abastecimiento de los pastizales.

1.6. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones que se presentan en la investigación son las siguientes:

- ✓ La implementación de un sistema de riego tecnificado no forma parte del alcance del estudio, por lo que la evaluación se centra únicamente en el desempeño del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico y su capacidad para abastecer agua, mas no en la eficiencia de aplicación del riego en campo.
- ✓ Los costos elevados asociados a la ejecución de obras civiles, tales como la captación, la conducción del agua desde la fuente, la construcción de la cámara de bombeo y la instalación de un tanque elevado de almacenamiento, representan una restricción para la implementación integral del sistema, lo cual puede limitar la replicabilidad inmediata de la propuesta en contextos similares.

Figura 7. *Pastizales cultivados por los pobladores del caserío de Canchapunque.*



Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

✓ Antecedentes a nivel internacional

(Ávila, G. y Rojas, A., 2020), en su investigación titulada "Implementación de una tecnología de ariete hidráulico para el manejo eficiente del agua en la finca La Libertad - municipio de Zipacón, Cundinamarca", señalan que el proyecto desarrollado en la Finca La Libertad estuvo orientado a promover la sostenibilidad mediante la disminución del consumo de energía eléctrica y su integración con prácticas agrícolas basadas en la permacultura. El propósito principal consistió en optimizar la gestión del recurso hídrico, conduciendo el agua hacia un domo geodésico destinado al riego de plántulas en invernadero. La metodología aplicada comprendió el diseño hidráulico del sistema, la selección de materiales requeridos y la evaluación de su desempeño operativo. El ariete hidráulico diseñado presentó un caudal de 1,85 L/s, utilizando 30 m de tubería de alimentación y 65 m de manguera de descarga. Si bien se identificaron pérdidas de carga ocasionadas por la fricción y los accesorios de conexión, estas fueron compensadas por la acción de

la gravedad. Asimismo, el equipo funcionó como una bomba impulsada por energía gravitacional, alcanzando una eficiencia teórica del 65 %, lo que permitió la recirculación del agua dentro de la finca. Finalmente, los autores concluyen que el sistema contribuye al ahorro y uso eficiente del agua, fortaleciendo la sostenibilidad de las tecnologías implementadas y consolidando a la finca como un espacio experimental de permacultura.

(Campaña, C. y Guamán, D., 2011), en su investigación denominada "Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico", establecen que el objetivo del estudio fue abastecer de agua una propiedad ubicada en Calacalí mediante la implementación de una bomba de ariete hidráulico. Los autores describen que este dispositivo, también conocido como bomba de golpe de ariete, ram o hydram, está constituido por un conjunto de válvulas dispuestas estratégicamente para aprovechar la energía de una determinada cantidad de agua y elevar una fracción de esta hasta una cota superior, utilizando el fenómeno hidráulico conocido como golpe de ariete. Como resultado del proyecto, se diseñó y construyó un equipo autónomo y ecológico, capaz de suministrar un caudal de 8 L/s y operar con una altura de impulsión de 120 m.

- ✓ **Antecedentes a nivel nacional**

(Arapa, J., 2015), en su investigación titulada *"Evaluación del rendimiento del ariete hidráulico BAH 1.1/2 variando la longitud de la tubería de alimentación y condiciones de operación de la válvula de impulso"*, indica que el ariete hidráulico es un dispositivo que aprovecha la energía producida por una caída de agua para impulsar de forma continua y automática una fracción del caudal hacia una elevación superior, sin requerir energía externa para su funcionamiento. El estudio tuvo como objetivo analizar el rendimiento del modelo BAH 1.1/2 mediante el

empleo de tuberías de PVC de 1.1/2” de diámetro con longitudes de alimentación de 1,0; 2,0 y 3,0 m, considerando además distintas condiciones de operación de la válvula de impulso. La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Hidráulica y Mecánica de Fluidos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, utilizando un banco de ensayos de 5,18 m de longitud, 1,14 m de ancho y 0,80 m de altura, abastecido por una electrobomba de 0,85 HP. El equipo experimental fue construido con accesorios de fierro galvanizado, acero inoxidable y bronce, sometiéndose posteriormente a diversas pruebas de funcionamiento. Los resultados obtenidos demostraron que el ariete hidráulico operó eficientemente en todas las configuraciones evaluadas, registrándose el mejor desempeño con una tubería de alimentación de 3 m y una carrera de válvula de 9 mm. Asimismo, se alcanzaron alturas de impulsión de 10, 20, 25 y 30 m, obteniéndose eficiencias de 64,16 %, 60,34 % y 59,11 %, además de caudales de 1,26; 0,99 y 0,80 L/min, equivalentes a volúmenes diarios de 1814, 1425 y 1152 litros, respectivamente.

(Piña, A., 2021), en su investigación denominada *“Evaluación de un sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua, sector Punta de Doñe - Moyobamba”*, señala que el propósito principal del estudio fue diseñar, construir y evaluar un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico destinado al suministro de agua para uso familiar en dicho sector. La investigación surgió debido a la necesidad de contar con una alternativa de abastecimiento de agua que fuese saludable y ambientalmente sostenible. *En* ese contexto, se desarrollaron dos prototipos de ariete hidráulico con capacidad para transportar agua desde fuentes naturales hasta una altura de 35 m y una distancia aproximada de 100 m. Los resultados evidenciaron el cumplimiento de los objetivos planteados, demostrando la factibilidad técnica del sistema para proporcionar agua de manera accesible y

respetuosa con el medio ambiente. Además, la implementación del sistema permitió incrementar la disponibilidad de agua para actividades domésticas y productivas vinculadas al sector agropecuario.

- ✓ **Antecedentes a nivel local**

(Torres, P., 2021), en su investigación titulada *"Efectividad del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, en la impulsión de agua para riego, en el caserío de Callhuán, distrito de Santa Ana de Tusi, provincia Daniel Alcides Carrión y región Pasco, 2021"*, manifiesta que el estudio tuvo como finalidad determinar la efectividad de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico para impulsar un caudal de 0,177 L/s destinado al riego de cultivos de Rye Grass en una extensión de 0,217 hectáreas. Para alcanzar dicho propósito, se aplicó una metodología experimental de nivel aplicativo. Los resultados obtenidos mostraron que el sistema diseñado alcanzó una eficiencia de 49,234 %, logrando cubrir una demanda de hasta 0,182 L/s. Asimismo, el agua fue elevada a una altura de 17,10 m mediante una tubería de descarga de 90 m de longitud y 32 mm de diámetro. Este comportamiento hidráulico fue posible gracias al aprovechamiento de la energía generada por el fenómeno del golpe de ariete, utilizando un caudal de alimentación de 1,109 L/s conducido a través de una tubería de 50,30 m de longitud y 63 mm de diámetro. Finalmente, la inversión total para la implementación del sistema ascendió a S/. 1 311,20, valor que resultó S/. 31,20 superior al costo de una motobomba a combustible; sin embargo, dicha diferencia económica puede recuperarse en un período menor a un año debido al ahorro generado por la eliminación de gastos de operación y mantenimiento asociados al uso de combustible.

2.2. Bases teóricas – científicas

A. Riego

El riego consiste en el suministro artificial de agua a los cultivos o a la vegetación con la finalidad de satisfacer sus requerimientos hídricos, especialmente durante períodos de déficit de precipitación, contribuyendo además al aprovechamiento productivo de terrenos con limitada disponibilidad natural de agua (Fernández Gómez, 2010). Las plantas absorben agua principalmente durante sus etapas de crecimiento y desarrollo activo, por lo que un adecuado manejo del riego resulta fundamental para garantizar su productividad (Demin, 2014).

- ✓ **Riego en Superficie**

Este sistema de riego se fundamenta en la conducción y distribución del agua utilizando la superficie del terreno, aprovechando la acción de la gravedad mediante surcos, melgas o superficies niveladas para su desplazamiento (Fernández Gómez, 2010). Entre los principales métodos de riego superficial se encuentran los siguientes:

- ✓ **Riego mediante tendido**

Se basa en la aplicación de agua desde la parte superior del terreno, permitiendo que esta se distribuya e inunde la superficie cultivada. Sin embargo, presenta limitaciones asociadas a pérdidas por infiltración profunda y distribución irregular del agua dentro de la parcela (Fernández Gómez, 2010).

✓ **Riego a través de surcos**

Consiste en conducir el agua por gravedad a través de canales o surcos construidos entre las hileras de cultivo, siendo especialmente utilizado en cultivos sembrados en líneas, como papa, maíz, hortalizas y otros cultivos similares (Demin, 2014).

Figura 8. *Sistema de siembra en hileras y surcos para fines de riego*



Nota. Elaboración propia.

✓ **Riego por melgas**

Este método se caracteriza por distribuir el agua desde la parte más elevada del terreno hacia franjas delimitadas mediante bordos, favoreciendo una distribución más uniforme dentro de cada unidad de riego (Fernández Gómez, 2010).

Figura 9. *Sistema de riego por melgas*



Nota: Adaptado de Fernández Gómez, R. (2010).

- ✓ **Riego Presurizado**

El riego presurizado se caracteriza por transportar el agua a través de tuberías sometidas a presión, permitiendo una aplicación más eficiente y uniforme del recurso hídrico en comparación con los sistemas superficiales (MINAGRI, 2015).

- ✓ **Riego por goteo**

Consiste en la aplicación localizada y frecuente de pequeñas cantidades de agua directamente en la zona radicular de las plantas, minimizando las pérdidas por evaporación, escorrentía y percolación profunda (MINAGRI, 2015).

Figura 10. *Sistema de riego por goteo*



Nota. Elaboración propia.

- ✓ **Riego mediante aspersión**

Esta técnica distribuye el agua en forma de lluvia artificial mediante aspersores instalados en una red hidráulica presurizada, permitiendo una cobertura relativamente uniforme sobre la superficie cultivada (Fernández Gómez, 2010).

Figura 11. *Sistema de riego por aspersión*



Nota. Elaboración propia.

- ✓ **Eficiencia de tipos de sistemas de riego**

La eficiencia de un sistema de riego se determina mediante la relación entre el volumen de agua efectivamente aprovechado por el cultivo y el volumen total suministrado al sistema, constituyéndose en un indicador fundamental para evaluar el uso eficiente del recurso hídrico (MINAGRI, 2015). Los diferentes métodos de riego presentan niveles de eficiencia variables, dependiendo de sus características de diseño, operación y manejo.

Figura 12. *Eficiencia de tipos de riego.*

Ef.Riego (gravedad) = 0.40
Ef.Riego (aspersión) = 0.70
Ef.Riego (goteo) = 0.90

Nota. Tomada de (MINAGRI, 2015)

B. Golpe de ariete

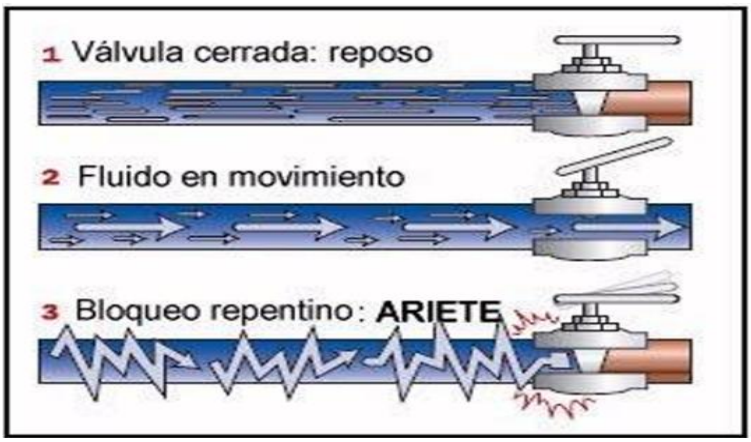
El golpe de ariete constituye un fenómeno hidráulico que se produce cuando la velocidad de un fluido experimenta una variación repentina dentro de una conducción, generando un incremento transitorio de presión que actúa sobre las paredes internas de la tubería. Esta situación suele presentarse en sistemas de

transporte de agua hacia cotas superiores, especialmente cuando el flujo es interrumpido o modificado de manera abrupta debido a la operación de dispositivos de control, como las válvulas (Mataix, C., 1986).

Cuando una válvula se cierra rápidamente mientras el agua está fluyendo, se genera una onda de alta presión que va en dirección opuesta al flujo, ya que el caudal por la válvula disminuye y, como consecuencia, los esfuerzos aumentan en la sección aguas arriba. Esta onda puede generar sobrepresiones y vacíos parciales, provocando deformaciones en la tubería e incluso su posible ruptura (Mott, 1996)..

Desde el enfoque de la dinámica energética, el golpe de ariete implica un intercambio permanente entre la energía de movimiento del fluido y la energía elástica acumulada en los elementos que conforman el sistema hidráulico. Bajo condiciones teóricas ideales, en las que no existieran pérdidas ocasionadas por la fricción ni deformaciones estructurales en las tuberías, dicha transferencia energética podría prolongarse indefinidamente. Sin embargo, en situaciones reales de operación, la resistencia al flujo y la capacidad de deformación de los materiales generan una disipación progresiva de energía, lo que conduce a la disminución gradual de las fluctuaciones de presión hasta que estas desaparecen por completo (Acitores F., 2012).

Figura 13. *Sobrepresión generada por el golpe de ariete*

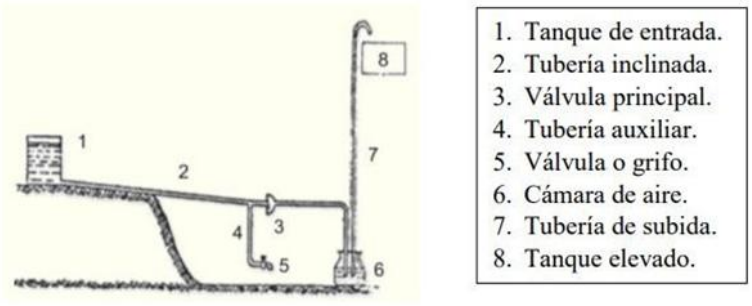


Nota. Fuente: (Gómez C. P. 2012)

C. Historia de la bomba de ariete hidráulico

El surgimiento del ariete hidráulico se remonta al siglo XVIII, etapa en la que se realizaron los primeros intentos por aprovechar la energía generada por el golpe de ariete para la elevación de agua. En este contexto, el inventor inglés John Whitehurst desarrolló en 1775 un dispositivo pionero que permitía impulsar agua hacia un depósito ubicado aproximadamente a 4,9 m por encima del punto de captación. El funcionamiento del sistema dependía de la operación manual de una válvula instalada en la tubería, cuya manipulación provocaba cambios bruscos de presión que posibilitaban el ascenso del líquido. Aunque este mecanismo representó un importante avance tecnológico para su época, su implementación fue limitada debido a los elevados niveles de ruido y a las intensas vibraciones generadas durante su funcionamiento (Gutiérrez & Mancebo, 2013).

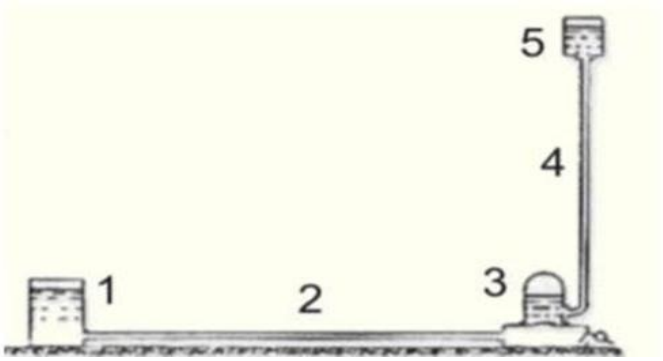
Figura 14. *Diagrama del sistema de bombeo según John Whitehurst*



Nota. Fuente: Gutiérrez y Mancebo (2013).

Posteriormente, en 1776, el inventor francés Joseph Montgolfier perfeccionó el diseño inicial mediante la creación de un ariete hidráulico automático denominado belier hydraulique. A diferencia del modelo desarrollado por Whitehurst, este dispositivo no requería intervención manual para su operación, pues empleaba la energía cinética del flujo del agua para activar automáticamente la válvula de impulsión. Gracias a esta innovación, el sistema logró una mayor eficiencia operativa y autonomía de funcionamiento, estableciendo las bases para el desarrollo y la evolución de los arietes hidráulicos modernos (Chero, 2018).

Figura 15. *Diagrama del sistema de bombeo según Joseph Montgolfier*



Nota. Fuente: Gutiérrez y Mancebo (2013).

En 1816, el modelo de ariete hidráulico desarrollado por Joseph Montgolfier fue perfeccionado por su hijo Pierre François Montgolfier, quien diseñó una válvula destinada a incorporar aire a la cámara de compresión. Esta mejora permitió

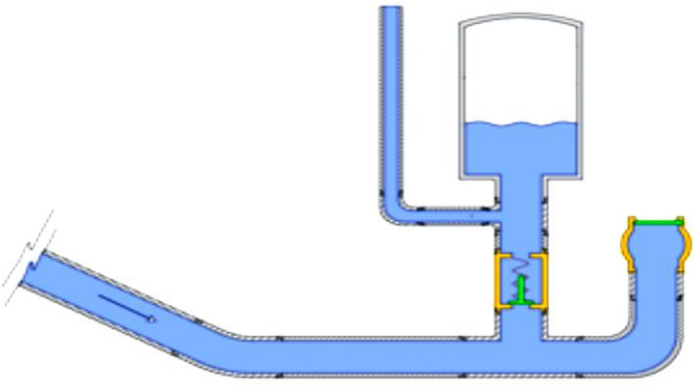
optimizar el desempeño de la bomba de ariete, logrando elevar agua hasta una altura aproximada de 48 m (Acitores F., 2012).

Durante las décadas de 1950 y 1960, la difusión y utilización de este equipo disminuyeron considerablemente debido a la creciente disponibilidad y uso de tecnologías impulsadas por derivados del petróleo, las cuales fueron reemplazando gradualmente a los sistemas hidráulicos tradicionales (Elioiqui, 2017)..

D. Descripción del Mecanismo de la Bomba de Ariete Hidráulico

Para comprender el mecanismo de una bomba de ariete hidráulico, es conveniente enfocarse primero en el ciclo que se repite de forma continua: antes de que el agua sea expulsada a través de la válvula de retención (check) ubicada en la cámara de válvulas, el fluido escurre desde el depósito por la tubería de alimentación cuando dicha válvula se encuentra abierta. La fuerza de arrastre que el líquido ejerce sobre la clapeta de la válvula de retención aumenta conforme se incrementa la velocidad del flujo, hasta llegar a un punto crítico en el cual la clapeta se ve obligada a cerrarse (Acitores F., 2012).

Figura 16. *La fuerza de arrastre del agua ocasiona el cierre brusco de la válvula de choque.*

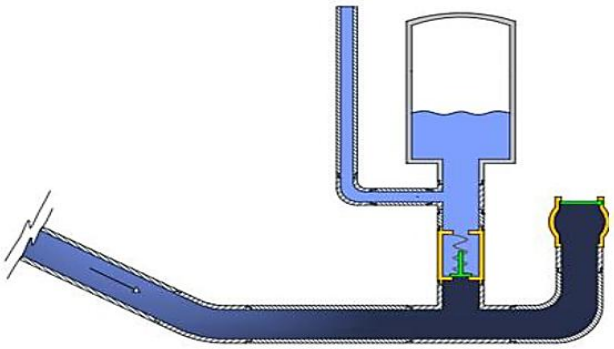


Nota. Fuente: (Acitores F., 2012).

Cuando la válvula de retención se cierra de forma súbita, el agua que circula por la tubería de alimentación aún conserva una elevada energía cinética. Esta

energía se disipa transformándose en un incremento brusco de presión dentro de la cámara de válvulas (Mataix, C., 1986).

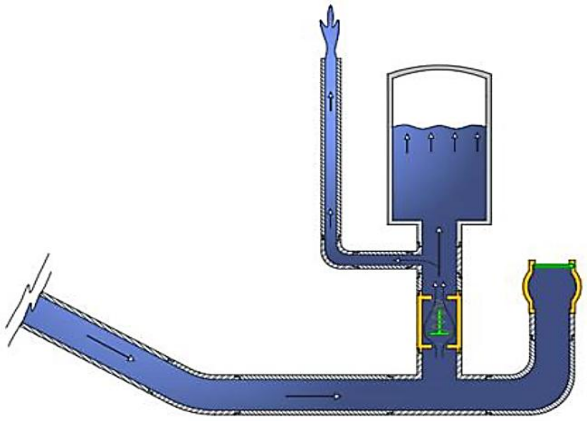
Figura 17. *Se genera un "golpe de ariete", provocando un incremento considerable en la presión del fluido.*



Nota. Fuente: (Acitores F., 2012).

Debido a que en la cámara de válvulas se generan presiones elevadas, se permite la apertura de la válvula de retención vertical, facilitando el paso del fluido desde la cámara de válvulas hacia la cámara de aire a través del conducto elevador (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013).

Figura 18. *La válvula de retención se abre, lo que posibilita el ingreso del agua hacia la cámara de aire y la tubería de impulsión.*

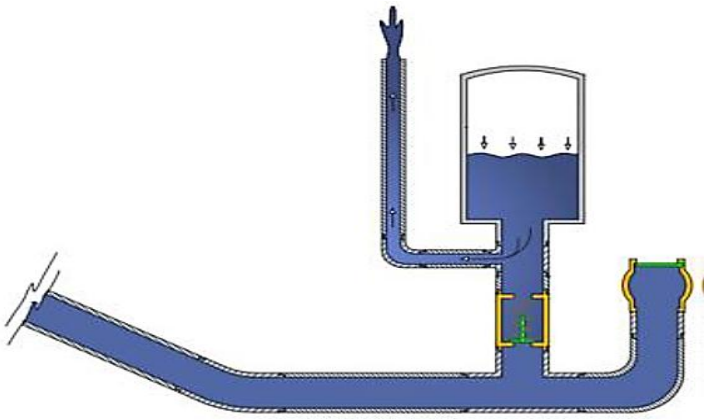


Nota. Fuente: (Acitores F., 2012).

Cuando la válvula de retención se cierra, el flujo se detiene y la presión acumulada en el aire contenido dentro de la cámara se transfiere al líquido,

provocando que este ascienda por la tubería de impulsión o de presión (Campaña, C. & Guamán, D., 2011)

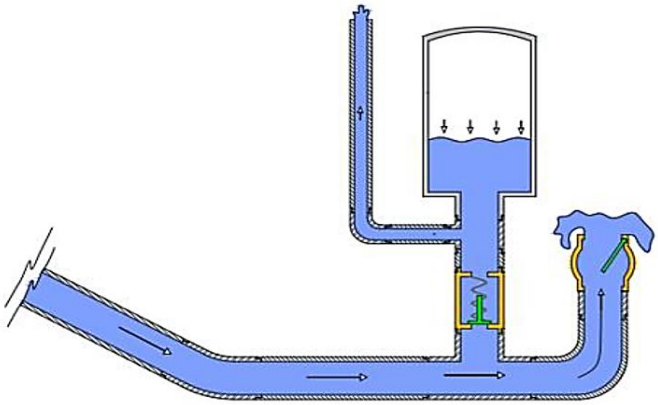
Figura 19. *Cierre de la válvula de retención, liberándose el agua por medio de la tubería de impulsión.*



Nota. Fuente: (Acitores F., 2012).

El flujo de agua se restablece tras un breve intervalo cuando la clapeta de la válvula de retención se abre por efecto de su propio peso, mientras la presión en la cámara de válvulas continúa disminuyendo (Watt, S. B., 1975).

Figura 20. *Apertura de la válvula de choque, dando inicio nuevamente al ciclo.*



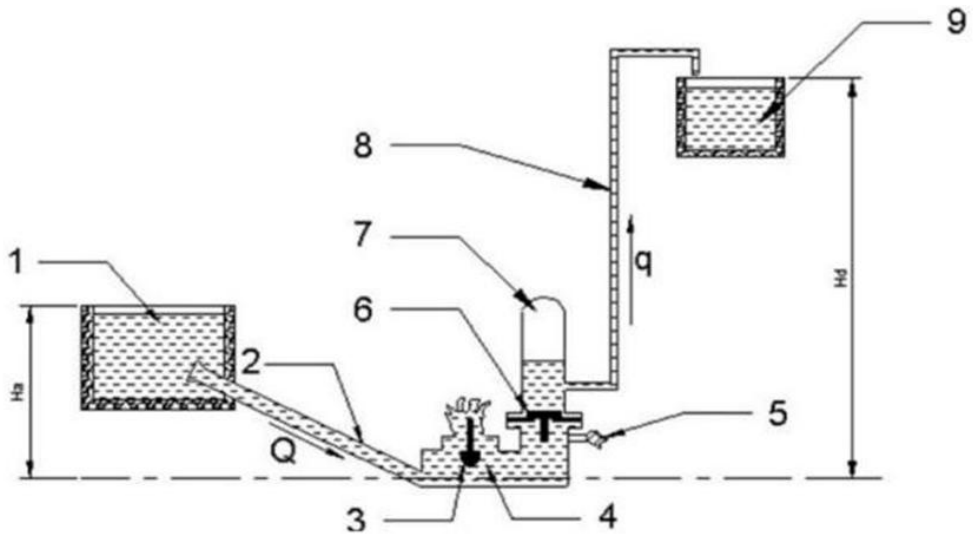
Nota. Fuente: (Acitores F., 2012).

En consecuencia, el ciclo se repite continuamente hasta que se cierra de manera intencional una válvula de control, instante en el cual el sistema retorna a su estado inicial (Elioiqui, 2017).

E. Configuración del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico

A continuación, se presenta la estructura general de un sistema de bombeo basado en ariete hidráulico. Del mismo modo, se describen las funciones y características de cada uno de los componentes que conforman este mecanismo hidráulico, cuya interacción permite el aprovechamiento de la energía del agua para su impulsión hacia niveles superiores (Elioiqui, 2017).

Figura 21. *Configuración de sistema de bombeo tipo Ariete Hidráulico.*



Nota. Fuente: Elioiqui (2017).

- ✓ **Fuente de Alimentación (1)**

Las fuentes de suministro pueden ser: manantiales, reservorios, lagunas, canales, ríos, entre otros. Esta fuente debe situarse a una altura (Ha) superior al nivel de la bomba de ariete, de modo que, a través de la tubería de alimentación (2), se garantice el ingreso de agua (caudal de entrada) por acción de la gravedad, de manera continua, con velocidad uniforme y sin interrupciones (Elioiqui, 2017).

- ✓ **Caudal de alimentación (Q).**

Es el volumen de agua que ingresa a la bomba de ariete desde la fuente de suministro.

(Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013) señalan que, en un sistema hidráulico ideal, ocurrirá una adecuada transferencia del flujo cumpliéndose lo siguiente:

$$\mathbf{q} * \mathbf{Hd} = \mathbf{Q} * \mathbf{Ha}$$

Ecuación 1. *Relación de transferencia de flujo en un sistema ideal según (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013).*

Donde:

q : Caudal de descarga (m3/s).

Hd : Altura de descarga (m).

Q : Caudal de alimentación (m3/s).

Ha : Altura de alimentación (m).

No obstante, en un sistema real siempre existen pérdidas debido a la fricción en las superficies de los componentes que integran la red de tuberías encargada de transportar el fluido.

El ariete hidráulico no suministra la totalidad del caudal de alimentación. Su rendimiento depende de la altura de alimentación (Ha) y también de la altura de descarga (Hd); de igual forma, se puede considerar una eficiencia del 50% para la bomba de ariete cuando esta es desconocida (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013).

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

Ecuación 2. *Eficiencia del ariete Hidráulico*

Dónde:

η : Eficiencia del ariete hidráulico.

Despejando en la ecuación 2 el caudal de alimentación se obtiene:

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

Ecuación 3. *Caudal de alimentación.*

- ✓ **Tubería de alimentación (2).**

Corresponde al conducto que enlaza la fuente de abastecimiento de agua con la bomba de ariete. En este tramo se originan las ondas asociadas al fenómeno del golpe de ariete, por lo que es indispensable que esté fabricado con materiales de alta resistencia y que presente dimensiones (longitud, diámetro e inclinación) adecuadas para su correcto desempeño (Acitores F., 2012).

a) Longitud

De acuerdo con (Campaña, C. & Guamán, D., 2011), la tubería de alimentación debe cumplir con ciertas condiciones básicas:

- La superficie interna del conducto debe ser lisa, con la finalidad de minimizar las pérdidas de carga generadas por fricción.
- La longitud no debe ser insuficiente, ya que esto ocasionaría el cierre prematuro de la válvula de impulsión (3), impidiendo la generación de una presión adecuada. Por otro lado, una longitud excesiva incrementa las pérdidas por fricción, afectando negativamente la capacidad y eficiencia del sistema.

b) Diámetro

Según (Bonilla, J. & Hidrobo, F., 2011), puede hacerse la estimación del diámetro de la tubería de alimentación a través de la ecuación propuesta por Bondschú:

$$D = 1.27 * \frac{Q^{0.4268}}{(H_D + h_s)^{0.1423}}$$

Ecuación 4. *Diámetro de tubería de alimentación.*

Dónde:

D : Diámetro de la tubería de alimentación (m)

Q : Caudal de impulsión (m3/s).

HD : Altura de descarga (m)

Hs : Altura de sobrepresión producida por el golpe de ariete (m), considerada como 0.3HD

Adicionalmente, el diámetro de la tubería y la longitud están relacionados de manera significativa. Según (Campaña, C. & Guamán, D., 2011), los valores de longitud deben establecerse en función del diámetro conforme a los rangos indicados en la tabla correspondiente.

Tabla 1. *Rangos de longitud de la tubería de alimentación en relación de su diámetro.*

Diámetro de tubería de alimentación (mm)	Longitud (m)	
	Long. Mínimo	Long. Máximo
13	2	13
20	3	20
25	4	25
30	4.5	30
40	6	40
50	7.5	50

Nota. Adaptado de (Campaña, C. & Guamán, D., 2011)

La adecuada proporción entre la longitud y el diámetro resulta fundamental para garantizar un funcionamiento eficiente del sistema. En este sentido, (Watt, S. B., 1975) recomienda que la relación Longitud/Diámetro (L/D) se encuentre dentro del intervalo $150 \leq L/D \leq 1000$, o que sea equivalente a cuatro veces la altura de alimentación, adoptando siempre el menor valor.

- ✓ **Altura de alimentación (Ha).**

La altura de alimentación (Ha) corresponde a la diferencia de nivel existente entre la fuente de suministro y la bomba de ariete. Este desnivel tiene como finalidad permitir que el agua, al desplazarse a través de la tubería de alimentación, incremente su velocidad hasta alcanzar la bomba, facilitando así su funcionamiento (Acitores F., 2012).

De acuerdo con (Watt, S. B., 1975), este parámetro debe situarse dentro de un rango comprendido entre 1 y 12 metros. Su determinación puede realizarse mediante la siguiente expresión:

$$\text{Ha} = \frac{1}{3} * \text{Hd}$$

Ecuación 5. *Altura de alimentación (Ha)*

Donde:

Ha : Altura de alimentación (m)

Hd : Altura de descarga (m)

- ✓ **Válvula de impulso (3).**

La válvula de impulso constituye uno de los elementos fundamentales dentro del sistema de bombeo por ariete hidráulico, debido a que desempeña un papel determinante en la generación del golpe de ariete. Este fenómeno se produce como consecuencia del cierre repentino de la válvula, originado por el aumento de la velocidad de circulación del agua. Asimismo, representa el principal componente móvil del equipo y contribuye al control del volumen de agua que accede a la cámara de aire, mediante la regulación de la frecuencia de golpes generados por minuto (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013).

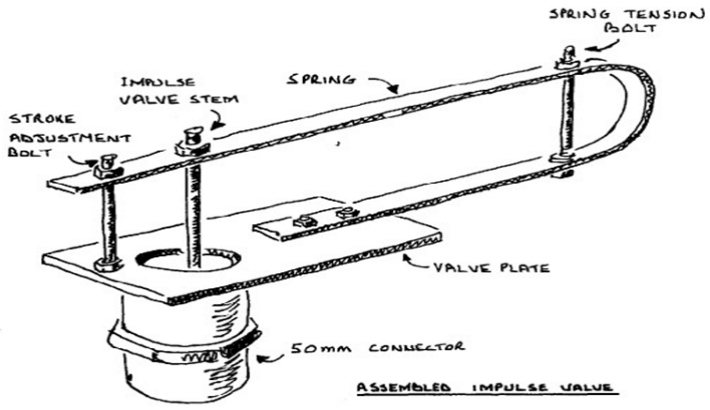
Por otra parte, para garantizar un desempeño eficiente y prolongar su vida útil, esta válvula debe poseer una adecuada resistencia frente a los efectos del

golpe de ariete, al flujo permanente del agua y a los esfuerzos derivados de la fatiga mecánica. De igual manera, su diseño debe evitar la presencia de restricciones que ocasionen estrangulamientos hidráulicos o pérdidas considerables de presión dentro del sistema (Campaña, C. & Guamán, D., 2011). Entre las principales clasificaciones de válvulas de impulso utilizadas en los sistemas de ariete hidráulico se encuentran las siguientes:

a) Válvula con resorte de pletina

De fabricación artesanal, económica y sencilla, utilizando materiales accesibles como tubos, planchas y pernos (Watt, S. B., 1975).

Figura 22. *Válvula con resorte de pletina*

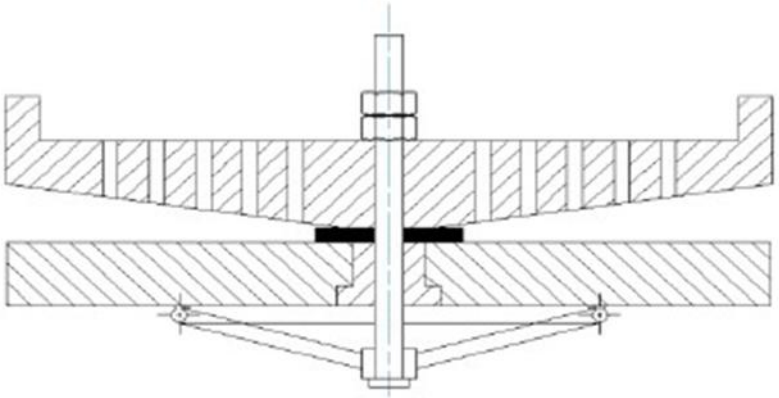


Nota. Adaptada de (Watt, S. B., 1975)

b) Válvula con plato perforado

De diseño más complejo, requiere materiales resistentes al desgaste y presenta menor durabilidad, además de mayor dificultad constructiva (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013)

Figura 23. *Válvula con plato perforado.*

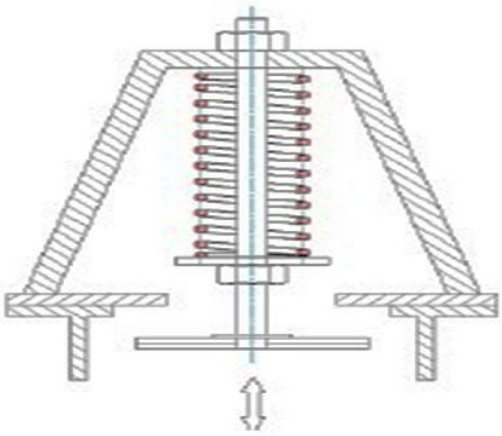


Nota. Adaptada de (Campaña, C. & Guamán, D., 2011)

c) Válvula regulada con resorte

Diseñada mediante cálculos precisos, permite controlar la carrera de la válvula y puede instalarse en posición vertical u horizontal (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013).

Figura 24. *Válvula con resorte.*

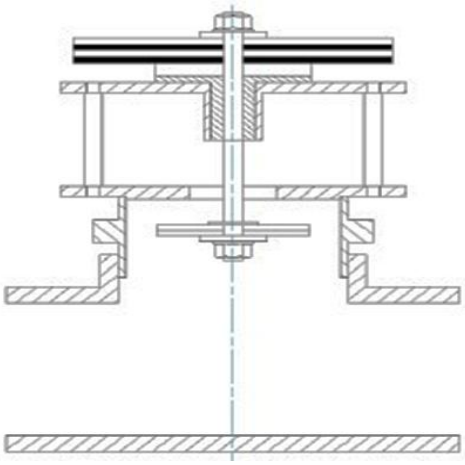


Nota. Fuente: (Campaña, C. & Guamán, D., 2011)

d) Válvula con pesas superiores

De estructura robusta, permite ajustar la velocidad de cierre mediante la variación de pesas, aunque requiere instalación vertical (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013).

Figura 25. *Válvula con pesas superiores.*

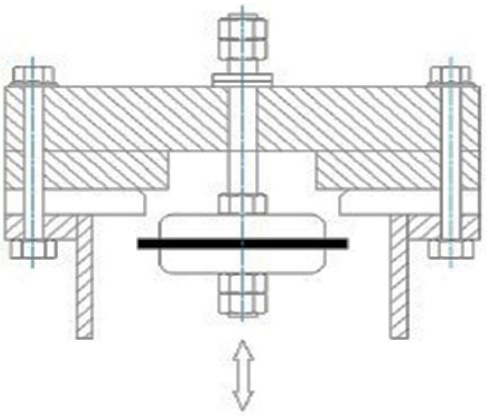


Nota. Fuente: (Campaña, C. & Guamán, D., 2011)

e) Válvula con pesas inferiores

Similar a la anterior, con pesas ubicadas en la parte inferior, manteniendo un diseño sólido y funcionamiento en posición vertical (Campaña, C. & Guamán, D., 2011)

Figura 26. *Válvula con pesas inferiores.*



Nota. Fuente: (Campaña, C. & Guamán, D., 2011)

- ✓ **Caja de Válvula (4).**

La caja de válvula forma parte de la estructura de la bomba de ariete hidráulico. La válvula de aire, la de descarga y la de impulso son los componentes principales del sistema que se sitúan en su interior (Acitores F., 2012).

- ✓ **Válvula de aire (5).**

La válvula de aire es un componente opcional del sistema. Consiste en una abertura situada en la válvula de descarga que permite el ingreso de aire para compensar el que es arrastrado por el agua hacia el tanque, asegurando el adecuado funcionamiento de la cámara de aire (Watt, S. B., 1975).

- ✓ **Válvula de descarga (6).**

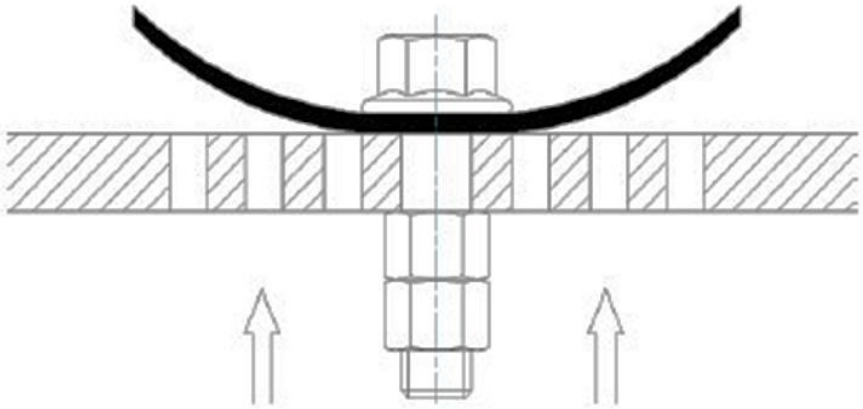
La válvula de descarga, también denominada válvula de entrega, es un dispositivo tipo check que permite el paso del agua desde la caja de válvulas hacia la cámara o tanque de aire e impide su retorno. Su funcionamiento favorece la acumulación y posterior impulsión del agua mediante la acción del aire comprimido, mejorando la eficiencia del sistema. Asimismo, debe garantizar una adecuada hermeticidad para reducir las pérdidas de energía (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013).

Entre las principales clases de válvulas de descarga se encuentran:

a) Válvula tipo solapa

Está conformada por una lámina de caucho fijada sobre una placa perforada. Se caracteriza por su rápida respuesta operativa, mientras que el caudal que permite circular depende de la resistencia del material utilizado (Campaña, C. & Guamán, D., 2011)

Figura 27. *Válvula de solapa*



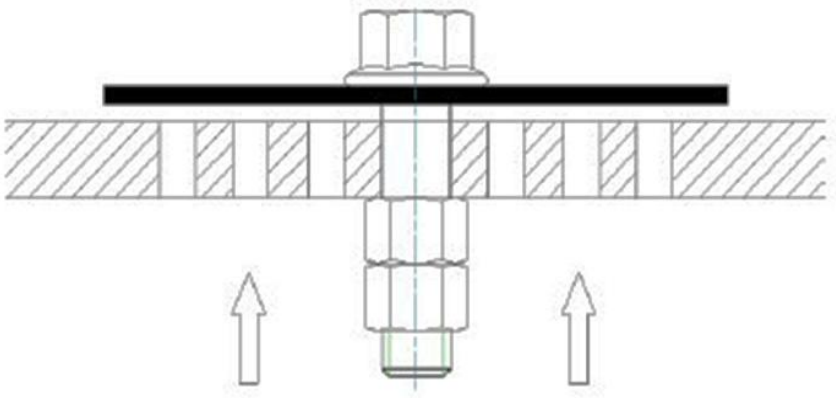
Nota. Fuente: (Torres, P., 2021).

b) Válvula tipo cabezal

Emplea un obturador rígido guiado por un eje, lo que permite mayores áreas de paso. Sin embargo, presenta desgaste acelerado y requiere recorridos cortos para evitar el reflujo del agua (Acitores F., 2012).

Se recomienda que la carrera de la válvula sea reducida (menor a 5 mm) con el fin de minimizar el retorno del fluido.

Figura 28. *Válvula tipo cabezal*

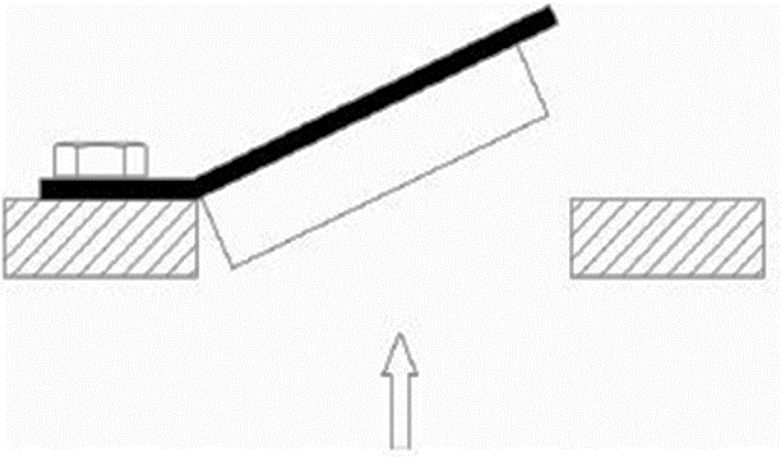


Nota. Fuente: (Torres, P., 2021).

c) Válvula de bisagra

Facilita el paso del flujo con menor resistencia hidráulica; no obstante, su cierre lento puede favorecer el retroceso del agua (Elioiqui, 2017).

Figura 29. *Válvula de bisagra*

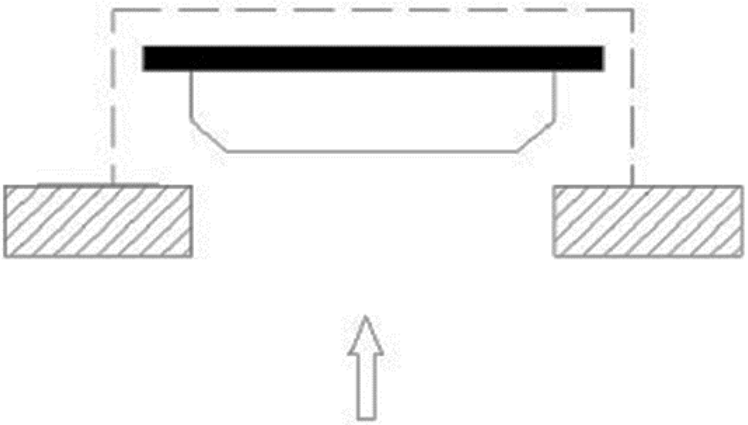


Nota. Fuente: (Torres, P., 2021).

d) Válvula de disco suelto

Presenta características similares a la válvula tipo cabezal e incorpora una jaula guía, lo que incrementa la complejidad de su fabricación (Campaña, C. & Guamán, D., 2011).

Figura 30. *Válvula de disco suelto*

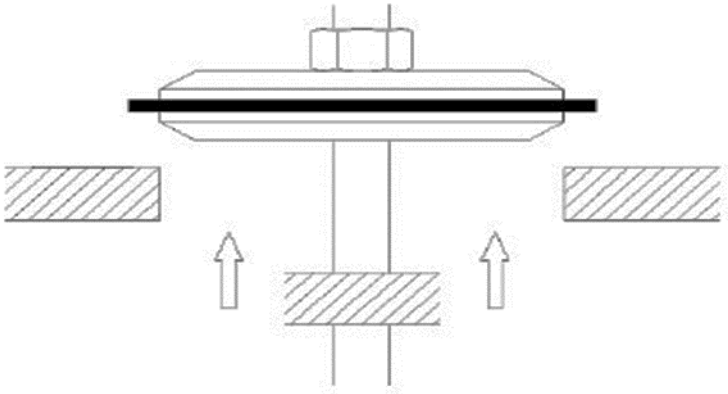


Nota. Fuente: (Torres, P., 2021).

e) Válvula de tapón

Funciona como una válvula invertida con una amplia área de paso; sin embargo, durante el cierre puede presentarse reflujo del fluido (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013).

Figura 31. *Válvula de tapón*



Nota. Fuente: (Torres, P., 2021).

- ✓ **Tanque de aire (7)**

El tanque de aire está situado sobre la válvula de descarga y cumple una función esencial en el sistema de ariete hidráulico. El aire comprimido contenido en su interior impulsa el agua a través de la tubería de descarga. Además, actúa como amortiguador de las variaciones de presión generadas durante la operación del sistema, comportándose de manera similar a un resorte (Acitores F., 2012).

El volumen de la cámara de aire debe dimensionarse en un rango comprendido entre 20 y 50 veces el diámetro de la tubería de impulsión. Asimismo, se ha comprobado que el sistema alcanza un desempeño adecuado cuando el agua en la parte interna de la cámara se mantiene por encima del punto de salida de la tubería de entrega. En cuanto a sus dimensiones, se

recomienda considerar los criterios indicados en la tabla siguiente (Galarza, R., 2013).

Tabla 2*. Parámetros de la cámara de aire*

Parámetro	Valor
Diámetro de cámara de aire	3 Diámetro de la tubería de impulsión
Altura de cámara de aire	10 Diámetro de la tubería de impulsión

Nota. Fuente: (Galarza, R., 2013).

- ✓ **Tubería de descarga (8)**

Corresponde al conducto que enlaza la bomba de ariete hidráulico con el tanque de almacenamiento, el cual no requiere necesariamente estar fabricado con materiales rígidos. A través de esta tubería, el aire comprimido contenido en el tanque impulsa el agua acumulada, permitiendo suministrar un caudal relativamente constante hacia el tanque de almacenamiento (Acitores F., 2012).

a) Diámetro

La tubería de alimentación debe tener un diámetro aproximadamente dos veces mayor que el diámetro de la tubería de descarga (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013).

b) Longitud

Un incremento en la longitud de la tubería de descarga genera mayores pérdidas de energía; por ello, su extensión debe adecuarse a la altura a la que se pretende elevar el agua y minimizar la cantidad de accesorios, como uniones, para reducir dichas pérdidas (Peralta, H., 2015).

- ✓ **Altura de descarga (Hd).**

La altura de descarga representa la elevación total que el sistema debe vencer para transportar el agua desde la bomba hasta el punto de aprovechamiento. Habitualmente, este parámetro se asocia con la altura neta de descarga; sin embargo, para aproximarse a las condiciones reales de funcionamiento es necesario considerar las pérdidas de energía que se producen durante el recorrido del fluido por la tubería de descarga (Peralta, H., 2015).

La pérdida de carga puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$\mathrm{Hf} = 0.1 * \mathrm{L}$$

Ecuación 6. *Determinación de la pérdida de carga o energía.*

Dónde:

Hf : Pérdida de carga o energía (m)

L : Longitud de la tubería de descarga (m)

Por consiguiente, la altura total de descarga se determina mediante la suma de la altura neta de descarga y las pérdidas de energía generadas en la conducción, tal como se muestra a continuación:

$$\mathrm{Hd} = \mathrm{Hn} + \mathrm{Hf}$$

Ecuación 7. *Cálculo de la altura de descarga.*

Dónde:

Hd: Altura de descarga (m)

Hn: Altura neta de descarga (m)

Hf: Pérdida de carga o energía (m)

- ✓ **Caudal de descarga (q)**

Corresponde al volumen de agua que la bomba de ariete hidráulico logra impulsar y transportar a través de la tubería de descarga hasta el tanque de almacenamiento. Este parámetro expresa la cantidad efectiva de agua suministrada por el sistema durante su funcionamiento (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013).

El caudal de descarga se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$q = \frac{\eta * Q}{Hd/Ha}$$

Ecuación 8. *Cálculo del caudal de entrega.*

Dónde:

q : Caudal de descarga (m3/s).

n : Eficiencia del ariete hidráulico.

Q : Caudal de alimentación (m3/s).

Ha : Altura de alimentación (m).

Hd : Altura de descarga (m).

- ✓ **Rendimiento Volumétrico.**

El rendimiento volumétrico se determina a partir de la relación existente entre el caudal de descarga y el caudal de alimentación de la bomba hidráulica, expresándose generalmente en porcentaje. Este indicador permite evaluar la proporción del volumen de agua aprovechado con respecto al volumen total suministrado al sistema (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013).

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

Ecuación 9. *Cálculo del rendimiento volumétrico.*

Dónde:

ηv: rendimiento volumétrico (%)

q : Caudal de descarga (m3/s).

Q : Caudal de alimentación (m3/s).

- ✓ **Potencia de la bomba de ariete.**

La potencia hidráulica requerida para elevar un fluido puede determinarse mediante el producto del peso específico del agua, el caudal de descarga y la altura de elevación alcanzada por el sistema (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013).

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

Ecuación 10. *Cálculo de la potencia del ariete hidráulico.*

Dónde:

P : Potencia (W).

γ : Peso específico del agua (N/m3).

Q : Caudal de entrega (m3/s).

Hd : Altura de descarga (m).

- ✓ **Tanque de Almacenamiento (9).**

Se trata de una estructura instalada a una cota superior respecto a la fuente de abastecimiento, cuya función es recibir y almacenar el agua impulsada por el ariete hidráulico. El dimensionamiento hidráulico de este componente depende directamente del volumen de almacenamiento requerido para satisfacer la demanda prevista (Fernández Gómez, 2010).

F. Evaluación del desempeño del sistema de ariete hidráulico

- ✓ **Eficiencia hidráulica del sistema**

La eficiencia hidráulica representa la relación entre la energía útil obtenida y la energía suministrada en un sistema de flujo, constituyéndose como un indicador fundamental del desempeño energético de los sistemas de bombeo (Mataix, C., 1986). En el caso del ariete hidráulico, la eficiencia se expresa como la proporción entre la energía asociada al caudal de descarga y la energía correspondiente al caudal de alimentación, considerando las alturas involucradas en el proceso. Asimismo, en condiciones ideales la transferencia de energía debería realizarse sin pérdidas; sin embargo, en sistemas reales intervienen factores como la fricción, la turbulencia y las pérdidas mecánicas, lo que disminuye el rendimiento del sistema (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013)

En ese sentido, la eficiencia del ariete hidráulico puede expresarse mediante la relación entre el caudal de descarga, el caudal de alimentación y sus respectivas alturas, constituyéndose en un indicador fundamental para evaluar el aprovechamiento energético del sistema en condiciones reales de operación (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013)

- ✓ **Eficacia hidráulica del sistema**

La eficacia en sistemas de riego está relacionada con la capacidad del sistema para suministrar el volumen de agua requerido bajo determinadas condiciones de operación (FAO, 2006). En sistemas de bombeo tipo ariete hidráulico, la eficacia se encuentra directamente vinculada al caudal de descarga generado, el cual depende de factores como la altura de alimentación, la altura de descarga y las características hidráulicas del sistema.

Asimismo, la eficacia puede evaluarse a través de la capacidad del sistema para mantener un suministro continuo y suficiente de agua, independientemente de las pérdidas energéticas internas. En este contexto, el caudal de descarga constituye el principal indicador de la eficacia hidráulica, ya que refleja la capacidad real del sistema para satisfacer los requerimientos de abastecimiento de agua (Piña, A., 2021).

- ✓ **Efectividad del sistema de bombeo para riego**

La efectividad de un sistema de riego puede definirse como el grado en que este logra satisfacer la demanda hídrica de los cultivos en función de sus requerimientos agronómicos (FAO, 2006). En este contexto, la efectividad del sistema de ariete hidráulico está directamente relacionada con su capacidad para suministrar el volumen de agua requerido para el riego.

La demanda hídrica de los cultivos depende de variables como la evapotranspiración, el tipo de cultivo, las condiciones climáticas y el área cultivada (Allen et al., 1998). Por ello, la evaluación de la efectividad implica comparar el caudal suministrado por el sistema con el caudal requerido por el cultivo.En términos operativos, la efectividad puede expresarse mediante la relación:

$$q \geq q_d$$

Donde:

q: caudal de descarga (m^3/s)

q_d: caudal demandado (m^3/s)

Quispe (2022), en una investigación aplicada en sistemas de riego con ariete hidráulico en comunidades altoandinas, concluye que la efectividad del

sistema no depende únicamente de su eficiencia hidráulica, sino de su capacidad para garantizar el suministro continuo de agua durante el periodo de riego.

- ✓ **Integración de la eficiencia, eficacia y efectividad en la evaluación del sistema de bombeo**

De acuerdo con (Mataix, C., 1986) y la FAO (2013), la evaluación de sistemas hidráulicos no debe limitarse a un único indicador, sino que debe considerar múltiples dimensiones que permitan comprender su desempeño de manera integral. En este contexto, la eficiencia hidráulica mide el aprovechamiento de la energía disponible, la eficacia evalúa la capacidad del sistema para generar el caudal requerido, y la efectividad determina el grado de cumplimiento de la demanda hídrica del cultivo.

Asimismo, estudios recientes en sistemas de bombeo alternativos destacan la necesidad de integrar estos tres enfoques para obtener una evaluación más precisa del desempeño del sistema en condiciones reales (Chávez et al., 2020). Esta integración permite identificar no solo pérdidas energéticas o limitaciones operativas, sino también la capacidad del sistema para cumplir su finalidad en el riego agrícola.

En ese sentido, la evaluación del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico en el caserío Canchapunque debe considerar de manera conjunta la eficiencia, la eficacia y la efectividad, permitiendo un análisis integral que relacione el comportamiento hidráulico del sistema con el cumplimiento de la demanda de agua de riego.

2.3. Definición de términos básicos

- **Bomba;** Es un dispositivo mecánico diseñado para transferir fluidos de un punto a otro mediante el suministro de energía suficiente para vencer diferencias de presión, desniveles y pérdidas por fricción presentes en el sistema (Mott, 1996).
- **Caudal;** Representa el volumen de fluido que atraviesa una sección transversal durante un intervalo de tiempo determinado, expresándose generalmente en m^3/s (Mott, 1996).
- **Cultivos perennes;** Son especies agrícolas que mantienen su capacidad productiva durante varios años consecutivos, sin requerir nuevas siembras después de cada cosecha (FAO, 2006).
- **Energía Cinética;** Es la energía asociada al movimiento de un cuerpo y depende directamente de su masa y velocidad (Potter, 2022).

$$Ec = \frac{1}{2}mv^2$$

Ecuación 11. *Energía cinética*

Dónde:

Ec : Energía Cinética

m : Masa

V : Velocidad

- **Energía Potencial;** Corresponde a la energía almacenada por un cuerpo debido a su posición dentro de un campo gravitacional, dependiendo principalmente de su masa y altura respecto a un nivel de referencia (Potter, 2022).

$$Ep = mgh$$

Ecuación 12. *Energía potencial*

Dónde:

Ep : Energía potencial

m : Masa

g : Gravedad

h : Altura

- **Energía Hidráulica;** Constituye la energía aprovechable generada por la combinación de la energía cinética y la energía potencial que posee una masa de agua en movimiento (Mataix, C., 1986).
- **Evapotranspiración;** Es el proceso mediante el cual el agua retorna a la atmósfera en forma de vapor, integrando la evaporación desde el suelo y la transpiración de las plantas (FAO, 2006).
- **Fluido;** Se define como toda sustancia capaz de deformarse continuamente cuando se encuentra sometida a esfuerzos cortantes. Este grupo comprende líquidos y gases; en el caso de los líquidos, estos adoptan la forma del recipiente que los contiene sin experimentar variaciones significativas de volumen (Potter, 2022).
- **Hidráulica;** Se denomina así a la rama de la mecánica de fluidos encargada del estudio de las propiedades y el comportamiento de los fluidos, tanto en estado de reposo como en movimiento (Mataix, C., 1986).
- **Presión;** Corresponde a la intensidad de la fuerza ejercida perpendicularmente sobre una superficie determinada. Su expresión matemática se establece mediante la relación siguiente (Potter, 2022):

$$P = \frac{F}{A}$$

Ecuación 13. *Cálculo de la presión*

Donde:

P : Presión (N/m2)

F : Fuerza (N)

A : Área (m2)

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El sistema de bombeo tipo ariete hidráulico, es efectivo para el abastecimiento de agua para riego, en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga – 2024.

2.4.2. Hipótesis específicas

- ✓ **HE1:** La demanda de agua es cubierta por la disponibilidad del recurso hídrico, para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga – 2024.
- ✓ **HE2:** Los parámetros de diseño y funcionamiento del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga – 2024, dependen de la topografía del terreno, caudal disponible, caudal de demanda, y tipo de material con la que se construye.
- ✓ **HE3:** La eficiencia de la bomba de ariete hidráulico, para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga – 2024, está en función de la carrera de la válvula de impulsión, de modo que variaciones en dicha carrera influyen significativamente en el rendimiento del sistema.

2.5. Identificación de variables

Variable independiente

Sistema de bombeo tipo ariete hidráulico.

Variable dependiente

Efectividad para el abastecimiento de agua de riego.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 3. *Definición operacional de variables e indicadores.*

Variables	Dimensiones	Indicadores
Sistema de bombeo tipo ariete hidráulico.	Diseño del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico	(m3) Volumen de fuente de alimentación
		(mm) diámetro de tubería de alimentación
		(mm) diámetro de tubería de descarga
		(m3) volumen del tanque de aire
		(mm) diámetro de válvula de impulso
		(mm) diámetro de válvula de descarga
		(m3) volumen de tanque de almacenamiento
	Especificaciones Técnicas del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico	Tipos de Accesorios (roscados a presión)
		Tipo de material (PVC, F°G°, Acero)
Efectividad para el abastecimiento de agua de riego.	Eficiencia	Rendimiento (%)
	Eficacia	Caudal de descarga (l/s)

Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El estudio se sitúa dentro del enfoque cuantitativo porque incluye la recolección de datos en términos numéricos, además de su procesamiento y análisis estadístico correspondiente. A partir de eso, se podrá comprender la realidad analizada de manera objetiva y, por lo tanto, comprobar las hipótesis planteadas durante el proceso de investigación.

3.2. Nivel de investigación

La investigación se sitúa en el nivel aplicativo, dado que se basa en la aplicación de conocimientos teóricos previamente consolidados para su aplicación en la resolución de una problemática particular presente en el campo de estudio. En el presente escenario, el problema identificado se vincula con la necesidad de contar con agua destinada al riego de las zonas de pastizales cultivadas.

3.3. Métodos de investigación

La investigación adopta un método experimental, dado que comprende el diseño y la construcción de una bomba de ariete hidráulico basada en criterios y parámetros

técnicos previamente definidos. Posteriormente, el sistema será sometido a pruebas de funcionamiento con el propósito de evaluar su eficiencia y desempeño operativo, considerando para ello los parámetros hidráulicos establecidos en la investigación.

3.4. Diseño de investigación

Los datos recopilados durante el trabajo de campo se examinarán y procesarán para formular conclusiones relevantes. Por lo tanto, el método de investigación se presenta a través del siguiente esquema:

C = DTC + AI + PH + DR

Donde:

C: Conclusiones derivadas de la investigación.

DTC: Descripción de las actividades y procedimientos ejecutados durante el trabajo de campo.

AI: Análisis e interpretación de los datos obtenidos.

PH: Verificación de las hipótesis formuladas.

DR: Discusión y valoración de los resultados alcanzados.

3.5. Población y muestra

Población

La población estuvo constituida por los sistemas de bombeo con fines de riego agrícola existentes en el distrito de Goyllarisquizga, provincia Daniel Alcides Carrión, región Pasco, los cuales son empleados para el abastecimiento de agua en zonas rurales con limitaciones en el acceso a energía convencional.

Muestra

La muestra estuvo conformado por el sistema de bombeo tipo ariete hidráulico implementado en el caserío de Canchapunque, específicamente en un área de cultivo de 0.25 ha destinada a pastizales (ryegrass y trébol), seleccionada mediante un muestreo

no probabilístico por conveniencia, debido a su disponibilidad y representatividad para evaluar el abastecimiento de agua de riego en condiciones reales de operación durante el año 2024.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las principales técnicas e instrumentos que se usaron en la presente investigación son:

- Se efectuaron visitas de campo con el propósito de identificar y registrar la ubicación de la fuente de abastecimiento, la bomba de ariete hidráulico y el tanque de almacenamiento, entre otros componentes del sistema de bombeo.
- Se utilizaron equipos topográficos para realizar el levantamiento de información del terreno y determinar las características geométricas requeridas para el diseño y evaluación del sistema.
- Se verificó el uso actual del recurso hídrico, los tipos de pastizales establecidos en la zona de estudio y la factibilidad técnica de implementar un sistema de bombeo tipo ariete hidráulico.
- Se aplicaron las ecuaciones hidráulicas correspondientes para determinar los caudales de alimentación y descarga del sistema en condiciones de campo.
- Para la medición del caudal se empleó el método volumétrico, utilizando un recipiente de capacidad conocida y un cronómetro para registrar el tiempo de llenado.
- Se utilizaron fichas de campo para el registro sistemático y ordenado de los datos obtenidos durante las actividades de recolección de información.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

A partir de la información adquirida en las pruebas de campo, se crearon gráficos de dispersión, utilizando instrumentos validados con base en fundamentos

teóricos. Asimismo, se aplicaron fórmulas hidráulicas empleadas en investigaciones similares para evaluar cómo funciona la bomba de ariete hidráulico. A partir de los resultados obtenidos, se identificaron los factores hidráulicos que influyen en la eficiencia del sistema, considerando las condiciones propias del terreno.

En cuanto a los accesorios y materiales utilizados en la instalación y montaje del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico, se determinó el costo de fabricación,al igual que los costos de mantenimiento y operación. Esto permitió establecer indicadores económicos y evaluar la viabilidad del sistema, teniendo en cuenta las condiciones del poblador rural y la vida útil de la instalación.

Para garantizar la confiabilidad del procesamiento de la información recogida en campo, se emplearon herramientas como calculadoras científicas, hojas de cálculo y programas informáticos.

Cabe señalar que los instrumentos de investigación fueron validados por profesionales especializados, quienes emitieron su evaluación mediante fichas de validación diseñadas para tal fin.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

- Con base en la información recopilada durante el trabajo de campo y el sustento teórico correspondiente, se realizará el diseño de la bomba de ariete hidráulico. Posteriormente, el sistema será construido e instalado en condiciones reales de operación, con la finalidad de evaluar su desempeño y determinar su efectividad.
- Los datos obtenidos serán organizados y presentados mediante tablas y gráficos estadísticos, lo que facilitará su análisis e interpretación, así como la descripción de los resultados alcanzados.
- Con el propósito de determinar la viabilidad de la implementación de la bomba de ariete hidráulico, se efectuará un análisis económico que comprenderá los costos

de ensamblaje, instalación, operación y mantenimiento del sistema, estableciendo una comparación con una motobomba convencional accionada por combustible.

- Para el procesamiento y análisis de la información recolectada en campo, se emplearán equipos informáticos y herramientas de cálculo, entre ellos una computadora portátil con procesador Core i7 y sistema operativo Windows 11, así como los programas Microsoft Excel y Microsoft Word. Asimismo, se utilizará una calculadora científica y otros recursos complementarios necesarios para el desarrollo de la investigación.

3.9. Tratamiento estadístico

En este estudio se empleará la estadística descriptiva, ya que los datos recopilados serán organizados, analizados e interpretados mediante el uso de tablas y representaciones gráficas, lo que permitirá una mejor comprensión de los resultados obtenidos.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

El estudio corresponde a una investigación de tipo aplicada, debido a que se sustenta en conocimientos teóricos previamente establecidos, los cuales son utilizados para dar respuesta a la problemática identificada en el área de estudio y proponer alternativas de solución acordes con la realidad analizada. En ese contexto, se han considerado las respectivas citas y referencias, respetando los derechos de autor de investigaciones previas. Asimismo, se han seguido los principios y normas éticas establecidos por la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

CAPÍTULO IV

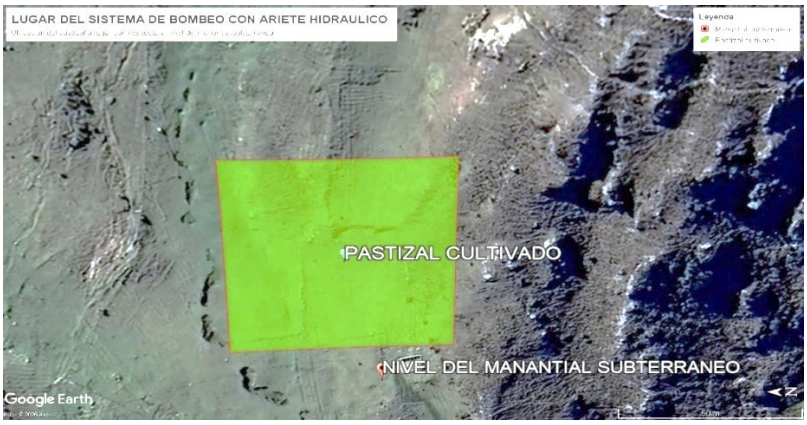
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

A. Visita a campo y trabajos realizados

El proyecto de investigación que se presenta tiene su ubicación en el caserío de Canchapunque, que pertenece al distrito de Goyllarisquizga, a la provincia Daniel Alcides Carrión y a la región Pasco. El terreno es específicamente propiedad del Sr. Teodoro Mendoza Fuster. Con el propósito de reconocer la zona de estudio, se efectuó una visita de campo para identificar el área cultivada que demanda recurso hídrico para riego; asimismo, se localizó la fuente de abastecimiento de agua destinada a dicho fin, encontrándose un manantial subterráneo situado aproximadamente a 100 m de la superficie cultivada.

Figura 32. *Imagen satelital del sitio de investigación*



Nota. Elaboración propia. Fuente: Google Earth.

El propietario del predio, Sr. Teodoro Mendoza Fuster, efectuó la siembra de pasto asociado (ryegrass y trébol) en una superficie rectangular de 2500 m² con la finalidad de disponer de alimento para sus ovinos durante los períodos de estiaje. Esta actividad fue realizada en el año 2023; sin embargo, debido a la insuficiente humedad presente en el terreno, los cultivos no alcanzaron un adecuado desarrollo y comenzaron a marchitarse en sus etapas iniciales de crecimiento. Como consecuencia de ello, se produjo la aparición de especies vegetales características de la zona, tales como el “Pajonal altoandino”, las cuales no poseen valor forrajero para la alimentación animal.

Figura 33. *Existencia de la planta "Pajonal altoandino" en áreas de cultivo de pastizales.*



Nota. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta las condiciones topográficas del terreno y el requerimiento de agua del campo cultivado (ryegrass y trébol) que abarca un área rectangular de 2500 m², esta investigación sugiere la creación de un sistema de bombeo tipo ariete hidráulico. Como se puede ver en las imágenes que siguen, el manantial subterráneo tiene un desagüe hacia la parte baja del terreno y libera agua a través de un cauce natural.

Figura 34. *Manantial subterráneo*



Nota. Elaboración propia.

Figura 35. *Corriente de agua que viene del manantial subterráneo.*



Nota. Elaboración propia.

Se llevó a cabo un levantamiento topográfico del área de influencia vinculada con la zona bajo estudio; también se llevó a cabo una medición volumétrica con el objetivo de establecer el caudal disponible que ofrece el manantial subterráneo.

- ✓ **Elección del tipo de sistema de riego**

  Se plantea que el riego del pasto asociado se realice únicamente durante los períodos de estiaje. Para ello, la bomba de ariete hidráulico impulsará el volumen de agua requerido desde el manantial subterráneo hacia un tanque de almacenamiento. Dicho tanque estará ubicado en la parte superior del área de cultivo, con la finalidad de distribuir el agua mediante un sistema de riego por gravedad de manera temporal y durante un tiempo previamente establecido.

- ✓ **Ubicación del tanque de almacenamiento**

  La ubicación de este componente del sistema de bombeo fue definida durante los trabajos de campo. El tanque de almacenamiento se emplazará en las coordenadas UTM E: 345516 m y N: 8838472 m, a una altitud de 4130 m s.n.m. Esta localización fue seleccionada por considerarse la más conveniente, debido a su proximidad al manantial subterráneo y a la diferencia de nivel existente, la cual permitirá abastecer mediante riego por gravedad a la mayor parte de la superficie cultivada con pasto asociado.

- ✓ **Aforo de la oferta hídrica**

  Dentro de la parcela de propiedad del Sr. Teodoro Mendoza Fuster se localiza un manantial de origen subterráneo que mantiene disponibilidad de agua durante todo el año, presentando caudales variables y un flujo de carácter permanente. Con el propósito de determinar el caudal disponible, se realizó un aforo utilizando el método volumétrico.

El método de aforo volumétrico consiste en medir el tiempo requerido para llenar un recipiente de volumen conocido con agua proveniente de la fuente evaluada. Posteriormente, el caudal se determina mediante la siguiente expresión:

$$Q = V/T$$

Ecuación 14. *Determinación de caudal por el método de aforo volumétrico.*

Donde:

Q : Caudal

V : Volumen

T : Tiempo

Figura 36. *Medición del caudal ofrecido mediante el método volumétrico de aforo.*



Nota. Elaboración propia.

La siguiente tabla presenta los datos obtenidos durante el aforo volumétrico efectuado in situ. La toma de muestras se realizó en el mes de septiembre del año 2024, utilizando como fuente de abastecimiento un manantial subterráneo.

Tabla 4. *Determinación de caudal usando el método volumétrico de aforo.*

Volumen	Tiempo de Llenado	Caudal (l/s)
V (l)	T (s)	Q=V/T
10	11.27	0.89
10	11.23	0.89
10	11.28	0.89
10	11.19	0.89
10	11.24	0.89
	PROMEDIO=	**0.89**

Nota. Elaboración Propia

- ✓ **Ubicación y volumen de fuente de alimentación**

Se propone la construcción de una fuente de alimentación de agua localizada entre el manantial subterráneo y la bomba de ariete hidráulico. Esta estructura tendrá la función de almacenar un volumen suficiente de agua para suministrar a la bomba un caudal uniforme, garantizando así su funcionamiento continuo y evitando interrupciones durante la operación del sistema.

En las coordenadas UTM E: 345459 m y N: 8838455 m, a una altitud correspondiente al nivel del espejo de agua de 4110 m s.n.m., se identificó una poza existente que será aprovechada como fuente de alimentación. Para ello, se plantea incrementar su profundidad hasta 1,00 m por debajo del nivel actual del agua (N.A.) y, adicionalmente, realizar el perfilado de sus laterales, considerando dimensiones de 5,00 m de longitud y 1,00 m de ancho, tal como se muestra en la siguiente figura.

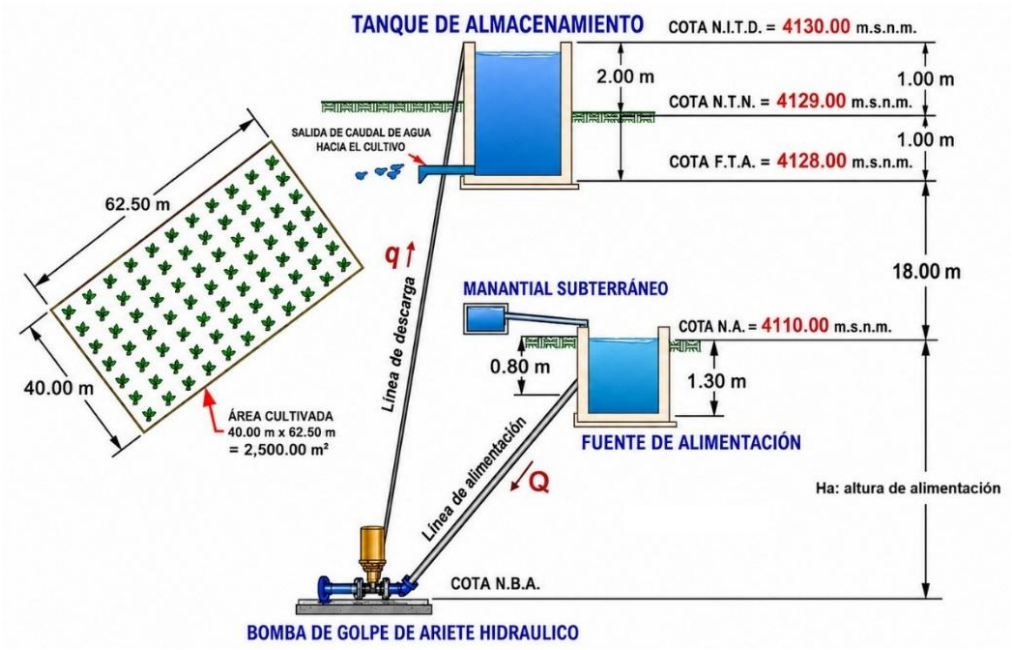
Figura 37. *Pozas en las coordenadas UTM: E: 345459m; N: 8838455m; y altitud 4110 m.s.n.m.*



Nota. Elaboración Propia.

Durante la visita de campo se estableció la configuración preliminar del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico, la cual se presenta a continuación:

Figura 38. *Configuración inicial del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico.*



Nota. Adaptado de (Torres, P., 2021).

- ✓ **Altura de alimentación (Ha).**

De acuerdo con (Watt, S. B., 1975), la altura de alimentación (Ha) debe encontrarse dentro de un rango comprendido entre 1 y 12 m. Para su determinación se emplea la siguiente expresión matemática:

$$Ha = \frac{1}{3} * Hd$$

Ecuación 15. *Altura de alimentación (Ha)*

Donde:

Altura de alimentación (Ha) : N.A. de fuente de alimentación – N.B.A.

Altura de descarga (Hn) : N.I.T.A. – N.B.A

De la Figura 38, se tiene que: Hd= Ha + 20m, luego reemplazando Hd en la ecuación según (Watt, S. B., 1975) obtenemos lo siguiente:

$$Ha = \frac{1}{3} * (Ha + 20)$$

$$3*Ha = \text{Ha} + 20$$

$$2 * Ha = 20\ m$$

$$\text{Ha} = 10\ m$$

- ✓ **Ubicación de la bomba de ariete**

Mediante el empleo de los equipos topográficos disponibles durante el trabajo de campo y considerando previamente que la altura de alimentación requerida para el sistema de bombeo es de 10 m, se procedió a identificar una ubicación adecuada para la instalación de la bomba de ariete hidráulico. Como resultado, se determinó que la bomba estará situada a una distancia de 20 m, medida sobre la superficie natural del terreno desde la fuente de alimentación. Las coordenadas UTM correspondientes a su emplazamiento son E: 345440 m

y N: 8838458 m, con una altitud de 4100 m s.n.m. La ubicación relativa de la bomba respecto a la fuente de alimentación se presenta en la siguiente figura:

Figura 39. *Ubicación de la bomba de ariete hidráulico*



Nota. Elaboración propia.

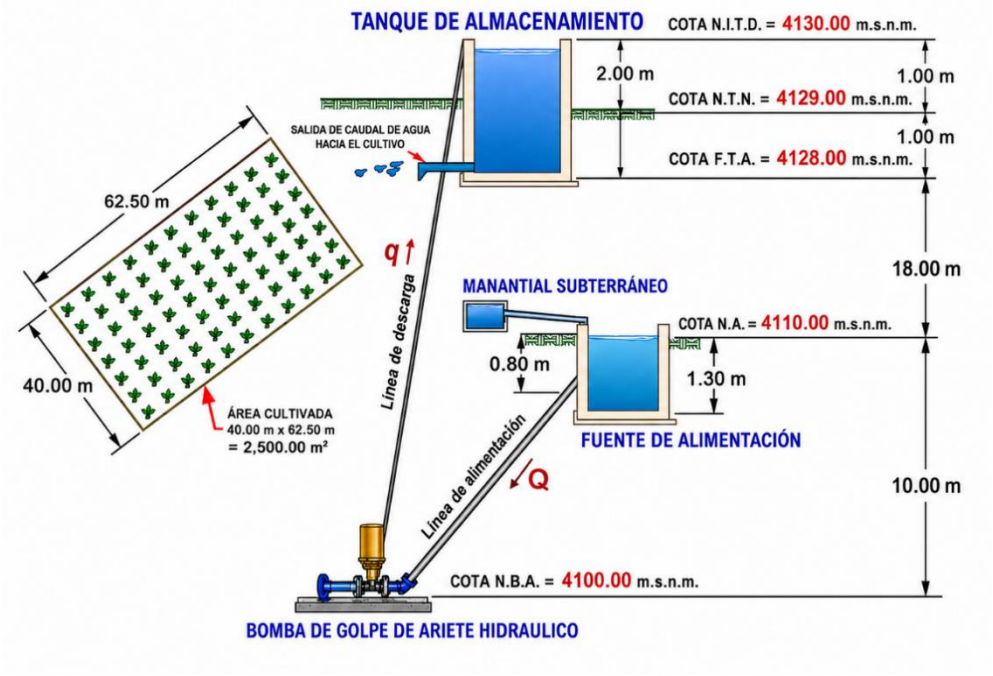
Conocida la altura de alimentación (Ha), se determinó la cota correspondiente al nivel de ubicación de la bomba de ariete (Cota N.B.A.), mediante el siguiente procedimiento:

- Cota N.B.A.= N.A. de Fuente de alimentación – Ha
- Cota N.B.A.= 4110m – 10m
- Cota N.B.A.= 4100 m.s.n.m.

Por consiguiente, la cota de emplazamiento de la bomba de ariete hidráulico corresponde a 4100 m s.n.m.

Finalmente, considerando las características topográficas del terreno y la ubicación de la fuente hídrica existente en el área de estudio, se estableció la configuración preliminar del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico, la cual se muestra en la siguiente figura:

Figura 40. *Configuración del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico.*



Nota. Adaptado de (Torres, P., 2021).

B. Trabajo en gabinete

Una vez recopilada la información obtenida durante los trabajos de campo, se procedió al cálculo de los parámetros complementarios de diseño, necesarios para el dimensionamiento de los demás componentes que integran el sistema de bombeo tipo ariete hidráulico.

✓ Cálculo de caudal de descarga (q)

El caudal de descarga corresponde al volumen de agua impulsado por la bomba de ariete hidráulico hacia el tanque de almacenamiento, constituyendo a su vez el caudal requerido para satisfacer las necesidades de riego del cultivo de Rye Grass durante los períodos de estiaje. Para su determinación, es indispensable conocer tanto el aporte hídrico proveniente de las precipitaciones pluviales como las pérdidas de agua ocasionadas por la evapotranspiración del cultivo. Con esta información es posible efectuar un balance hídrico que permita establecer la cantidad de agua necesaria para

abastecer el tanque de almacenamiento y cubrir adecuadamente los requerimientos de riego en épocas de déficit hídrico.

La evapotranspiración de referencia mensual (ETo) es el primer paso para realizar el procedimiento de cálculo. Posteriormente, mediante la aplicación de los valores correspondientes al coeficiente de cultivo (Kc), se obtiene la evapotranspiración del cultivo (ETc). Finalmente, al relacionar estos resultados con los registros de precipitación pluvial, se determina la demanda neta de agua del cultivo, la cual representa el caudal de descarga requerido. Para el procesamiento y análisis de estos parámetros se empleará el software Microsoft Excel.

Microsoft Excel permitirá realizar el balance hídrico mediante la comparación entre la oferta de agua disponible y la demanda hídrica del cultivo. Para calcular los requerimientos de agua del cultivo (RAC), datos sobre la temperatura y la radiación solar extraterrestre serán introducidos en el programa. El programa calculará la evapotranspiración de referencia (ETo) empleando la fórmula sugerida por Hargreaves-Samani, basándose en esta información:

$$ET_0 = 0.0023(T_{med} + 17.78)R_0 * (T_{max} - T_{min})^{0.5}$$

Ecuación 16. *Ecuación de Hargreaves-Samani*

Donde:

ET_0 : Evapotranspiración de referencia (mm/día)

T_{med} : Temperatura media diaria (°C)

R_0 : Radiación solar extraterrestre (mm/día) tabulada

T_{max} : Temperatura diaria máxima

T_{min} : Temperatura diaria mínima

a. Determinación de Evapotranspiración de referencia (ETo)

Para determinar la evapotranspiración de referencia mensual (ETo), se empleó el software Microsoft Excel como herramienta de procesamiento y cálculo.

Se consideraron los registros meteorológicos de la estación Cerro de Pasco, ubicada en las siguientes coordenadas geográficas:Latitud: -10°41'36.15"

Longitud : -76°15'51.1"

Altitud : 4357 msnm

Los datos de esta estación fueron utilizados de manera directa debido a la similitud geográfica existente con el área de estudio. Las coordenadas del lugar de investigación, obtenidas mediante Google Earth, son las siguientes:

Latitud : -10°30'4.70"

Longitud : -76°24'38.53"

Altitud : 4130 msnm

Tabla 5. *Determinación de la Radiación solar extraterrestre (mm/día)*

Estación	L. Superior	Latitud	L. Inferior
C. de P.	-10	-10.693375	-12
Ene	16.1	16.2	16.4
Feb	16.0	16.1	16.2
Mar	15.4	15.4	15.4
Abr	14.1	14.0	13.9
May	12.7	12.6	12.3
Jun	11.9	11.8	11.5
Jul	12.2	12.1	11.8
Ago	13.4	13.3	13.1
Set	14.8	14.8	14.7
Oct	15.7	15.7	15.8
Nov	16.0	16.1	16.2
Dic	16.1	16.2	16.3

Nota. Elaboración Propia con datos del (SENAMHI, 2024).

A partir de los valores de temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media y radiación solar extraterrestre, se calculó la evapotranspiración de referencia mediante la ecuación de Hargreaves-Samani. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6. *Determinación de Evapotranspiración de Referencia por el método de Hargreaves-Samani.*

	T MAX	T MIN	T MEDIA	RADIACIÓN	ET0
2024	°C	°C	°C	mm/día	mm/día
Ene	14.2	0.0	7.4	16.2	3.5
Feb	14.2	0.4	7.4	16.1	3.5
Mar	14.9	0.6	7.5	15.4	3.4
Abr	16.0	-0.4	7.3	14.0	3.3
May	15.0	-1.6	7.3	12.6	3.0
Jun	15.2	-5.0	5.7	11.8	2.9
Jul	15.5	-8.2	5.6	12.1	3.2
Ago	15.5	-6.8	6.1	13.3	3.4
Set	16.5	-4.6	6.1	14.8	3.7
Oct	16.5	-1.4	7.1	15.7	3.8
Nov	14.7	-0.4	6.8	16.1	3.5
Dic	15.2	0.8	7.1	16.2	3.5

Nota. Elaboración Propia con datos del (SENAMHI, 2024).

b. Determinación de la precipitación efectiva (Pe)

La precipitación efectiva en el área de estudio presenta variaciones a lo largo de los doce meses del año. Para su determinación se empleó el método propuesto por el USDA Soil Conservation Service, el cual se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Pe = \frac{Pt(125 - 0.2Pt)}{125}$$

$Para\ Pt\ < 250\ mm$

Ecuación 17. *Precipitación efectiva según USDA Soil Conservatión*

Donde:

Pe : Precipitación efectiva (mm/mes)

Pt : Precipitación total mensual (mm/mes)

De acuerdo con la FAO (2006), la precipitación efectiva corresponde a la fracción de la precipitación total que puede ser aprovechada por el cultivo, debido a que una parte del agua precipitada se pierde por procesos como la escorrentía superficial y otras formas de pérdidas hidrológicas. Para la presente investigación, los valores obtenidos de precipitación efectiva se muestran en la Tabla 7. Los resultados evidencian que los menores valores de precipitación efectiva se presentan entre los meses de junio y septiembre, periodo en el cual se registran las mayores restricciones hídricas para el desarrollo de los cultivos.

Tabla 7. *Determinación de Precipitación Efectiva por el método de método del USDA Soil Conservation Service*

	PRECIPITACIÓN TOTAL	PRECIPITACIÓN EFECTIVA
2024	mm	mm
Ene	156.6	117.4
Feb	165.3	121.6
Mar	190.1	132.3
Abr	79.4	69.3
May	38.2	35.9
Jun	11.6	11.4
Jul	1.0	1.0
Ago	8.4	8.3
Set	10.7	10.5
Oct	63.5	57.0
Nov	168.8	123.2
Dic	162.7	120.3

Nota. Elaboración Propia con datos del (SENAMHI, 2024).

c. Coeficiente del cultivo:

El coeficiente de cultivo (Kc) constituye un parámetro fundamental para estimar los requerimientos hídricos de una especie vegetal durante las diferentes fases de su desarrollo. Este coeficiente permite ajustar la evapotranspiración de referencia a las condiciones específicas de un cultivo distinto al pasto de referencia, considerando tanto sus características fisiológicas como las variaciones asociadas a cada etapa fenológica.

Generalmente, en el diseño de sistemas de riego se adopta como criterio la etapa de mayor demanda hídrica, con la finalidad de garantizar un suministro adecuado de agua y evitar déficits que puedan afectar el rendimiento del cultivo. No obstante, en sistemas productivos de carácter campesino, donde la disponibilidad del recurso hídrico suele ser limitada y las condiciones de producción pueden verse influenciadas por factores

como la fertilidad del suelo, la calidad de las semillas y el estado fitosanitario de los cultivos, resulta conveniente efectuar un ajuste moderado de los requerimientos obtenidos mediante las tablas propuestas por la FAO. En ese sentido, el requerimiento hídrico promedio a lo largo del ciclo vegetativo puede emplearse como referencia para estimar el consumo de agua en las parcelas agrícolas.

Tabla 8. *Valores promedio del coeficiente de cultivo Kc.*

CULTIVO	K_c	CULTIVO	K_c
Alfalfa	0,9	Frijol verde	0.75
Alverja	0.89	Lechuga	0.70
Avena	0.80	Lenteja	0.79
Berenjena	0.82	Maíz dulce	0.88
Caña de azúcar	0.95	Maíz grana	0.83
Cebada	0.80	Papa	0.83
Cebolla seca	0.90	Pasto	1.00
Cebolla verde	0.74	Pimiento	0.83
Col	0.86	Rábano	0.73
Espinaca	0.73	Trébol	1.00
Frijol seco	0.87	Trigo	0.80
		Zanahoria	0.84

Nota. Elaboración Propia

Cuando el plan de siembra comprende más de una especie cultivada dentro de una misma parcela, es necesario determinar el consumo total de agua considerando la proporción de cobertura correspondiente a cada cultivo. Por ejemplo, una parcela conformada por 70 % de Rye Grass y 30 % de trébol presentará un coeficiente de cultivo ponderado equivalente a la suma de los coeficientes individuales multiplicados por su respectiva participación porcentual.

Por consiguiente, el coeficiente de cultivo promedio para dicha parcela se calcula de la siguiente manera:

Kc = (0,7 × Kc Rye Grass) + (0,3 × Kc Trébol)

Kc = 0.7* 1.0 + 0.3 * 1.0 = 1.0

d. Datos de suelo

De acuerdo con las verificaciones efectuadas durante el trabajo de campo, el suelo correspondiente al área de estudio fue identificado como un suelo arcilloso de color negro. Esta clasificación se estableció a partir de las características texturales observadas directamente en el terreno, tal como se muestra en la Figura 41.

Figura 41. *Textura del suelo*



Nota. Elaboración Propia

Una vez obtenidos los valores de evapotranspiración de referencia (ETo), precipitación efectiva (Pe) y evapotranspiración real del cultivo (ETc), mediante el procesamiento de información en Microsoft Excel, se procedió al cálculo de la demanda de agua requerida para fines de riego.

Asimismo, considerando la implementación de un sistema de riego por aspersión con una eficiencia de aplicación del 70 %, y asumiendo un tiempo efectivo de operación de 24 horas por día, se elaboró la Tabla 9. En dicha tabla se presentan los resultados de la demanda hídrica para una superficie de 0,25 ha cultivada con pasto asociado (Rye Grass y trébol).

Los resultados muestran que el mayor requerimiento de agua corresponde al mes de septiembre, con una demanda máxima de 0,14 L/s, periodo que coincide con la época de mayor estiaje en la zona de estudio. En consecuencia, este caudal de 0,14 L/s se adopta como caudal de descarga para el diseño del sistema.

***Tabla 9**. Resultados de la demanda hídrica del cultivo y determinación del caudal de descarga*

CALCULO DE DEMANDA DE AGUA PARA FINES DE RIEGO												
CULTIVO : RYE GRASS - TREBOL	AREA :	0.25 Ha		EFICIENCIA DE RIEGO:				0.7	(ASPERSION)			
DESCRIPCION	**ENERO**	**FEBRERO**	**MARZO**	**ABRIL**	**MAYO**	**JUNIO**	**JULIO**	**AGOSTO**	**SETIEMBRE**	**OCTUBRE**	**NOVIEMBRE**	**DICIEMBRE**
1. Area de cultivo (ha)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
2. N° dias del mes	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
3. **(Eto)** Evap. De referencia, Hargreaves - Samani (mm/dia)	3.54	3.46	3.39	3.28	2.95	2.85	3.16	3.45	3.73	3.81	3.53	3.51
4. **(Kc)** Coeficiente ponderado del cultivo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5. **(Etc)** Evapotranspiracion real del cultivo (mm/dia)	3.54	3.46	3.39	3.28	2.95	2.85	3.16	3.45	3.73	3.81	3.53	3.51
6. **(Pe)** P. efectiva (mm/mes)	117.36	121.58	132.28	69.31	35.87	11.38	1.00	8.29	10.52	57.05	123.21	120.35
7. **(ef)** Eficiencia de riego (%)	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
8. **(Dn)** Demanda Unitaria Neta de Riego (mm/mes) **(5*2-6)**	0.00	0.00	0.00	29.01	55.65	74.26	96.88	98.62	101.24	61.04	0.00	0.00
9. **(Db)** Demanda bruta total de Riego (mm/mes) **(8/7)**	0.00	0.00	0.00	41.45	79.50	106.08	138.41	140.88	144.63	87.21	0.00	0.00

10. **(Db)** Demanda bruta total de Riego (m3/ha) **(9*10)**	0.00	0.00	0.00	414.50	795.04	1060.80	1384.05	1408.82	1446.26	872.07	0.00	0.00
11. **(Hr)** Número de Horas de riego/día	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
12. **(D)** Demanda de Agua del Proyecto (m3) **(10*1)**	0.00	0.00	0.00	103.62	198.76	265.20	346.01	352.21	361.57	218.02	0.00	0.00
13. **(D)** Demanda de Agua del Proyecto (l/s) **12/(2*11*3.6)**	0.00	0.00	0.00	0.04	0.07	0.10	0.13	0.13	0.14	0.08	0.00	0.00
14. **(Mr)** Módulo de riego calculado (litros/seg/has.) **(13/1)**	0.00	0.00	0.00	0.16	0.30	0.41	0.52	0.53	0.56	0.33	0.00	0.00

Nota. Elaboración Propia

- ✓ **Cálculo del caudal de alimentación (Q).**

Una vez determinado el caudal de descarga, equivalente a la demanda hídrica requerida para el riego del pasto asociado en una superficie de 0,25 ha, cuyo valor corresponde a 0,14 l/s (Tabla 7, mes de setiembre), se procede a determinar el caudal de alimentación necesario para el funcionamiento del sistema. Para ello, se adopta una eficiencia de operación del ariete hidráulico del 50 %, valor considerado adecuado para estimaciones de diseño preliminar en sistemas hidráulicos (Mataix, C., 1986).

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

Ecuación 18. *Caudal de alimentación.*

Dónde:

q : Caudal de descarga (l/s).

Hd : Altura de descarga (m).

Q : Caudal de alimentación (l/s).

Ha : Altura de alimentación (m).

n : eficiencia del ariete hidráulico.

Por lo tanto, si sustituimos los valores en la ecuación, obtenemos:

q = 0.14 (l/s).

Hd = 30 (m).

Q = Caudal de alimentación (l/s).

Ha = 10 (m).

n = 50%

$$Q = \frac{0.14 * 30}{0.5 \ * \ 10}$$

Q = 0.84 l/s

Según los resultados obtenidos, al considerar una eficiencia de funcionamiento del 50 % para el ariete hidráulico, el caudal de alimentación requerido corresponde a 0,84 l/s. En consecuencia, este valor será empleado como criterio de diseño para el dimensionamiento del diámetro de la tubería de alimentación del sistema.

- ✓ **Diseño de la Tubería de alimentación.**

  a. Cálculo del diámetro de la tubería de alimentación mediante la ecuación de Bondschú

  Con el fin de dimensionar la tubería de alimentación del sistema, se emplea la ecuación de Bondschú, la cual permite estimar el diámetro requerido en función del caudal de alimentación y las condiciones hidráulicas del sistema:

$$D = 1.27 * \frac{Q^{0.4268}}{(H_D + h_s)^{0.1423}}$$

Ecuación 19. *Diámetro de tubería de alimentación según Bondschu.*

Dónde:

D : Diámetro de la tubería de alimentación (m)

Q : caudal de alimentación: 0.84 l/s = 0.00084 m3/s.

HD : altura de descarga: 30 (m)

Hs : 0.3HD= 10 m

Sustituyendo estos datos en la ecuación, se obtiene:

$$D = 1.27 * \frac{0.00084^{0.4268}}{(30+10)^{0.1423}}$$

D= 0.04393m

D= 43.93mm

Por consiguiente, el diámetro mínimo requerido para la tubería de alimentación es de 43,93 mm, de acuerdo con los resultados obtenidos mediante la ecuación de Bondschú.

Con base en este resultado, se propone la utilización de tubería de polietileno de alta densidad (HDPE). Según las especificaciones técnicas de Pavco (2024), este material presenta diversas ventajas para aplicaciones hidráulicas, entre las que destacan su bajo peso, facilidad de transporte y manipulación, así como la simplificación de las labores de instalación debido a que se suministra en rollos de gran longitud, reduciendo la necesidad de uniones. Asimismo, posee elevada flexibilidad, lo que permite adaptarse a cambios de dirección con menores pérdidas de carga por accesorios. Adicionalmente, presenta alta resistencia mecánica, estabilidad frente a la radiación ultravioleta, resistencia a la abrasión y un comportamiento favorable ante condiciones de congelamiento. Del mismo

modo, ofrece una adecuada resistencia a las sobrepresiones generadas por golpes de ariete.

En función de estas características, se selecciona una tubería de polietileno tipo PE80 con clasificación SDR 17, la cual admite una presión nominal de trabajo de 0,8 MPa (8 bar), suficiente para las condiciones de operación previstas en el presente proyecto. Además, este tipo de tubería cuenta con disponibilidad comercial en los establecimientos de suministro de materiales ubicados en la ciudad de Cerro de Pasco.

De acuerdo con el catálogo técnico de Pavco (2024), la tubería HDPE PE80 SDR 17 de 50 mm de diámetro exterior posee un espesor de pared de 3,0 mm, lo que proporciona un diámetro interior aproximado de 44 mm. Considerando que dicho valor supera el diámetro mínimo calculado de 43,93 mm, se concluye que esta tubería satisface los requerimientos de diseño establecidos. En consecuencia, se adopta una tubería de polietileno de alta densidad de 50 mm de diámetro exterior para la línea de alimentación del ariete hidráulico.

Tabla 10. *Medidas de diámetros de tuberías*

NTP ISO 4427 - 2															
Diámetro Externo	Tipo de PE	SDR 6		SDR 7.4		SDR 9		SDR 11		SDR 13.6		SDR 17		SDR 21	
		S 2.5		S 3.2		S 4		S5		S 6.3		S 8		S 10	
	PE 80	PN 25		PN 20		PN 16		PN 12.5		PN 10		PN 8		PN 6	
	PE 100			PN 25		PN 20		PN 16		PN 12.5		PN 10		PN 8	
(mm)	Ovalidad	e_{min} (mm)	e_{Peso}	e_{min} (mm)	e_{Peso}	e_{min} (mm)	e_{Peso}	e_{min} (mm)	e_{Peso}	e_{min} (mm)	Peso (kg/m)	e_{min} (mm)	Peso (kg/m)	e_{min} (mm)	Peso (kg/m)
20	1.2	3.4	0.19	3.0	0.17	2.3	0.13	(*)2.0	0.12	-	-	-	-	-	-
25	1.2	4.2	0.29	3.5	0.25	3.0	0.22	(*)2.3	0.17	2.0	0.15	-	-	-	-
32	1.3	5.4	0.47	4.4	0.40	3.6	0.33	(*)3.0	0.28	2.4	0.23	(*)2.0	0.20	-	-
40	1.4	6.7	0.73	5.5	0.62	4.5	0.52	(*)3.7	0.44	3.0	0.36	(*)2.4	0.30	2.0	0.25
50	1.4	8.3	1.13	6.9	0.97	5.6	0.81	(*)4.6	0.68	3.7	0.56	(*)3.0	0.46	2.4	0.37
63	1.5	10.5	1.80	8.6	1.53	7.1	1.30	(*)5.8	1.08	4.7	0.89	(*)3.8	0.73	3.0	0.59
75	1.6	12.5	2.55	10.3	2.18	8.4	1.83	(*)6.8	1.51	5.6	1.27	(*)4.5	1.04	3.6	0.84
90	1.8	15.0	3.68	12.3	3.12	10.1	2.64	(*)8.2	2.19	6.7	1.82	(*)5.4	1.49	4.3	1.20
110	2.2	18.3	5.48	15.1	4.68	12.3	3.92	(*)10.0	3.27	8.1	2.69	(*)6.6	2.23	5.3	1.81
160	3.2	26.6	11.59	21.9	9.88	17.9	8.31	(*)14.6	6.93	11.8	5.71	(*)9.5	4.67	7.7	3.83
200	4.0	33.2	18.08	27.4	15.44	22.4	12.99	(*)18.2	10.80	14.7	8.89	(*)11.9	7.31	9.6	5.97

Nota. Fuente: (Pavco, 2024)

b. Diámetro de tubería de alimentación de acuerdo con su longitud.

- **Longitud de la tubería de alimentación.**

  De acuerdo con las características topográficas del terreno, para una altura de alimentación de 10 m se requiere una distancia inclinada aproximada de 20 m, la cual corresponde a la longitud de la tubería de alimentación considerada en el diseño.

- **Verificación del diámetro de la tubería de alimentación en función de su longitud**

  Con la finalidad de validar el diámetro seleccionado, se analiza la relación existente entre la longitud y el diámetro de la tubería de alimentación. Al respecto, diversos criterios de diseño para sistemas de ariete hidráulico establecen rangos recomendados de longitud de tubería en función de su diámetro nominal, los cuales permiten garantizar un adecuado comportamiento hidráulico del sistema (Mataix, C., 1986).

Tabla 11. *Longitud para las tuberías de alimentación, dependiendo del diámetro.*

Diámetro de tubería de alimentación (mm)	Longitud (m)	
	Longitud Mínimo	Longitud Máximo
13	2	13
20	3	20
25	4	25
30	4.5	30
40	6	40
50	7.5	50
80	12	80
100	15	100

Nota. Adaptado de (Mataix, C., 1986).

Para el presente caso, se dispone de un diámetro calculado de 47 mm; por tanto, este valor se encuentra dentro del rango de 40 a 50 mm. En consecuencia, la longitud de la tubería de alimentación debe encontrarse dentro de los límites recomendados para dicho diámetro, verificándose que la longitud adoptada cumple con este criterio de diseño.

Asimismo, (Watt, S. B., 1975) señala que, para asegurar un funcionamiento adecuado de la bomba de ariete hidráulico, la relación entre la longitud (L) y el diámetro (D) de la tubería de alimentación debe encontrarse comprendida entre 150 y 1000. Para el presente estudio se tiene:

$$150 \leq \frac{L}{D} \leq 1000$$

$$150 \leq \frac{15}{0.047} \leq 1000$$

$$150 \leq 319.15 \leq 1000$$

Por lo tanto, se verifica que la relación L/D obtenida para la tubería seleccionada se encuentra dentro de los límites recomendados por (Watt, S. B., 1975), lo que confirma la idoneidad del diámetro adoptado para el sistema.

- **Tubería de descarga**

De acuerdo con los criterios de diseño para sistemas de bombeo tipo ariete hidráulico, el diámetro de la tubería de descarga suele adoptarse como aproximadamente la mitad del diámetro de la tubería de alimentación (Mataix, C., 1986). En consecuencia, una vez definido el diámetro de la tubería de alimentación, se procede a

determinar el diámetro de la tubería de descarga de la siguiente manera:

D/2 = Diámetro de Tubería de entrega.

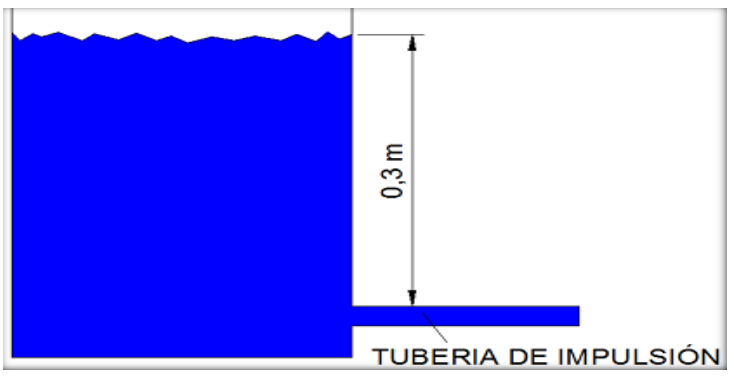
$50mm/2$= 25 mm

Considerando este resultado, se propone utilizar tubería de polietileno de alta densidad (HDPE), correspondiente al mismo material seleccionado para la tubería de alimentación. Asimismo, de acuerdo con los diámetros comerciales disponibles, se selecciona una tubería de 25 mm de diámetro, por cumplir con los requerimientos de diseño establecidos para la descarga del sistema.

- ✓ **Tanque de alimentación**

Para el presente proyecto se considera la instalación de un tanque de alimentación provisto de una tubería de ingreso de caudal. Asimismo, la toma de la tubería de alimentación debe ubicarse a una determinada altura respecto al fondo del tanque, con el propósito de evitar el ingreso de sedimentos al sistema. Adicionalmente, se recomienda mantener una lámina de agua mínima de 30 cm sobre la toma, a fin de prevenir la formación de vórtices y la aspiración de aire hacia la tubería (Galarza, R., 2013).

Figura 42. *Tanque de alimentación de agua*



Nota. Fuente: (Galarza, R., 2013).

✓ **Tanque de almacenamiento**

Para el desarrollo experimental del estudio, se utilizará un reservorio con capacidad de almacenamiento de 1100 litros, disponible comercialmente. Este tanque permitirá almacenar el agua impulsada por el ariete hidráulico a través de la tubería de descarga para su posterior utilización en actividades de riego. El reservorio se ubicará a una distancia aproximada de 100 m respecto al ariete hidráulico y a una altura de descarga de 30 m.

Figura 43. *Tanque de almacenamiento de agua*



Nota. Fuente: (Peralta, H., 2015).

Con la finalidad de evaluar la efectividad del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico, se dispondrá además de un recipiente de medición que permitirá determinar el caudal de descarga durante las pruebas de funcionamiento del sistema.

c. Resumen general del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico según diseño teórico.

- ✓ **Parámetros de diseño**

El establecimiento de los parámetros de diseño resultó fundamental para dimensionar los componentes generales que integran el sistema de bombeo por ariete hidráulico. Dichas variables se detallan a continuación:

Tabla 12. *Parámetros del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico.*

N°	DESCRIPCION	VALOR	UNIDAD
1	Caudal ofertado por el manantial subterráneo	0.89	l/s
2	Diferencia de altura entre el nivel de fuente de alimentación y tanque de almacenamiento	20	m
3	Área del cultivo a regar	0.25	ha
4	Caudal de descarga requerido	0.14	l/s
5	Eficiencia de la bomba de ariete (asumida)	50	%
6	Caudal de alimentación calculado	0.84	l/s

Nota. Elaboración propia.

- ✓ **Resumen de los componentes del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico.**

Los componentes principales ya diseñadas, que forman parte del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico son las que se mencionan en la tabla 13.

Tabla 13. *Componentes del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico.*

COMPONENTE	DIMENSION	UNIDAD	MATERIAL
CAPTACION			
MANANTIAL SUBTERRANEO			
LINEA DE CONDUCCION			
CANAL NATURAL			
FUENTE DE ALIMENTACION			
FUENTE DE ALIMENTACION	0.10	M3	HDPE
LINEA DE ALIMENTACION			TUB. HDPE
ALTURA DE ALIMENTACION	10.00	M	
LONGITUD DE TUBERIA DE ALIMENTACION	20.00	M	
DIAMETRO DE TUBERIA DE ALIMENTACION	50.00	MM	
BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO			F°G°, PVC, ACERO
DIAMETRO DE LA BOMBA DE ARIETE	1.50	PULG.	
LINEA DE DESCARGA			TUB. HDPE
ALTURA DE DESCARGA	30.00	M	
LONGITUD DE TUBERIA DE DESCARGA	100.00	M	
DIAMETRO DE TUBERIA DE DESCARGA	25.00	MM	
TANQUE DE ALMACENAMIENTO			
VOLUMEN	1.10	M3	HDPE

Nota. Elaboración propia.

C. Diseño de Bomba de ariete hidráulico

✓ Configuración y dimensionamiento del cuerpo de la bomba

El diámetro del cuerpo de la bomba de ariete hidráulico se define tomando como referencia el diámetro de la tubería de alimentación seleccionada, adoptándose una dimensión de 1,5 pulgadas. Para su construcción se emplearán accesorios comerciales de fácil acceso en el mercado local, lo que facilitará tanto su adquisición como su instalación. La configuración propuesta para el ensamblaje del sistema se presenta en la Figura 44.

Figura 44. *Diseño de la bomba tipo ariete hidráulico.*



Nota. Adaptado de (Torres, P., 2021).

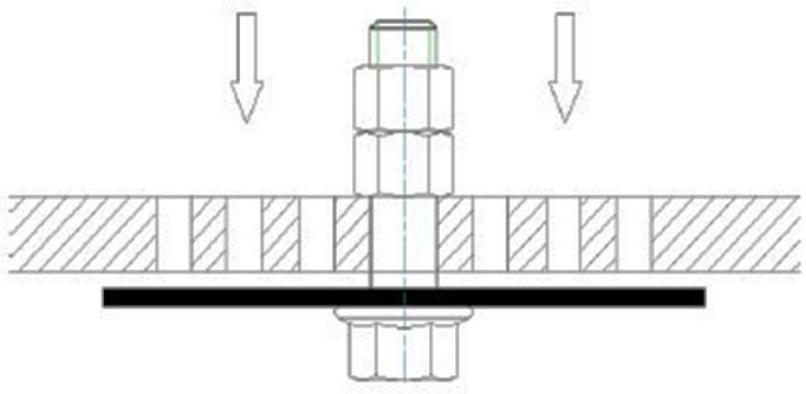
a) Elección de la válvula de impulsión

Para asegurar un funcionamiento eficiente del sistema, la válvula de impulsión debe poseer características que le permitan resistir los efectos del golpe de ariete, soportar las condiciones de flujo y los esfuerzos repetitivos generados durante la operación, además de minimizar las pérdidas de carga ocasionadas por restricciones en el paso del agua (Mataix, C., 1986).

Con la finalidad de generar el fenómeno del golpe de ariete, se propone la utilización de una válvula tipo cabezal invertido. Este elemento permite el ingreso del agua al sistema y contribuye a mantener llena la bomba durante su funcionamiento. Cuando el flujo cambia de dirección, la válvula se cierra de forma repentina, produciendo el incremento de presión necesario para el proceso de impulsión del agua.

Por otro lado, Straneo (1969) indica que, en válvulas de asiento plano, la carrera de apertura debe situarse entre el 25 % y el 33 % del diámetro de la válvula de impulsión. En tal sentido, para el presente diseño se adopta una carrera regulable entre 10 mm y 14 mm, intervalo que favorece un desempeño adecuado del mecanismo de impulsión.

Figura 45. *Válvula tipo cabezal invertida*



Nota. Adaptado de (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013).

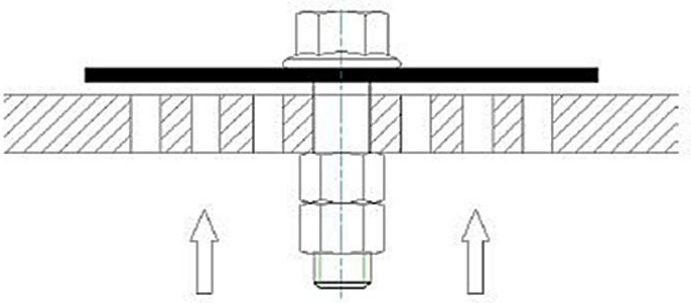
b) Elección de la válvula de descarga.

Algunos aspectos que deben considerarse para la selección de una válvula de descarga son los siguientes:

- Presentar una mínima resistencia al flujo de agua que circula a través de ella.
- Tener capacidad de reaccionar de forma rápida ante las variaciones de presión, permitiendo aperturas y cierres prácticamente instantáneos.
- Soportar cambios de presión elevados y repetitivos durante la operación del sistema.
- Garantizar un sellado hermético cuando se encuentre en posición cerrada.

Para sistemas que operan con altas cargas hidráulicas, una alternativa adecuada es la válvula tipo cabezal. Asimismo, se recomienda regular la carrera de la válvula para que realice desplazamientos reducidos, inferiores a 5 mm, con la finalidad de disminuir el reflujo y favorecer el rendimiento del sistema (Condori y Mamani, 2021).

Figura 46. *Válvula tipo cabezal*

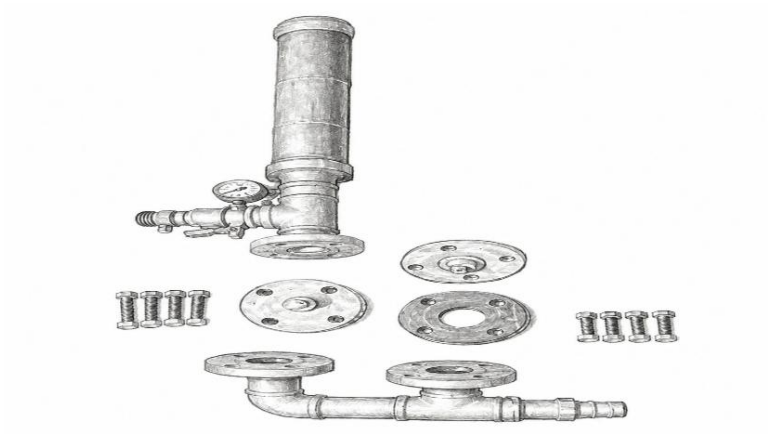


Nota. Fuente: (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013)

D. Prototipo proyectado del ariete hidráulico.

El incremento de presión en el sistema se aprovechará para dirigir el flujo hacia la cámara de aire a través de una derivación compuesta por una TEE de fierro galvanizado (F°G°) y una válvula de retención (check), la cual operará como mecanismo de descarga. Este componente evita el reflujo del agua hacia la línea de alimentación, canalizándola en su lugar hacia el depósito de almacenamiento por medio de la tubería de salida. Dicha línea de descarga se acoplará mediante una TEE de F°G° estratégicamente ubicada entre el tanque de aire y la válvula de retención, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 47. *Prototipo proyectado del ariete hidráulico.*



Nota. Elaboración propia.

- ✓ **Tanque de aire (7)**

Este componente se instala inmediatamente por encima de la válvula de descarga. En su interior se almacena aire comprimido, cuya función es amortiguar las variaciones de presión y favorecer el impulso del agua hacia el tanque de almacenamiento a través de la tubería de descarga.

a) Dimensionamiento del volumen del tanque de aire

(Galarza, R., 2013) señala que el volumen de la cámara de aire debe situarse entre 20 y 50 veces el diámetro de la tubería de impulsión. Del mismo modo, indica que un funcionamiento eficiente del ariete hidráulico se consigue cuando el nivel de agua en la cámara permanece por encima del punto de salida de la tubería de descarga. En función de estos criterios, se proponen los rangos de dimensionamiento presentados en la siguiente tabla.

Tabla 14. *Parámetros de la cámara de aire*

Parámetro	Valor
Diámetro de cámara de aire	3 Diámetro de la tubería de impulsión
Altura de cámara de aire	10 Diámetro de la tubería de impulsión

Nota. Fuente: (Galarza, R., 2013).

Con base en los criterios presentados por (Galarza, R., 2013), se determinó que el volumen requerido para el tanque de aire es de 2,32 litros. En función de este resultado, para el presente proyecto se propone utilizar un niple de fierro galvanizado (F°G°) de 3 pulgadas de diámetro y 20 pulgadas de longitud como cámara de aire.

- ✓ **Longitud de la tubería de descarga (L)**

Según (Peralta, H., 2015), el incremento de la longitud de la tubería de descarga genera mayores pérdidas de energía en el sistema. Por ello, su longitud debe guardar relación con la altura a la que se pretende elevar el agua y, además, se recomienda minimizar la cantidad de accesorios y uniones para reducir las pérdidas hidráulicas. En el presente proyecto se propone utilizar un rollo de manguera HDPE con una longitud de 100 m para la línea de descarga.

- ✓ **Altura de descarga (Hd)**

(Peralta, H., 2015), define la altura de descarga como la altura total que la bomba debe superar para impulsar el agua hasta el punto de almacenamiento. Generalmente, esta altura corresponde a la altura neta (Hn); sin embargo, para obtener un diseño más preciso, es necesario incorporar las pérdidas de carga o energía (Hf) generadas en la tubería de descarga, las cuales se estiman mediante la siguiente expresión:

$$\mathrm{Hf} = 0.1 * \mathrm{L}$$

Ecuación 20. *Ecuación para determinar la pérdida de carga o energía.*

Dónde:

Hf : Pérdida de carga o energía (m)

L : Longitud de la tubería de descarga (m)

Considerando una longitud de tubería de descarga de 100 m, se tiene:

$$\mathrm{Hf} = 0.1 * 100\mathrm{m}$$

$$\mathrm{Hf} = 10\mathrm{m}$$

Por tanto, la altura de descarga resulta de la suma entre la altura neta y las pérdidas de carga presentes en la conducción, tal como se expresa a continuación:

$$Hd = Hn + Hf$$

Ecuación 21. *Ecuación para determinar la altura de descarga.*

Dónde:

Hd: Altura de descarga (m)

Hn: Altura neta de descarga (m)

Hf: Pérdida de carga o energía (m)

Sustituyendo los valores correspondientes:

$$Hd = 30m + 10m$$

$$Hd = 40m$$

E. Adquisición y traslado de materiales a la zona de estudio

- ✓ **Componentes de las líneas de alimentación y descarga:**

Línea de alimentación: Con el objetivo de proteger la bomba de ariete contra el ingreso de partículas o sedimentos que pudieran comprometer su operatividad, se implementaron mecanismos de filtrado en la captación de la fuente. Para ello, se adquirió una válvula de pie con canastilla de 1.5” de diámetro, acoplada mediante un adaptador macho de polietileno de alta densidad (HDPE) con rosca de 50 mm x 1.5”. Asimismo, la conducción del fluido se diseñó utilizando un tramo de 20 metros de tubería de HDPE tipo PE 80 SDR 17, con un diámetro nominal de 50 mm.

Tabla 15. *Materiales requeridos para la línea de alimentación.*

Item	Descripción	Und	Metrado
1	TUBERIA HDPE DE 50 mm PE 80 SDR 17	m	50.30
2	VALVULA DE PIE CON FILTRO DE 1.5" DE DIAMETRO	UND	1.00
3	ADAPTADOR MACHO HDPE DE 50mmx1.5" DE DIAMETRO	UND	1.00

Nota. Elaboración propia.

Figura 48. *Materiales requeridos para la línea de alimentación*



Nota. Elaboración propia.

Línea de descarga: Por otro lado, el traslado del agua desde el sistema de bombeo se proyectó mediante una línea de descarga compuesta por 100 metros de tubería de polietileno de alta densidad (HDPE) tipo PE 80 SDR 17, con un diámetro de 25 mm.

Tabla 16. *Materiales para la línea de descarga*

Item	Descripción	Und	Metrado
1	TUBERIA HDPE DE 25 mm PE 80 SDR 17	m	100

Nota. Elaboración propia.

Figura 49. *Tubería HDPE DE 25 mm PE 80 SDR 17*



Nota. Elaboración propia.

- ✓ **Componentes del cuerpo de la bomba de ariete hidráulico**

Los accesorios requeridos para la estructura de la bomba de ariete se adquirieron en establecimientos comerciales locales de la provincia de Cerro

de Pasco. La relación completa y las características de estos materiales se detallan en la ilustración y el cuadro técnico presentados a continuación:

Figura 50. *Accesorios que forman parte del cuerpo de la bomba tipo ariete hidráulico.*



Nota. Elaboración propia.

Tabla 17. *Relación de los accesorios para la bomba tipo ariete hidráulico.*

N.º	MATERIALES	UNIDAD	CANT.
	BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO		
1	VÁLVULA CHECK DE IMPULSO DE 1.5"	UND	1
2	VÁLVULA CHECK DE DESCARGA DE 1.5"	UND	1
3	ADAPTADOR HDPE R/MACHO 50 MM × 1.5"	UND	2
4	VÁLVULA DE BOLA PVC DE 1.5"	UND	1
5	NIPLE DE F°G° DE 1.5" × 3"	UND	7
6	TEE DE F°G° DE 1.5"	UND	2
7	CODO DE 90° DE F°G° DE 1.5"	UND	1
8	REDUCCIÓN CAMPANA DE F°G° DE 3" A 1.5"	UND	1
9	NIPLE DE F°G° DE 1" × 3"	UND	2
10	TEE DE F°G° DE 1"	UND	1
11	VÁLVULA DE BOLA DE PVC DE 3/4"	UND	1
12	ADAPTADOR HDPE R/MACHO DE 3/4"	UND	1
13	REDUCCIÓN CAMPANA DE F°G° DE 1.5" A 3/4"	UND	1
14	NIPLE DE F°G° DE 3" × 20"	UND	1
15	MANÓMETRO DE GLICERINA DE 10 BAR	UND	1
16	TAPÓN HEMBRA DE F°G° DE 3"	UND	1
17	REDUCCIÓN BUSHING DE F°G° DE 1" × 1/2"	UND	1
18	REDUCCIÓN BUSHING DE F°G° DE 1/2" × 1/4"	UND	1
19	CINTA TEFLÓN DE 1/2"	UND	5
	LÍNEA DE ALIMENTACIÓN		
20	MANGUERA HDPE DE 50 MM	M	20
21	ADAPTADOR HDPE R/MACHO DE 50 MM × 1.5"	UND	1
22	FILTRO DE ALUMINIO DE 1.5"	UND	1
	LÍNEA DE DESCARGA		
23	MANGUERA HDPE DE 25 MM	M	100

Nota. Elaboración propia

F. Ensamblaje de la bomba de ariete hidráulico

El montaje de la bomba de ariete se ejecutó in situ mediante un procedimiento directo que consistió en la interconexión de los accesorios utilizando herramientas manuales, principalmente llaves Stillson. Adicionalmente, se aplicó cinta de teflón en los acoples roscados y las juntas de unión con el fin de garantizar un sellado hermético, previniendo de este modo caídas de presión originadas por posibles filtraciones.

Figura 51. *Ensamblaje de la bomba de ariete hidráulico.*



Nota. Elaboración propia.

G. Instalación del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico

- ✓ **Acoplamiento de la línea de conducción:** Los trabajos de instalación se iniciaron aprovechando que la estructura de almacenamiento de la fuente se encontraba sin fluido, lo cual optimizó el montaje de la línea de alimentación. Posteriormente, esta tubería se conectó al cuerpo de la bomba de ariete empleando un adaptador macho de HDPE de 1.5” x 50 mm.

Figura 52. *Instalación del sistema de bombeo hidráulico.*



Nota. Elaboración propia.

- ✓ **Fijación del equipo y tendido de descarga:** Como base de soporte para la bomba de ariete, se emplearon dos listones de madera con una sección transversal de 2” x 3”, sobre **los** cuales se aseguró el equipo utilizando alambre recocido N° 16. Acto seguido, se procedió con la instalación de la línea de descarga, constituida por 100 metros de tubería de polietileno de alta densidad (HDPE) tipo PE 80 SDR 17, con un diámetro nominal de 25 mm

Figura 53. *Tendido de la línea de descarga*



Nota. Elaboración propia.

- ✓ **Configuración para la evaluación de campo:** Con el propósito de evaluar el rendimiento y la eficiencia **operativa** de la bomba de ariete en la zona proyectada para el tanque de almacenamiento, se fijó la tubería de descarga a una estaca de sujeción ubicada a una altura de 1.00 metro sobre el nivel del terreno natural. Esta disposición permitió efectuar los ensayos correspondientes para el análisis del comportamiento hidráulico del sistema.

Figura 54. *Aseguramiento de la línea de descarga.*



Nota. Elaboración propia.

H. Puesta en marcha de la bomba de ariete hidráulico

El dimensionamiento del sistema de bombeo por ariete hidráulico se proyectó con el fin de suministrar el recurso hídrico requerido para cubrir la demanda de un cultivo de pasto asociado (ryegrass y trébol) de 0.25 hectáreas durante el periodo de estiaje. Una vez concluida la instalación de todos los componentes del sistema, se procedió con el protocolo de encendido y calibración del equipo mediante las siguientes etapas:

1. **Abastecimiento de la cámara de carga:** Se permitió el llenado previo de la estructura de almacenamiento con el volumen de agua necesario para garantizar un caudal de alimentación continuo y uniforme hacia la bomba a través de la tubería de alimentación, evitando así interrupciones operativas por desabastecimiento.

Figura 55. *Fuente de alimentación*



Nota. Elaboración propia.

2. **Aislamiento inicial del circuito:** Se cerraron por completo las válvulas esféricas integradas en el cuerpo de la bomba de ariete, correspondientes tanto a la línea de alimentación como a la de descarga.

Figura 56. *Cerrado de las válvulas*



Nota. Elaboración propia.

3. **Presurización del sistema:** Se procedió a abrir exclusivamente la válvula esférica de la línea de entrada para permitir el ingreso del flujo de alimentación. En esta fase, el ariete hidráulico inicia su ciclo de operación mecánica sin impulsar fluido hacia el almacenamiento final, manteniendo cerrada la válvula

de salida con el propósito de acumular presión en la cámara de aire hasta lograr la estabilización de la aguja del manómetro.

Figura 57. *Puesta en marcha del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico.*



Nota. Elaboración propia.

4. **Apertura de la línea de impulsión:** Tras verificar la estabilización de la lectura manométrica en una presión de trabajo de 3 bares, se realizó la apertura progresiva de la válvula esférica de 3/4” de diámetro para habilitar el paso del caudal de descarga hacia el punto de destino.

Figura 58. *Verificación de la presión de trabajo*



Nota. Elaboración propia.

Figura 59. *Apertura de la válvula que permite el paso del caudal de descarga*



Nota. Elaboración propia.

5. **Calibración y evaluación de rendimiento:** Con el sistema en régimen de operación continua, se efectuaron las evaluaciones de campo pertinentes, regulando la válvula de impulsión para situar al equipo en su punto de máxima eficiencia hidráulica.

Figura 60. *Llegada de caudal de descarga*



Nota. Elaboración propia

6. **Aforo del caudal de la fuente (manantial):** Para cuantificar el aporte de agua desde el manantial hacia la cámara de carga, se aplicó el método volumétrico de medición directa utilizando un recipiente graduado de 10 litros. El ensayo

se llevó a cabo el 15 de septiembre de 2024, registrando los valores detallados en la Tabla 18:

Tabla 18. *Aforo del caudal del manantial.*

Volumen	Tiempo de Llenado	Caudal (l/s)
V (l)	T (s)	Q=V/T
10	11.27	0.89
10	11.23	0.89
10	11.28	0.89
10	11.19	0.89
10	11.24	0.89
	PROMEDIO=	**0.89**

Nota. Elaboración propia

I. Evaluación de la bomba de ariete hidráulico

Durante el periodo de operación del sistema, se determinó el caudal de descarga en el punto proyectado para el almacenamiento mediante el método volumétrico, utilizando un recipiente graduado de 10 litros y un cronómetro digital. Las condiciones de diseño y los parámetros geométricos del sistema de bombeo evaluado se resumen a continuación:

- Longitud de la tubería de alimentación: 20.00 m
- Diámetro nominal de la tubería de alimentación: 50 mm
- Altura de carga o alimentación (H): 10.00 m
- Longitud de la tubería de descarga: 100.00 m

Con el propósito de optimizar la eficiencia hidráulica, se realizaron modificaciones experimentales en la carrera de la válvula de impulso (obturador), lo que permitió evaluar el comportamiento del equipo ante diferentes frecuencias de golpe por minuto.

✓ **Primera Evaluación.**

Para este primer ensayo, se calibró la válvula de impulsión con una carrera de apertura de 14 mm, lo que fijó una frecuencia operativa de 60 golpes por minuto.

Figura 61. *A la izquierda se observa la válvula de impulsión a una apertura de 14 mm y a la derecha la bomba de ariete en funcionamiento (primera evaluación).*



Nota. Elaboración propia

a. Aforo del caudal de descarga

Establecidos los parámetros de calibración anteriores (carrera de 14 mm y 60 golpes/min), se midió el caudal impulsado por el ariete hacia una altura dinámica total de descarga de 30 metros. Los datos obtenidos en las réplicas se consolidan en la Tabla 19:

Tabla 19. *Parámetros operativos y aforo del caudal de descarga (60 golpes/min).*

Carrera de la válvula de impulsión	: **14mm**
Velocidad de golpes de la válvula de impulsión	: 60 golpes/min
Altura de alimentación	: 10 m
Long. Tub. de alimentación	: 20 m
Diámetro de tub. De alimentación	: 50 mm
Altura de descarga	: 30 m
Diámetro de tub. De descarga	: 25 mm
Long. Tub. de descarga	: 100 m

N°	**Volumen**	**Tiempo**	**Caudal de Descarga**
	V (l)	**(s)**	**(l/s)**
1	10	67.47	0.15
2	10	67.45	0.15
3	10	67.48	0.15
4	10	67.47	0.15
5	10	67.46	0.15
		PROMEDIO=	**0.15**

Nota. Elaboración propia

Figura 62*. Medicion del caudal de descarga a un ritmo de 60 golpes de ariete en un minuto*



Nota. Elaboración propia.

b. Cálculo del Caudal de alimentación

El caudal de alimentación efectivo (Q) que ingresa al dispositivo se determinó mediante el principio de continuidad, restando el caudal de rebose o desperdicio (Qr) al caudal total aportado por el manantial (Qm). Previamente, se efectuó el aforo volumétrico del agua de rebose, obteniendo los valores registrados en la Tabla 20:

Tabla 20. *Aforo del caudal de rebose (primera evaluación)*

N°	Volumen	Tiempo	Caudal de Rebose (Qr)
	V (l)	(s)	(l/s)
1	10	199.77	0.05
2	10	199.73	0.05
3	10	199.78	0.05
4	10	199.69	0.05
5	10	199.74	0.05
		PROMEDIO=	**0.05**

Nota. Elaboración propia.

$$Q=Qm-Qr$$

Ecuación 22. *Caudal de rebose*

Donde:

- Q : caudal de alimentación (l/s)
- Qm : caudal del manantial (l/s)
- Qr : caudal de rebose (l/s)

$$\mathbf{Q=0.89-0.05=0.84\ l/s}$$

✓ **Segunda Evaluación.**

Para el segundo ensayo experimental, el ariete hidráulico se configuró reduciendo la carrera de la válvula de impulsión a una apertura de 12 mm. Esta modificación generó un incremento en la frecuencia operativa, registrando un ritmo continuo de 70 golpes por minuto.

Figura 63. *A la izquierda se observa la válvula de impulsión a una apertura de 12 mm y a la derecha la bomba de ariete en funcionamiento (segunda evaluación).*



Nota. Elaboración propia.

a. Medición del caudal de descarga

Bajo las nuevas condiciones operativas (carrera de 12 mm y frecuencia de 70 golpes/min), se determinó volumétricamente el caudal impulsado hacia la misma altura dinámica de descarga (30 metros). Las especificaciones del ensayo y las lecturas obtenidas en las réplicas se consolidan en la Tabla 21:

Tabla 21. *Parámetros operativos y aforo del caudal de descarga (70 golpes/min).*

Carrera de la válvula de impulsión	: **12mm**
Velocidad de golpes de la válvula de impulsión	: 70 golpes/min
Altura de alimentación	: 10 m
Long. Tub. de alimentación	: 20 m
Diámetro de tub. De alimentación	: 50 mm
Altura de descarga	: 30 m
Diámetro de tub. De descarga	: 25 mm
Long. Tub. de descarga	: 100 m

N°	**Volumen**	**Tiempo**	**Caudal de Descarga**
	V (l)	**(s)**	**(l/s)**
1	10	83.27	0.12
2	10	83.25	0.12
3	10	83.28	0.12
4	10	83.25	0.12
5	10	83.26	0.12
		PROMEDIO=	**0.12**

Nota. Elaboración propia.

Figura 64. *Medición del caudal de descarga a un ritmo de 70 golpes de ariete en un minuto*



Nota. Elaboración propia.

b. Cálculo del Caudal de alimentación

El caudal de alimentación (Q) correspondiente a esta segunda configuración se evaluó mediante balance hídrico, restando el caudal de rebose (Qr) del caudal total disponible proveniente del manantial (Qm). Previamente, se determinó el volumen de desperdicio de la válvula mediante aforo volumétrico directo, obteniendo los resultados que se presentan en la Tabla 22:

Tabla 22. *Aforo del caudal de rebose (segunda evaluación)*

N°	Volumen	Tiempo	Caudal de Rebose (Qr)
	V (l)	(s)	(l/s)
1	10	36.97	0.27
2	10	36.96	0.27
3	10	36.98	0.27
4	10	36.95	0.27
5	10	36.96	0.27
		PROMEDIO=	**0.27**

Nota. Elaboración propia.

$$Q=Qm-Qr$$

Ecuación 23. *Caudal de rebose*

Donde:

- Q : caudal de alimentación (l/s)
- Qm : caudal del manantial (l/s)
- Qr : caudal de rebose (l/s)

$$\mathbf{Q=0.89-0.27=0.62\ l/s}$$

✓ **Tercera evaluación**

En este tercer ensayo, el ariete hidráulico se evaluó reduciendo la carrera de la válvula de impulsión a una apertura de 10 mm. Dicha calibración provocó un incremento en la velocidad cíclica del equipo, alcanzando un régimen operativo de 80 golpes por minuto.

Figura 65. *A la izquierda se observa la válvula de impulsión a una apertura de 10 mm y a la derecha la bomba de ariete en funcionamiento (tercera evaluación).*



Nota. Elaboración propia.

a. Medición del caudal de descarga

Establecidas las nuevas variables de operación (carrera de 10 mm y frecuencia de 80 golpes/min), se procedió a medir volumétricamente el caudal de descarga impulsado hacia la altura dinámica total establecida de 30 metros. Los parámetros fijos del sistema y las lecturas cronometradas correspondientes a las cinco réplicas se detallan en la Tabla 23:

Tabla 23. *Parámetros operativos y aforo del caudal de descarga (80 golpes/min).*

Carrera de la válvula de impulsión	: **10mm**
Velocidad de golpes de la válvula de impulsión	: 80 golpes/min
Altura de alimentación	: 10 m
Long. Tub. de alimentación	: 20 m
Diámetro de tub. De alimentación	: 50 mm
Altura de descarga	: 30 m
Diámetro de tub. De descarga	: 25 mm
Long. Tub. de descarga	: 100 m

N°	**Volumen**	**Tiempo**	**Caudal de Descarga**
	V (l)	**(s)**	**(l/s)**
1	10	110.47	0.09
2	10	110.43	0.09
3	10	110.48	0.09
4	10	110.39	0.09
5	10	110.44	0.09
		PROMEDIO=	**0.09**

Nota. Elaboración propia.

Figura 66. *Medición del caudal de descarga a un ritmo de 80 golpes de ariete en un minuto*



Nota. Elaboración propia.

b. Cálculo del Caudal de alimentación

El caudal de alimentación (Q) procesado por el dispositivo se dedujo aplicando el principio de balance de masas, restando el caudal de rebose o desecho de la válvula (Q_r) al caudal total constante provisto por el manantial (Q_m). Previamente, se determinó el volumen de pérdida mediante aforo volumétrico directo, registrando los datos consolidados en la Tabla 24:

Tabla 24. *Aforo del caudal de rebose (tercera evaluación)*

N°	Volumen	Tiempo	Caudal de Rebose (Qr)
	V (l)	(s)	(l/s)
1	10	21.74	0.46
2	10	21.75	0.46
3	10	21.76	0.46
4	10	21.74	0.46
5	10	21.75	0.46
		PROMEDIO=	**0.46**

Nota. Elaboración propia.

$$Q=Qm-Qr$$

Ecuación 24. *Caudal de rebose*

Donde:

- Q : caudal de alimentación (l/s)
- Qm : caudal del manantial (l/s)
- Qr : caudal de rebose (l/s)

Q=0.89-0.46=0.43 l/s

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

El sistema de bombeo tipo ariete hidráulico fue diseñado para satisfacer una demanda hídrica neta de 0.14 L/s, destinada al riego de un cultivo de pasto asociado compuesto por ryegrass y trébol, establecido en una superficie de 0.25 hectáreas. Asimismo, para la implementación del sistema se consideró el empleo de materiales y accesorios disponibles comercialmente en las ferreterías próximas al área de estudio, priorizando aquellos que permiten una instalación sencilla y que no requieren mano de obra especializada.

Las características hidráulicas del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico, mantenidas constantes en todos los escenarios de evaluación, fueron las siguientes:

- Longitud de la tubería de alimentación : 20 m
- Diámetro de la tubería de alimentación : 50 mm
- Altura de alimentación : 10 m
- Longitud de tubería de descarga : 100.00 m
- Altura de descarga : 30 m
- Diámetro de tubería de descarga : 25 mm

Por otra parte, mediante la regulación de la carrera de la válvula de impulsión se establecieron tres condiciones de funcionamiento del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico. En cada una de estas condiciones se realizaron las evaluaciones correspondientes y se determinó la eficiencia operativa de la bomba, con el propósito de analizar su desempeño bajo diferentes configuraciones de operación.

A. Eficiencia de la bomba de ariete hidráulico

✓ Primera evaluación.

Durante la primera evaluación se determinaron el caudal de descarga impulsado hacia el tanque de almacenamiento y el caudal de alimentación del sistema mientras la bomba de ariete hidráulico operaba de manera estable. En esta condición, la válvula de impulsión registró una frecuencia de 60 golpes por minuto. La eficiencia del sistema se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{q * Hd}{Q * Ha} * 100$$

Ecuación 25. *Eficiencia para la primera evaluación.*

A partir de los datos obtenidos experimentalmente se tienen los siguientes valores:

q = 0.15 l/s

Hd = 30 m

Q = 0.84 l/s

Ha = 10 m

Sustituyendo los valores en la ecuación:

$$\eta = \frac{0.15 * 30}{0.84 * 10} * 100$$

$$\eta = 53.57\%$$

Por consiguiente, la eficiencia obtenida para la primera condición de funcionamiento fue de 53.57 %.

✓ **Segunda evaluación.**

En la segunda evaluación se realizaron nuevamente las mediciones del caudal impulsado hacia el tanque de almacenamiento y del caudal de alimentación, manteniendo la bomba en condiciones normales de operación. En este escenario, la válvula de impulsión trabajó a una frecuencia de 70 golpes por minuto. La eficiencia del sistema fue determinada mediante la misma expresión matemática.

$$\eta = \frac{q * Hd}{Q * Ha} * 100$$

Ecuación 26. *Eficiencia para la segunda evaluación.*

Los valores registrados fueron los siguientes:

q = 0.12 l/s

Hd = 30 m

Q = 0.62 l/s

Ha = 10 m

Reemplazando los datos en la ecuación:

$$\eta = \frac{0.12 * 30}{0.62 * 10} * 100$$

$$\eta = 58.06\%$$

En consecuencia, la eficiencia alcanzada durante la segunda evaluación fue de 58.06 %.

✓ **Tercera evaluación.**

Durante la tercera evaluación, con la bomba de ariete operando continuamente a una frecuencia de 80 golpes por minuto en la válvula de impulsión, se registraron tanto el caudal de rebose como el de elevación hacia

el tanque de almacenamiento. Posteriormente, el rendimiento del sistema se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{q * Hd}{Q * Ha} * 100$$

Ecuación 27. *Eficiencia para la tercera evaluación.*

Los resultados obtenidos fueron:

q = 0.09 l/s

Hd = 30 m

Q = 0.43 l/s

Ha = 10 m

Sustituyendo los valores correspondientes:

$$\eta = \frac{0.09 * 30}{0.43 * 10} * 100$$

$$\eta = 62.79\%$$

Por lo tanto, la eficiencia registrada en la tercera condición de operación fue de 62.79 %, constituyéndose como el valor más alto de las tres evaluaciones efectuadas.

B. Comportamiento y operación de la bomba de ariete hidráulico

En la Tabla 25 se presenta un resumen de los datos obtenidos durante las pruebas de campo realizadas al sistema de bombeo tipo ariete hidráulico. En ella se consignan los valores correspondientes al caudal de alimentación, caudal de descarga y las condiciones hidráulicas evaluadas en los tres escenarios de funcionamiento considerados en la investigación.

Tabla 25. *Resumen de los datos recopilados en los ensayos de campo.*

N° Escenario	Golpes por minuto	Caudal de alimentación "Q" (l/s)	Caudal de descarga "q" (l/s)	Altura de alimentación "H" (m)	Altura de descarga "h" (m)
1	60	0.84	0.15	10	30
2	70	0.62	0.12	10	30
3	80	0.43	0.09	10	30

Nota. Elaboración propia.

A partir de los datos registrados y presentados en la Tabla 25, se procedió a determinar la eficiencia y la eficacia de la bomba de ariete hidráulico. En este contexto, la eficacia se encuentra representada por el caudal de descarga efectivamente impulsado hacia el tanque de almacenamiento. Los resultados obtenidos para ambos indicadores se muestran en la Tabla 26.

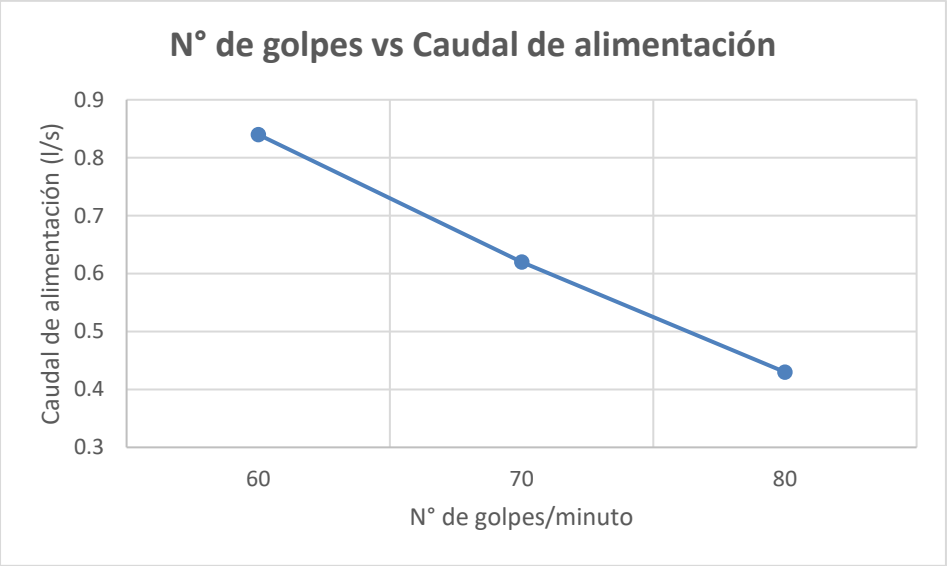
Tabla 26. *Valores de eficiencia y eficacia logrados para la bomba de ariete hidráulico.*

N° de escenario	Golpes/minuto	Eficiencia (%)	Eficacia (l/s)
1	60	53.57	0.15
2	70	58.06	0.12
3	80	62.79	0.09

Nota. Elaboración propia.

Con base en la información recopilada durante las pruebas de campo, se elaboraron las principales gráficas de comportamiento hidráulico de la bomba de ariete. Dichas representaciones gráficas permiten analizar la relación existente entre las variables operativas evaluadas y comprender el desempeño del sistema bajo diferentes condiciones de funcionamiento.

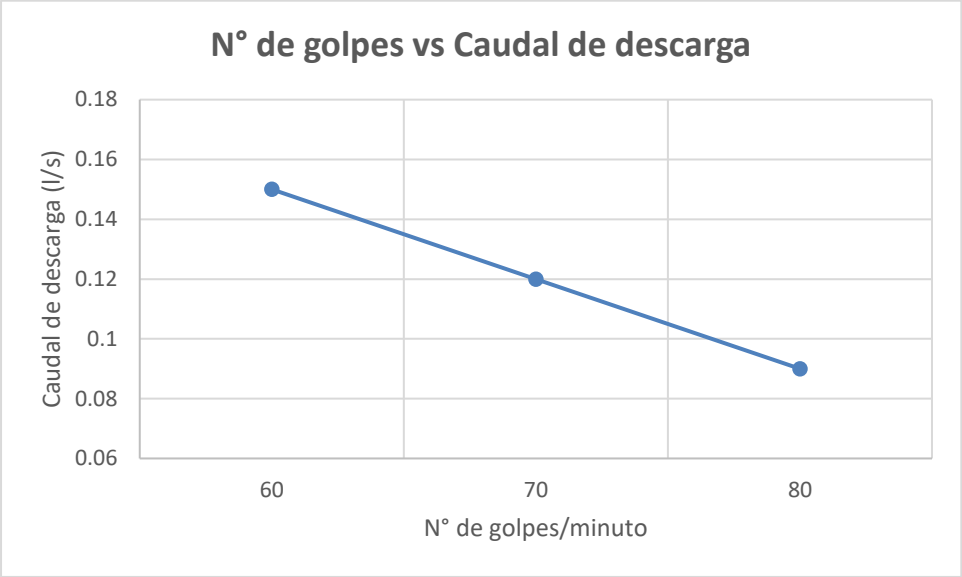
Figura 67. *N° de golpes/minuto Vs. Caudal de alimentación.*



Nota. Elaboración propia.

La tendencia obtenida en la Figura 67 demuestra la existencia de una relación inversamente proporcional entre las variables evaluadas; es decir, a medida que se incrementa la frecuencia de golpes por minuto en la válvula de impulsión, la bomba demanda un menor volumen de agua o caudal de alimentación para mantener su ciclo mecánico.

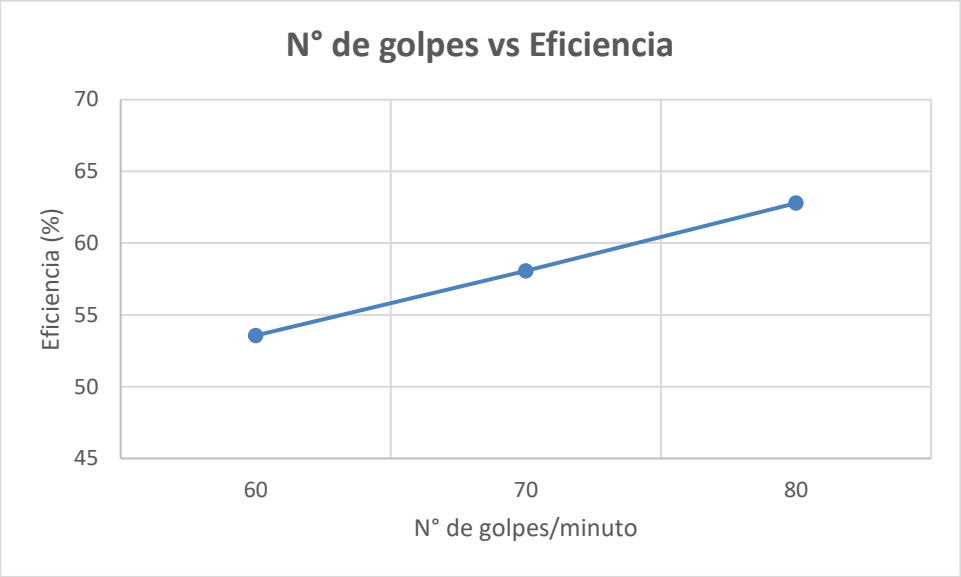
Figura 68. *N° de golpes/minuto Vs. Caudal de descarga.*



Nota. Elaboración propia.

Los resultados mostrados en la Figura 68 permiten observar que existe una relación inversamente proporcional entre el número de golpes de ariete por minuto y el caudal de descarga. Conforme se incrementa la frecuencia de golpeo, el caudal impulsado disminuye progresivamente; mientras que una menor frecuencia de operación favorece la elevación de mayores volúmenes de agua. Este comportamiento refleja la influencia de la regulación de la válvula de impulsión sobre el rendimiento hidráulico del sistema.

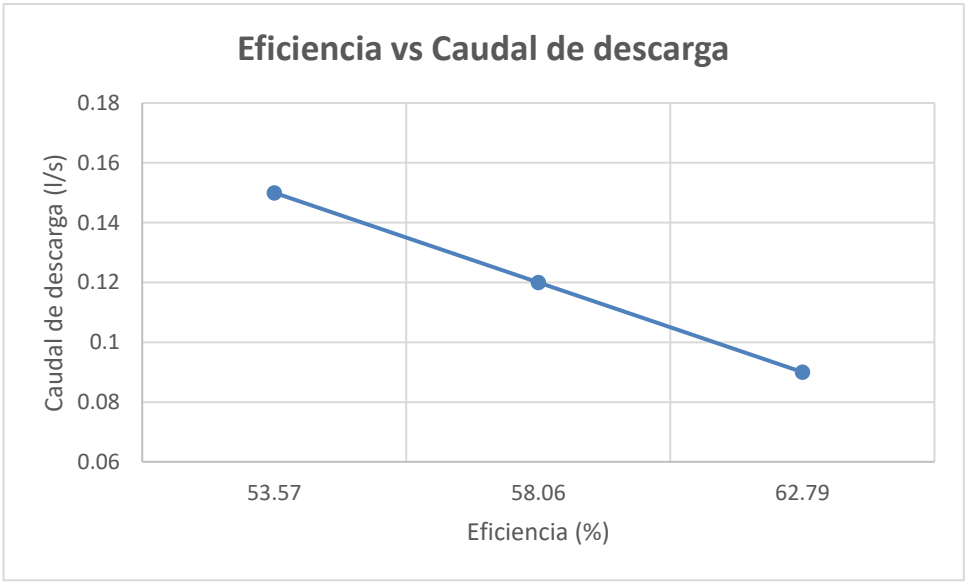
Figura 69. *N° de golpes/minuto Vs. Eficiencia de la Bomba de ariete.*



Nota. Elaboración propia.

De la Figura 69, se observa que el rendimiento de la bomba de ariete es directamente proporcional a la velocidad de su ciclo. Esto significa que el equipo alcanza sus niveles de eficiencia hidráulica más elevados cuando opera en sus rangos superiores de golpes por minuto.

Figura 70. *Eficiencia de la Bomba de ariete Vs. Caudal de descarga.*



Nota. Elaboración propia

El análisis de la Figura 70 contrapone las variables de rendimiento y volumen útil entregado. Se determina que la máxima eficiencia del dispositivo se produce bajo regímenes de alta frecuencia cíclica, escenario en el cual el caudal de descarga se reduce. En contraposición, si se reduce la frecuencia operativa, la bomba incrementa de forma notable el caudal efectivo de entrega a costa de una disminución en su eficiencia mecánica global.

C. Configuración final de la bomba hidráulica de ariete

El sistema de bombeo tipo ariete hidráulico fue instalado y ajustado de manera definitiva en los terrenos agrícolas del señor Teodoro Mendoza Fuster, con el propósito de satisfacer los requerimientos hídricos necesarios para el riego de 0.25 hectáreas de pastos asociados, conformados por ryegrass y trébol. Considerando las condiciones más críticas de disponibilidad de agua durante el periodo de estiaje correspondiente al mes de septiembre, se determinó técnicamente una demanda neta de diseño de 0.14 l/s para el cultivo evaluado.

Sobre la base de los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento y calibración, se estableció como configuración óptima la regulación de la válvula de impulsión con una carrera de 14 mm, condición que permitió estabilizar el sistema en una frecuencia de operación de 60 golpes por minuto. Bajo este régimen de trabajo, la bomba alcanzó un caudal efectivo de descarga de 0.15 l/s. En consecuencia, dicho caudal supera la demanda hídrica calculada para el área de cultivo, garantizando una cobertura adecuada y sostenida de los requerimientos de riego durante la época de mayor escasez del recurso hídrico.

D. Costo de diseño e instalación del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico.

✓ Costo de estudio topográfico.

Debido a la necesidad de conocer con precisión las características físicas del área de intervención donde se implementó el sistema de bombeo tipo ariete hidráulico, fue indispensable realizar previamente un levantamiento topográfico. Esta actividad permitió identificar las condiciones geométricas y altimétricas del terreno, incluyendo la ubicación de la fuente de abastecimiento, la cota correspondiente al tanque de almacenamiento y el emplazamiento más conveniente para la instalación del sistema. A partir de la información obtenida se desarrolló el diseño técnico del sistema de bombeo.

Para la ejecución de dicho estudio fue necesario alquilar equipos topográficos especializados, entre los cuales se incluyeron: Estación total, Prismas, GPS diferencial

El costo correspondiente al alquiler de estos equipos ascendió a S/. 220.00 por una jornada de trabajo.

✓ Costo de materiales

Los materiales, accesorios e insumos requeridos para la instalación del sistema de bombeo diseñado fueron adquiridos en establecimientos comerciales cercanos al área de estudio, principalmente en ferreterías ubicadas en la provincia de Pasco.

La inversión total destinada a la adquisición de los accesorios e insumos necesarios para la implementación del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico fue de S/. 930.50 soles.

Tabla 27. *Costos de materiales*

N.º	MATERIALES	UNIDAD	CANT.	P.U.	PARCIAL
1	Válvula check de impulso 1.5"	UND	1	S/ 100.00	S/ 100.00
2	Válvula check de descarga 1.5"	UND	1	S/ 120.00	S/ 120.00
3	Adaptador HDPE R/macho 50 mm × 1.5"	UND	2	S/ 18.00	S/ 36.00
4	Válvula de bola PVC 1.5"	UND	1	S/ 50.00	S/ 50.00
5	Niple de F°G° 1.5" × 3"	UND	7	S/ 4.50	S/ 31.50
6	Tee de F°G° 1.5"	UND	2	S/ 10.50	S/ 21.00
7	Codo de 90° de F°G° de 1.5"	UND	1	S/ 9.00	S/ 9.00
8	Reducción campana de F°G° 3" a 1.5"	UND	1	S/ 36.00	S/ 36.00
9	Niple de F°G° 1" × 3"	UND	2	S/ 4.50	S/ 9.00
10	Tee de F°G° 1"	UND	1	S/ 9.00	S/ 9.00
11	Válvula de bola de PVC 3/4"	UND	1	S/ 8.50	S/ 8.50
12	Adaptador HDPE R/macho 3/4"	UND	1	S/ 8.00	S/ 8.00
13	Reducción campana de F°G° de 1.5" a 3/4"	UND	1	S/ 15.00	S/ 15.00
14	Niple de F°G° 3" × 20"	UND	1	S/ 80.00	S/ 80.00
15	Manómetro de glicerina de 10 bar	UND	1	S/ 50.00	S/ 50.00
16	Tapón hembra de F°G° 3"	UND	1	S/ 35.00	S/ 35.00
17	Reducción bushing de F°G° de 1" × 1/2"	UND	1	S/ 3.50	S/ 3.50
18	Reducción bushing de F°G° de 1/2" × 1/4"	UND	1	S/ 3.00	S/ 3.00
19	Cinta teflón 1/2"	UND	5	S/ 4.00	S/ 20.00
	LÍNEA DE ALIMENTACIÓN				
20	Manguera HDPE 50 mm	M	20	S/ 5.00	S/ 100.00
21	Adaptador HDPE R/macho 50 mm × 1.5"	UND	1	S/ 16.00	S/ 16.00
22	Filtro de aluminio 1.5"	UND	1	S/ 50.00	S/ 50.00
	LÍNEA DE DESCARGA				
23	Manguera HDPE 25 mm	M	100	S/ 1.20	S/ 120.00
				TOTAL	**S/ 930.50**

Nota. Elaboración propia.

- ✓ **Costo de mano de obra**

El costo de mano de obra comprende las actividades desarrolladas por los tesistas durante el proceso de ensamblaje e instalación de la bomba de ariete hidráulico, así como las labores de limpieza y acondicionamiento de la fuente de abastecimiento de agua. Estas actividades fueron ejecutadas en una jornada de trabajo de ocho horas.

Adicionalmente, se consideró el uso de herramientas manuales necesarias para la instalación del sistema, cuyo valor se estimó en el 5.00 % del costo de mano de obra. Dichas herramientas corresponden a implementos de uso común, frecuentemente disponibles en los hogares y utilizados de manera habitual por los pobladores rurales del caserío de Canchapunque. Entre las

principales herramientas empleadas se encuentran la lampa, el pico, el alicate y la llave Stilson.

Tabla 28. *Costos de mano de obra en el ensamblaje del ariete hidráulico.*

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	P.U.	PARCIAL
MONTAJE E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO TIPO ARIETE HIDRÁULICO				
BACHILLERES EN ING. AMBIENTAL	HH	8	S/ 10.00	S/ 80.00
HERRAMIENTAS MANUALES (5 % MO)	%	5	S/ 80.00	S/ 4.00
			TOTAL	**S/ 84.00**

Nota. Elaboración propia.

- ✓ **Costo de flete terrestre**

Para el traslado de las tuberías de HDPE y demás materiales requeridos hacia el área de estudio, fue necesario contratar un servicio de transporte terrestre. Como resultado, el costo correspondiente al flete ascendió a S/. 100.00.

- ✓ **Costo total**

La inversión total requerida para la implementación e instalación del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico se resume en la Tabla 29, donde se consolidan los costos asociados al estudio topográfico, adquisición de materiales e insumos, mano de obra y transporte.

Tabla 29. *Costos de inversión en la instalación del sistema de ariete hidráulico*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	COSTO
1	COSTO DE ESTUDIO TOPOGRÁFICO	S/ 200.00
2	COSTO DE MATERIALES E INSUMOS	S/ 930.50
3	COSTO DE MANO DE OBRA	S/ 84.00
4	COSTO DE FLETE TERRESTRE	S/ 100.00
	TOTAL	**S/ 1,314.50**

Nota. Elaboración propia.

E. Costo de mantenimiento anual

Con el propósito de garantizar el adecuado funcionamiento y prolongar la vida útil del sistema, se estableció la realización de actividades de mantenimiento

preventivo tres veces al año, con una periodicidad aproximada de cuatro meses entre cada intervención.

Para la estimación del costo anual de mantenimiento de la bomba de ariete hidráulico se consideraron los principales requerimientos operativos asociados a las labores de inspección, limpieza, ajuste y reposición de componentes necesarios para conservar el desempeño óptimo del sistema. Los costos correspondientes se presentan en la Tabla 30.

Tabla 30. *Costos de mantenimiento de la bomba tipo ariete hidráulico.*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	N.º VECES	COSTO	PARCIAL
1	MANTENIMIENTO DE UNIONES Y ACCESORIOS	3	S/ 10.00	S/ 30.00
2	LIMPIEZA DE ACCESORIOS	3	S/ 5.00	S/ 15.00
3	GASTOS COMPLEMENTARIOS	3	S/ 20.00	S/ 60.00
			TOTAL	**S/ 105.00**

Nota. Elaboración propia.

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Prueba de hipótesis general

Se acepta la hipótesis general, debido a que el sistema de bombeo tipo ariete hidráulico alcanzó una eficiencia de 53.57% y un caudal de descarga de 0.15 L/s, valor que supera la demanda hídrica requerida de 0.14 L/s. En consecuencia, el sistema cumple con el abastecimiento de agua de riego en condiciones reales de operación, evidenciando su efectividad.

4.3.2. Prueba de hipótesis específicas

- **La hipótesis 01:** Se acepta la hipótesis específica 1, ya que el caudal disponible del manantial en época de estiaje fue de 0.89 L/s, valor superior al caudal de alimentación requerido por el sistema (0.84 L/s) y a la demanda hídrica del cultivo (0.14 L/s), garantizando la disponibilidad del recurso para el abastecimiento de agua de riego.

- **La hipótesis 02:** Se acepta la hipótesis específica 2, debido a que el funcionamiento del sistema depende de parámetros como la altura de alimentación (10 m), altura de descarga (30 m), caudal de alimentación (0.84 L/s) y caudal de descarga (0.15 L/s), así como de las condiciones topográficas y características de los materiales, los cuales influyen directamente en el desempeño del sistema.
- **La hipótesis 03:** Se acepta la hipótesis específica 3, evidenciándose que la eficiencia del sistema varía en función de la carrera de la válvula de impulsión. Se observó que una menor frecuencia de golpes de ariete, asociada a un cierre más lento de la válvula, incrementa las pérdidas de agua y reduce el rendimiento del sistema.

4.4. Discusión de resultados

A. Sobre el diseño general del sistema de bombeo

La configuracíón del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico está condicionada por la topografía del terreno y los requerimientos hídricos del proyecto. En este estudio, la fase inicial contempló un reconocimiento de campo para delimitar las 0.25 ha de cultivo, identificar el pasto asociado (ryegrass y trébol) y georreferenciar la fuente hídrica. El levantamiento topográfico detallado (empleando GPS, nivel de ingeniero y cinta métrica) permitió trazar la ruta óptima de la línea de alimentación, la ubicación del ariete, la trayectoria de la línea de impulsión y la ubicación del reservorio elevado.

Para el posicionamiento del equipo se aprovechó un desnivel estratégico de 10.00 m desde la captación hasta la base de la bomba. Al fijar el ingreso al tanque de almacenamiento a 1.00 m sobre el nivel del terreno, se consolidó una altura dinámica total de descarga (h) de 30.00 m, configurando una relación de 1:3

respecto a la altura de alimentación (H = 10.00 m). Este escenario técnico valida el criterio de (Watt, S. B., 1975), quien estipula que la altura de carga debe oscilar entre 1.00 m y 12.00 m, guardando proporcionalidad con la altura de elevación. Las conducciones principales se dimensionaron en 20.00 m para la línea de alimentación y 100.00 m para la línea de impulsión.

El dimensionamiento de los componentes se rigió por la demanda hídrica máxima del cultivo durante el mes de septiembre, estimada en 0.14 l/s. Asumiendo una eficiencia nominal teórica del 50% para el equipo, se determinó mediante balance de masas que el caudal de alimentación requerido era de 0.84 l/s. Con este flujo de diseño y aplicando la ecuación de Bondschu, se calculó un diámetro nominal de 50 mm para la tubería de entrada.

La selección del material de alimentación priorizó la resistencia a las sobrepresiones transitorias causadas por el golpe de ariete, elemento indispensable para el cierre abrupto de la válvula de impulsión. Bajo criterios de viabilidad económica, durabilidad frente al clima frígido de la zona y flexibilidad de instalación superficial, se optó por polietileno de alta densidad (HDPE) PE80 SDR 17 de 50 mm. Las dimensiones de este conducto determinaron el diámetro del cuerpo de la bomba en 1.5", minimizando pérdidas por singularidades hidráulicas. Asimismo, se adoptó el criterio de (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013), empleando en la línea de impulsión un diámetro de 25 mm (HDPE), equivalente a la mitad del diámetro de la tubería de alimentación.

B. Sobre la estructura del cuerpo de una bomba de ariete hidráulico

Una vez establecidos los parámetros hidráulicos de las líneas de conducción, se diseñaron los subcomponentes del ariete. El cuerpo principal se proyectó en 1.5" para garantizar la continuidad del flujo, empleando accesorios roscados de fierro

galvanizado, acero y PVC que aseguran rigidez estructural. En el punto de acoplamiento se integró una válvula de bola de 1.5" para facilitar los protocolos de encendido, parada y mantenimiento preventivo.

La válvula de impulsión (obturador), pieza clave en la frecuencia de ciclos del sistema, consistió en una válvula check de bridas de 1.5" de acero, modificada estructuralmente para permitir carreras ajustables entre 10 mm y 14 mm. Por su parte, la válvula de descarga (antirretorno) se seleccionó en las mismas dimensiones (1.5"), limitando su carrera a desplazamientos inferiores a 5.00 mm para neutralizar el flujo de retorno hacia la cámara de impulsión, de acuerdo con las recomendaciones de Condori y Mamani (2021).

El tanque de aire se dimensionó para mitigar las ondas de sobrepresión y transferir la energía cinética al flujo de descarga. Los cálculos indicaron una presión de diseño de 50 m.c.a. (suma de los 40 m.c.a. por el transitorio dinámico y 10 m.c.a. de presión hidrodinámica base). Aplicando la metodología de (Galarza, R., 2013), se estableció un volumen óptimo de 2.32 litros, materializado mediante un niple de fierro galvanizado de 3" de diámetro y 20" de longitud. La convergencia entre estas especificaciones y los antecedentes científicos ratifica la confiabilidad y vida útil proyectada para el prototipo.

C. Sobre el ensamblaje de la bomba de ariete hidráulico

El montaje de la estructura se realizó de manera directa in situ utilizando herramientas convencionales (llaves Stillson) y siguiendo la ingeniería del plano de diseño. La selección de uniones roscadas agiliza futuros trabajos de desmontaje y sustitución de piezas. Para garantizar la estanqueidad ante los regímenes de presión interna y evitar caídas drásticas de presión por microfiltraciones, todas las

interfases roscadas fueron selladas herméticamente con cinta de teflón de alta densidad.

D. Sobre la implementación del sistema en campo

La instalación definitiva se ejecutó en el caserío de Canchapunque (Goyllarisquizga, Pasco), específicamente en los terrenos del Sr. Teodoro Mendoza Fuster. El conjunto operativo constó de:

- ✓ Una cámara de carga artificial (captación de 5.00 x 1.00 x 1.00 m) para regular el volumen de almacenamiento temporal.
- ✓ Una línea de alimentación superficial de HDPE PE80 SDR 17 de 50 mm (L = 20.00 m) equipada con una canastilla de succión en el origen para evitar la intrusión de sedimentos.
- ✓ Un anclaje rígido para el ariete mediante varillas de acero corrugado N.° 12, interconectado a las líneas de alimentación e impulsión.
- ✓ Una línea de impulsión de HDPE de 25 mm y 100.00 m de longitud orientada hacia el reservorio.

Esta configuración transformó de manera eficiente la energía potencial del salto hidráulico (10.00 m) en energía de presión, haciendo viable la elevación del recurso hídrico hasta la cota del reservorio (30.00 m).

E. Sobre la prueba en campo y validación del modelo

Los ensayos experimentales permitieron contrastar los modelos teóricos con el comportamiento real del sistema. El equipo operó de forma continua durante un periodo de evaluación de 3 horas, estabilizando una presión de trabajo de 3 bares (30 m.c.a.) en la cámara de aire sin evidenciar fallas estructurales ni pérdidas por filtración. Cabe destacar que la tubería de alimentación seleccionada posee una

resistencia nominal de 8 MPa (80 bares), excediendo con un amplio margen de seguridad las solicitaciones mecánicas reales del proyecto (Pavco, 2024).

El análisis multiescenario, basado en la variación de la carrera del obturador, reveló la influencia de la frecuencia de golpeo sobre el rendimiento hidráulico. El sistema registró una eficiencia mínima de 53.57% a un régimen de 60 golpes/min y una eficiencia máxima de 62.79% a 80 golpes/min.

No obstante, el primer escenario (60 golpes/min, carrera de 14 mm) se consolidó como la configuración óptima para el proyecto, ya que alcanzó un caudal efectivo de descarga de 0.15 l/s. Aunque este régimen representa la menor eficiencia porcentual, maximiza la efectividad volumétrica del sistema al superar la demanda de diseño del cultivo (0.14 l/s). Se demuestra analíticamente que frecuencias altas incrementan el rendimiento termodinámico o eficiencia del ariete, pero restringen el volumen de agua elevado; en contraposición, frecuencias bajas demandan mayor caudal de alimentación pero optimizan la entrega neta de agua al reservorio.

La validación analítica del sistema se detalla en la Tabla 31, evidenciando un alto grado de correlación entre las metas de diseño y las métricas obtenidas en campo:

Tabla 31. *Parámetros de diseño vs. resultados experimentales.*

ITEM	PARÁMETROS	UNIDAD	DATOS DE DISEÑO	DATOS OBTENIDOS
1	Altura de alimentación (H)	m	10.00	10.00
2	Altura de descarga (h)	m	30.00	30.00
3	Long. tubería de alimentación	m	20.00	20.00
4	Long. tubería de descarga	m	100.00	100.00
5	Caudal de alimentación (Q)	lt/s	0.84	0.89
6	Caudal de descarga (q)	lt/s	0.14	0.15
7	Eficiencia hidráulica	%	50.00	53.57

Nota. Elaboración propia.

La evaluación cualitativa en campo contó con la participación del Sr. Audencio Berrospi Rivera, presidente del caserío Canchapunque, quien validó la viabilidad técnica y el nulo costo operativo de la tecnología. La implementación de este sistema mitiga los riesgos de pérdida de ganado ovino y de cuyes por déficit alimentario en periodos de estiaje, validando el impacto socioeconómico positivo del proyecto en la seguridad forrajera local.

Figura 71. *Vista fotográfica con el presidente del caserío.*



Nota. Elaboración propia.

F. Sobre los costos de inversión del sistema

La optimización económica del proyecto se logró mediante la integración de componentes comerciales prefabricados en materiales de alta resistencia (fierro galvanizado, acero, HDPE y PVC). La estructura de costos finales se distribuyó bajo las siguientes partidas de inversión:

- Estudio topográfico: S/. 200.00 (Alquiler de instrumental topográfico por una jornada).
- Adquisición de materiales e insumos: S/. 930.50 (Tuberías de alimentación e impulsión, válvulas y accesorios del cuerpo del ariete).
- Mano de obra: S/. 84.00 (Un jornal de trabajo para la asistencia en el montaje e instalación).

- Flete terrestre: S/. 100.00 (Transporte de materiales desde Cerro de Pasco hasta la zona de estudio).

La inversión total consolidada para el diseño, construcción e implementación del sistema ascendió a S/. 1,314.50 soles, demostrando ser una alternativa de bajo costo en comparación con los sistemas de bombeo convencionales basados en combustibles fósiles.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que el sistema de bombeo tipo ariete hidráulico es efectivo para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, al operar con una calibración de 14 mm y 60 golpes por minuto, alcanzando un caudal de descarga de 0.15 l/s, superior a la demanda de diseño (0.14 l/s), con una eficiencia de 53.57 %. Estos resultados demuestran que el sistema cumple satisfactoriamente con los requerimientos de riego y constituye una alternativa técnica y económicamente viable para zonas rurales sin acceso a fuentes de energía convencionales.
2. Se determinó que la disponibilidad hídrica de la fuente fue suficiente para satisfacer la demanda de diseño del sistema, establecida en 0.14 l/s para el riego de 0.25 ha de pastos asociados. La implementación del prototipo confirmó que el sistema de ariete hidráulico cubre los requerimientos de abastecimiento de agua para riego, demostrando la factibilidad técnica del aprovechamiento del recurso hídrico disponible.
3. Se establecieron los parámetros de diseño y funcionamiento del sistema mediante el dimensionamiento óptimo de sus componentes, aplicando modelos hidráulicos y criterios de diseño internacionales. Asimismo, el prototipo fue construido con una inversión de S/. 1,314.50, logrando un funcionamiento eficiente que garantiza el abastecimiento de agua requerido y demuestra la viabilidad técnica y económica del sistema.
4. Se determinó que la carrera de la válvula de impulsión influye significativamente en la eficiencia del sistema. Las pruebas experimentales evidenciaron que una apertura de 14 mm constituye el punto óptimo de operación, permitiendo un funcionamiento estable del ariete hidráulico y favoreciendo el mejor desempeño hidráulico del sistema.
5. El cuerpo del ariete hidráulico fue construido utilizando accesorios comerciales de fierro galvanizado, acero y PVC, obteniéndose una estructura compacta, resistente y de fácil mantenimiento. La selección de estos materiales facilitó el ensamblaje del sistema y

garantiza su durabilidad, así como la disponibilidad de repuestos para futuras intervenciones en condiciones similares.

6. Las pruebas experimentales evidenciaron que el sistema puede operar bajo diferentes condiciones de calibración de la válvula de impulsión. Aunque la mayor eficiencia hidráulica (62.79 %) se obtuvo a 80 golpes/min, el régimen de 60 golpes/min fue seleccionado como la condición óptima de operación, ya que proporciona un caudal de descarga de 0.15 l/s, suficiente para satisfacer la demanda de riego establecida, priorizando el volumen de agua requerido sobre la eficiencia máxima del sistema.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda masificar la implementación de sistemas de bombeo por ariete hidráulico en comunidades altoandinas y sectores rurales vulnerables. Esta tecnología representa una solución innovadora, autosostenible y de bajo costo para el suministro de agua con fines agrícolas y domésticos, eliminando la dependencia económica y operativa de motobombas que consumen combustibles fósiles.
2. Se debe estructurar un manual operativo y un programa de mantenimiento periódico (preventivo y correctivo) para el sistema de bombeo. La inspección programada de los empaques de jebe en las válvulas check y la limpieza del filtro de captación son acciones esenciales para mitigar el desgaste mecánico, asegurar la continuidad del servicio y prolongar la vida útil del equipo.
3. Se sugiere diseñar y construir una base de concreto o un anclaje estructural rígido para la fijación definitiva de la bomba de ariete en el terreno natural. Un soporte robusto absorbe eficazmente las vibraciones mecánicas continuas derivadas del transitorio hidráulico, evitando pérdidas de energía por desplazamiento y optimizando la eficiencia de transferencia de presiones del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acitores Martínez, F. (2012). *Estudio teórico y experimental de la bomba de ariete*. Tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid, Escuela Politécnica Superior. http://hdl.handle.net/10016/14685

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements* (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Arapa Quispe, J. B. (2015). *Evaluación del rendimiento del ariete hidráulico BAH 1.1/2 variando la longitud de la tubería de alimentación y condiciones de operación de la válvula de impulso*. Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina. Repositorio Institucional UNALM.

Ávila, G., & Rojas, A. (2020). *Implementación de una tecnología de ariete hidráulico para el manejo eficiente del agua en la finca La Libertad, municipio de Zipacón, Cundinamarca*.

Bonilla, J., & Hidrobo, F. (2011). *Diseño de un sistema de turbobombeo y riego por aspersión en la comunidad de San Francisco de Cunuguachay*. Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/1387

Campaña, C., & Guamán, D. (2011). *Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico con capacidad de 120 m de altura y un caudal de 8 l/s*. Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional. http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4020

Chero, A. (2018). *Diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico*. Tesis de pregrado, Universidad de Piura. https://hdl.handle.net/11042/3903

Demin, P. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego: Métodos de riego, fundamentos, usos y adaptaciones*. Ediciones INTA.

Elioiqui, G. (2017). *Caracterización de un ariete hidráulico*. Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Mecánico, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos* (Estudio FAO Riego y Drenaje N.° 56). FAO.

Fernández Gómez, R. (2010). *Manual de riego para agricultores. Módulo 1: Fundamentos del riego*. Signatura Ediciones de Andalucía.

Galarza, R. (2013). *Diseño y construcción de bombas de ariete hidráulico para zonas rurales*.

Gutiérrez, J., & Mancebo, J. (2013). *Primeras Jornadas Internacionales sobre Bombas Manuales y de Ariete*. Madrid, España.

Mataix, C. (1986). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. Ediciones del Castillo.

Ministerio de Agricultura y Riego. (2015). *Manual de cálculo de eficiencias para riego*. MINAGRI.

Mott, R. L. (1996). *Mecánica de fluidos aplicada*. Prentice Hall.

Pavco Wavin. (2024). *Manual técnico de tuberías y accesorios de polietileno de alta densidad (HDPE)*. Pavco Wavin Perú.

Peralta, H. (2015). *Diseño y evaluación de sistemas de bombeo mediante ariete hidráulico*.

Piña Oclocho, A. (2021). *Evaluación de un sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua, sector Punta de Doñe-Moyobamba*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín.

Rivadeneira, S., & Silva, L. (2013). *Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico con el desarrollo de un software para su dimensionamiento*. Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5989

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2024). *Datos meteorológicos de la estación Cerro de Pasco*. https://www.senamhi.gob.pe/

Straneo, L. (1969). *El dibujo técnico mecánico*. Montaner y Simón.

Torres, P. (2021). *Efectividad del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en la impulsión de agua para riego, en el caserío de Callhuán, distrito de Santa Ana de Tusi, provincia Daniel Alcides Carrión y región Pasco, 2021*.Tesis de pregrado.

Watt, S. B. (1975). *A manual on the hydraulic ram for pumping water*. Intermediate Technology Development Group.

ANEXOS

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

A. Aforo volumétrico de fuente hídrica

TESIS:	Evaluación del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua para riego en el caserío de Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga - 2024
BACHILLER:	Bach. John Abdiel MENDOZA BERROSPI Bach. Santiago MENDOZA BERROSPI

1. DATOS GENERALES

LOCALIDAD:	Caserío de Canchapunque	FECHA:	15 de setiembre del 2024
DISTRITO:	Goyllarisquizga	HORA:	11:00 a.m.
PROVINCIA:	Daniel Alcides Carrión	CLIMA:	cielo despejado
REGION:	Pasco		

2. DESCRIPCION DE LA FUENTE

TIPO:	Manantial Subterráneo			
NOMBRE:	sin nombre			
UBICACIÓN:	Coord. UTM:	N 8838455	E 345459	Z 4110
TEMPORADA:	Época de estiaje		AFORO:	Volumétrico
DESCRIPCION:	Fuente hídrica ubicado en el terreno del Sr. Teodoro MENDOZA FUSTER			

3. VISTA FOTOGRAFICA



4. CALCULOS DE AFORO

N°	Volumen	Tiempo de Llenado	Caudal (lt/s)
	V (l)	T (s)	Q=V/T
1	10	11.27	0.89
2	10	11.23	0.89
3	10	11.28	0.89
4	10	11.19	0.89
5	10	11.24	0.89
		PROMEDIO=	**0.89**

RESUMEN DE AFORO:

CAUDAL PROMEDIO (lt/s) = 0.89

4. CONCLUSION

Caudal promedio **0.89 lt/s**

B. Aforo de caudal de descarga

AFORO DE CAUDAL DE DESCARGA			
TESIS:	Evaluación del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua para riego en el caserío de Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga - 2024		
BACHILLER:	Bach. John Abdiel MENDOZA BERROSPI Bach. Santiago MENDOZA BERROSPI		
1. DATOS GENERALES			
LOCALIDAD:	Caserío de Canchapunque	FECHA:	15 de Noviembre del 2024
DISTRITO:	Goyllarisquizga	HORA:	09:00 a.m.
PROVINCIA:	Daniel Alcides Carrión	CLIMA:	cielo anublado
REGION:	Pasco		
2. CALIBRACION DE VALVULA DE IMPULSION			
CARRRA DEL OBTURADOR:	**14 mm**		
3. VISTA FOTOGRAFICA			





a la izquierda se observa el funcionamiento de la bomba de ariete y a la derecha el caudal de descarga

4. CALCULOS DE AFORO

Carrera de la válvula de impulsión	: **14mm**
Velocidad de golpes de la válvula de impulsión	**: 60 golpes/min**
Altura de alimentación	**: 10 m**
Long. Tub. de alimentación	**: 20 m**
Diámetro de Tub. De alimentación	**: 50 mm**
Altura de descarga	**: 30 m**
Diámetro de Tub. De descarga	**: 25 mm**
Long. Tub. de descarga	**: 100 m**

N°	Volumen	Tiempo	Caudal de Descarga
	V (l)	(S)	(lt/s)
1	10	67.47	0.15
2	10	67.45	0.15
3	10	67.48	0.15
4	10	67.47	0.15
5	10	67.46	0.15
		PROMEDIO=	**0.15**

5. CONCLUSION

Caudal de descarga promedio 0.15 lt/s

AFORO DE CAUDAL DE DESCARGA

TESIS:	Evaluación del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua para riego en el caserío de Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga - 2024
BACHILLER:	Bach. John Abdiel MENDOZA BERROSPI Bach. Santiago MENDOZA BERROSPI

1. DATOS GENERALES

LOCALIDAD:	Caserío de Canchapunque	FECHA:	15 de Noviembre del 2024
DISTRITO:	Goyllarisquizga	HORA:	09:15 a.m.
PROVINCIA:	Daniel Alcides Carrión	CLIMA:	cielo anublado
REGION:	Pasco		

2. CALIBRACION DE VALVULA DE IMPULSION

CARRRA DEL OBTURADOR: **12 mm**

3. VISTA FOTOGRAFICA





a la izquierda se observa el funcionamiento de la bomba de ariete y a la derecha el caudal de descarga

4. CALCULOS DE AFORO

Carrera de la válvula de impulsión	: **12mm**
Velocidad de golpes de la válvula de impulsión	**: 70 golpes/min**
Altura de alimentación	**: 10 m**
Long. Tub. de alimentación	**: 20 m**
Diámetro de Tub. De alimentación	**: 50 mm**
Altura de descarga	**: 30 m**
Diámetro de Tub. De descarga	**: 25 mm**
Long. Tub. de descarga	**: 100 m**

N°	Volumen	Tiempo	Caudal de Descarga
	V (l)	(S)	(lt/s)
1	10	83.27	0.12
2	10	83.25	0.12
3	10	83.28	0.12
4	10	83.25	0.12
5	10	83.26	0.12
		PROMEDIO=	**0.12**

5. CONCLUSION

Caudal de descarga promedio 0.12 lt/s

AFORO DE CAUDAL DE DESCARGA

TESIS:	Evaluación del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua para riego en el caserío de Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga - 2024
BACHILLER:	Bach. John Abdiel MENDOZA BERROSPI Bach. Santiago MENDOZA BERROSPI

1. DATOS GENERALES

LOCALIDAD:	Caserío de Canchapunque	FECHA:	15 de Noviembre del 2024
DISTRITO:	Goyllarisquizga	HORA:	09:30 a.m.
PROVINCIA:	Daniel Alcides Carrión	CLIMA:	cielo anublado
REGION:	Pasco		

2. CALIBRACION DE VALVULA DE IMPULSION

CARRRA DEL OBTURADOR: **10 mm**

3. VISTA FOTOGRAFICA





a la izquierda se observa el funcionamiento de la bomba de ariete y a la derecha el caudal de descarga

4. CALCULOS DE AFORO

Carrera de la válvula de impulsión	: **10mm**
Velocidad de golpes de la válvula de impulsión	**: 80 golpes/min**
Altura de alimentación	**: 10 m**
Long. Tub. de alimentación	**: 20 m**
Diámetro de Tub. De alimentación	**: 50 mm**
Altura de descarga	**: 30 m**
Diámetro de Tub. De descarga	**: 25 mm**
Long. Tub. de descarga	**: 100 m**

N°	Volumen	Tiempo	Caudal de Descarga
	V (l)	(S)	(lt/s)
1	10	110.47	0.09
2	10	110.43	0.09
3	10	110.48	0.09
4	10	110.39	0.09
5	10	110.44	0.09
		PROMEDIO=	**0.09**

5. CONCLUSION

Caudal de descarga promedio 0.09 lt/s

C. Aforo de caudal de rebose

AFORO DE CAUDAL DE REBOSE

TESIS:	Evaluación del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua para riego en el caserío de Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga - 2024
BACHILLER:	Bach. John Abdiel MENDOZA BERROSPI Bach. Santiago MENDOZA BERROSPI

1. DATOS GENERALES

LOCALIDAD:	Caserio de Canchapunque	FECHA:	15 de Noviembre del 2024
DISTRITO:	Goyllarisquizga	HORA:	09:40 a.m.
PROVINCIA:	Daniel Alcides Carrión	CLIMA:	cielo anublado
REGION:	Pasco		

2. CALIBRACION DE VALVULA DE IMPULSION

CARRERA DEL OBTURADOR: **14 mm**

3. VISTA FOTOGRAFICA



Vista fotográfica de aforo volumétrico de caudal desechado

4. CALCULOS DE AFORO

N°	Volumen	Tiempo	Caudal de Rebose (Qr)
	V (l)	(S)	(l/s)
1	10	199.77	0.05
2	10	199.73	0.05
3	10	199.78	0.05
4	10	199.69	0.05
5	10	199.74	0.05
		PROMEDIO=	**0.05**

5. CONCLUSION

Caudal desechado promedio 0.05 lt/s

AFORO DE CAUDAL DE REBOSE

TESIS:	Evaluación del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua para riego en el caserío de Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga - 2024
BACHILLER:	Bach. John Abdiel MENDOZA BERROSPI Bach. Santiago MENDOZA BERROSPI

1. DATOS GENERALES

LOCALIDAD:	Caserio de Canchapunque	FECHA:	15 de Noviembre del 2024
DISTRITO:	Goyllarisquizga	HORA:	10:00 a.m.
PROVINCIA:	Daniel Alcides Carrión	CLIMA:	cielo anublado
REGION:	Pasco		

2. CALIBRACION DE VALVULA DE IMPULSION

CARRERA DEL OBTURADOR: **12 mm**

3. VISTA FOTOGRAFICA



Vista fotográfica de aforo volumétrico de caudal desechado

4. CALCULOS DE AFORO

N°	Volumen	Tiempo	Caudal de Rebose (Qr)
	V (l)	(S)	(l/s)
1	10	36.97	0.27
2	10	36.96	0.27
3	10	36.98	0.27
4	10	36.95	0.27
5	10	36.96	0.27
		PROMEDIO=	**0.27**

5. CONCLUSION

Caudal desechado promedio 0.27 lt/s

AFORO DE CAUDAL DE REBOSE

TESIS:	Evaluación del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua para riego en el caserío de Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga - 2024
BACHILLER:	Bach. John Abdiel MENDOZA BERROSPI Bach. Santiago MENDOZA BERROSPI

1. DATOS GENERALES

LOCALIDAD:	Caserio de Canchapunque	FECHA:	15 de Noviembre del 2024
DISTRITO:	Goyllarisquizga	HORA:	10:20 a.m.
PROVINCIA:	Daniel Alcides Carrión	CLIMA:	cielo anublado
REGION:	Pasco		

2. CALIBRACION DE VALVULA DE IMPULSION

CARRERA DEL OBTURADOR: **10 mm**

3. VISTA FOTOGRAFICA



Vista fotográfica de aforo volumétrico de caudal desechado

4. CALCULOS DE AFORO

N°	Volumen	Tiempo	Caudal de Rebose (Qr)
	V (l)	(S)	(l/s)
1	10	21.74	0.46
2	10	21.75	0.46
3	10	21.76	0.46
4	10	21.74	0.46
5	10	21.75	0.46
		PROMEDIO=	**0.46**

5. CONCLUSION

Caudal desechado promedio 0.46 lt/s

Procedimiento de validación y confiabilidad

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y Nombres del informante: Giancarlo GALINDO YANTAS

1.2. Grado académico: Ing. Ambiental

Reg. CIP N.° 230798

1.3. Cargo o Institución donde labora: Gerente General EMAPA PASCO (EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE PASCO)

1.4. Título de Investigación: Evaluación del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga – 2024

1.5. Autor del Instrumento: Bach. John Abdiel MENDOZA BERROSPI
Bach. Santiago MENDOZA BERROSPI

1.6. Nombre del instrumento: METODOLOGIA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Buena 41-60%	Muy Buena 61-80%	Excelente 81-100%
1. CLARIDAD	Está formulado con un lenguaje adecuado					X
2. OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables				X	
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de ciencia y tecnología					X
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					X
5. SUFICIENCIA	Comprende a los aspectos de cantidad y calidad					X
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos del estudio					X
7. CONSISTENCIA	Basados en aspectos teóricos - científicos					X
8. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores y las dimensiones				X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del estudio					X
10. OPORTUNIDAD	El instrumento ha sido aplicado en el momento oportuno y más adecuado					X
III. PROMEDIO DE VALIDACIÓN		95%				
IV. OPINIÓN DE APLICACIÓN		El instrumento es apropiado para la determinación de la efectividad del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico.				
Cerro de Pasco, 10 de diciembre del 2025	72577163	Giancarlo Galindo Yantas INGENIERO AMBIENTAL REG.CIP N° 230873				998545212
Lugar y fecha	**N.° DNI**	**Firma del Experto**				**N.° Celular**

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y Nombres del informante: JIMENEZ OSORIO Edison Angel

1.2. Grado académico: Ingeniero Ambiental

Reg. CIP N.° 218938

1.3. Cargo o Institución donde labora: Especialista Ambiental del Ministerio de Transportes y Comunicaciones

1.4. Título de Investigación: Evaluación del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga – 2024

1.5. Autor del Instrumento: Bach. John Abdiel MENDOZA BERROSPI

Bach. Santiago MENDOZA BERROSPI

1.6. Nombre del instrumento: METODOLOGIA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Buena 41-60%	Muy Buena 61-80%	Excelente 81-100%
1. CLARIDAD	Está formulado con un lenguaje adecuado					X
2. OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables					X
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de ciencia y tecnología					X
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				X	
5. SUFICIENCIA	Comprende a los aspectos de cantidad y calidad					X
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos del estudio					X
7. CONSISTENCIA	Basados en aspectos teóricos - científicos					X
8. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores y las dimensiones					X
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del estudio				X	
10. OPORTUNIDAD	El instrumento ha sido aplicado en el momento oportuno y más adecuado					X
III. PROMEDIO DE VALIDACIÓN		95%				
IV. OPINIÓN DE APLICACIÓN		El instrumento es apropiado para la determinación de la efectividad del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico.				
Cerro de Pasco, 09 de diciembre del 2025	72166384	EDISON ANGEL JIMENEZ OSORIO INGENIERO AMBIENTAL REG. CIP N° 218938			977311254	
Lugar y fecha	**N.° DNI**	**Firma del Experto**			**N.° Celular**	

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y Nombres del informante: ARIAS LORENZO Dayana Meylin

1.2. Grado académico: Ingeniero Ambiental

Reg. CIP N.º 270538

1.3. Cargo o Institución donde labora: Ingeniera de Seguridad y Medio Ambiente – Grupo PAWA S.A.C.

1.4. Título de Investigación: Evaluación del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga – 2024

1.5. Autor del Instrumento: Bach. John Abdiel MENDOZA BERROSPI

Bach. Santiago MENDOZA BERROSPI

1.6. Nombre del instrumento: METODOLOGIA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO

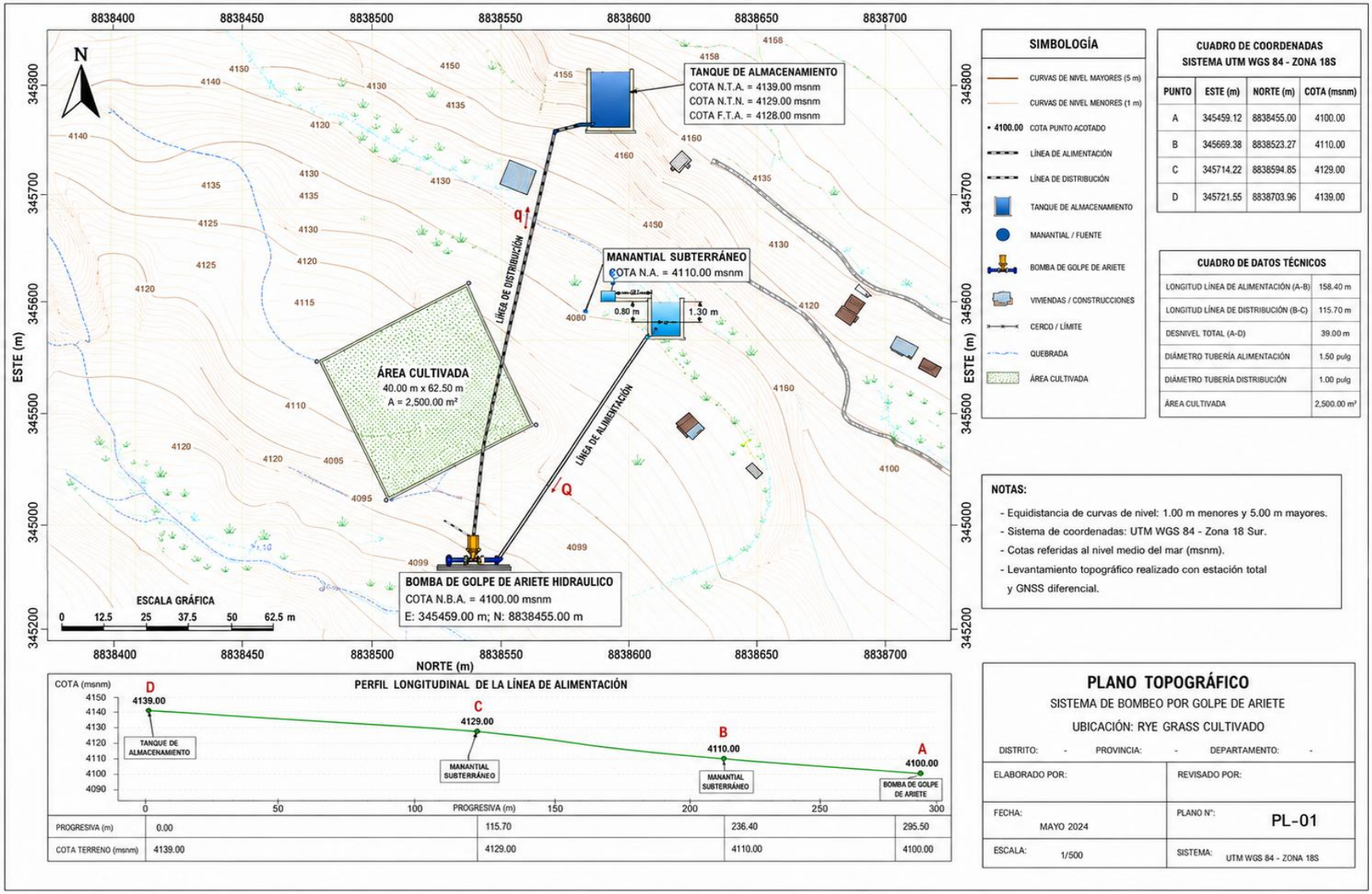
II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

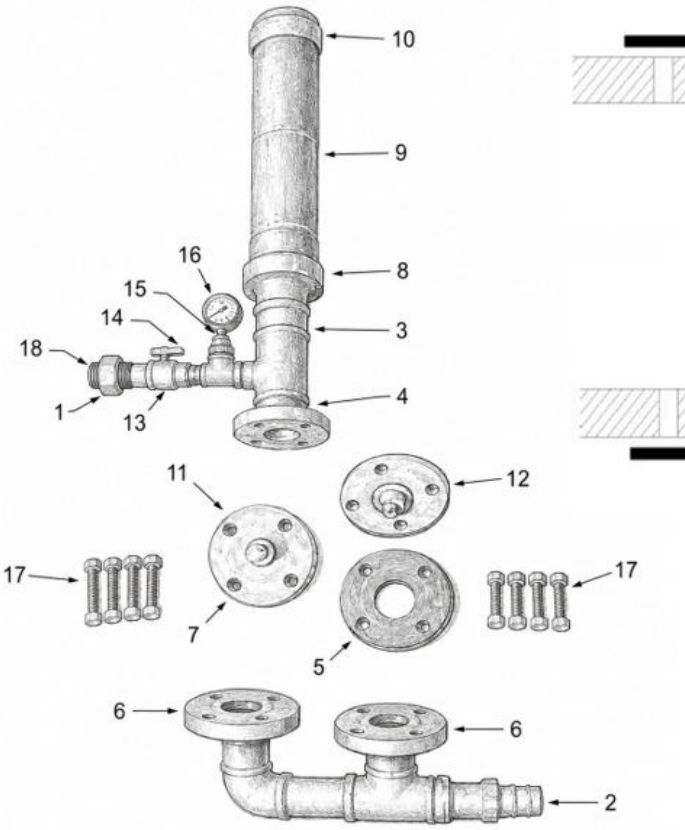
INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Buena 41-60%	Muy Buena 61-80%	Excelente 81-100%
1. CLARIDAD	Está formulado con un lenguaje adecuado					X
2. OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables				X	
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de ciencia y tecnología					X
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				X	
5. SUFICIENCIA	Comprende a los aspectos de cantidad y calidad					X
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos del estudio					X
7. CONSISTENCIA	Basados en aspectos teóricos - científicos					X
8. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores y las dimensiones				X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del estudio					X
10. OPORTUNIDAD	El instrumento ha sido aplicado en el momento oportuno y más adecuado					X
III. PROMEDIO DE VALIDACIÓN		90%				
IV. OPINIÓN DE APLICACIÓN		El instrumento es apropiado para la determinación de la efectividad del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico.				
Cerro de Pasco, 10 de diciembre del 2025	72768897	Ing. Dayana M. Arias Lorenzo INGENIERO AMBIENTAL CIP N° 270538				962907704
Lugar y fecha	**N.° DNI**	**Firma del Experto**				**N.° Celular**

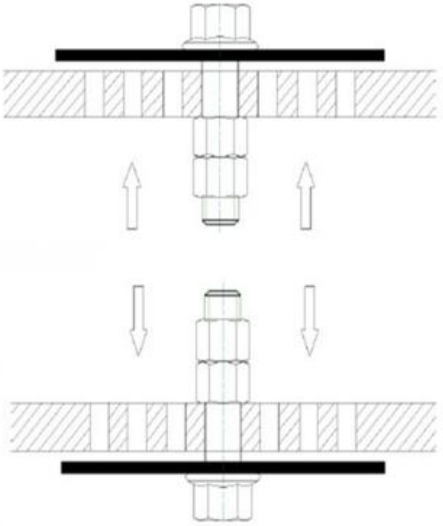
Matriz de consistencia de la investigación

MATRIZ DE CONSISTENCIA								
TITULO		**PROBLEMAS**	**OBJETIVOS**	**HIPOTESIS**	**VARIABLES y = f (x)**	**DIMENSIONES**	**INDICADORES**	**METODOLOGIA**
EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO TIPO ARIETE HIDRÁULICO PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA DE RIEGO EN EL CASERIO CANCHAPUNQUE, DISTRITO DE GOYLLARISQUIZGA – 2024	GENERAL	¿Cuál es la efectividad del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga - 2024?	Determinar la efectividad del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga - 2024	El sistema de bombeo tipo ariete hidráulico alcanzó una eficiencia de 53.57% y un caudal de descarga de 0.15 L/s, valor que supera la demanda hídrica requerida de 0.14 L/s. En consecuencia, el sistema cumple con el abastecimiento de agua de riego en condiciones reales de operación, evidenciando su efectividad.	VARIABLE INDEPENDIENTE (X) Sistema de bombeo tipo ariete hidráulico.	Diseño del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico	1. Volumen de Fuente de alimentación (m3) 2. diámetro de Tubería de alimentación (mm) 3. diámetro de Tubería de descarga (mm) 4. volumen del tanque de aire (m) 5. diámetro de válvula de impulso (mm) 6. diámetro de valvula de descarga (mm) 7. volumen de tanque de almacenamiento (m3)	EXPERIMENTAL
	ESPECIFICOS	¿Cuál es la disponibilidad y la demanda del recurso hídrico para el sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga - 2024?	Determinar la disponibilidad y la demanda del recurso hídrico para el sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserio Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga – 2024.	El caudal disponible del manantial en época de estiaje fue de 0.89 L/s, valor superior al caudal de alimentación requerido por el sistema (0.84 L/s) y a la demanda hídrica del cultivo (0.14 L/s), garantizando la disponibilidad del recurso para el abastecimiento de agua de riego.		Especificaciones Técnicas del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico	1. Tipos de Accesorios (roscados a presión) 2. Tipo de material (PVC, F°G°, Acero)	
		¿Cuáles son los parámetros de diseño y funcionamiento del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga - 2024?	Establecer los parámetros de diseño y funcionamiento del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga – 2024.	El funcionamiento del sistema depende de parámetros como la altura de alimentación (10 m), altura de descarga (30 m), caudal de alimentación (0.84 L/s) y caudal de descarga (0.15 L/s), así como de las condiciones topográficas y características de los materiales, los cuales influyen directamente en el desempeño del sistema.	VARIABLE DEPENDIENTE (Y) Efectividad para el abastecimiento de agua de riego.	Eficiencia	1. Rendimiento (%)	
		¿Cómo influye la carrera de la válvula de impulsión en la eficiencia del sistema de bombeo con ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga - 2024?	Determinar la influencia de la carrera de la válvula de impulsión en la eficiencia del sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua de riego en el caserío Canchapunque, distrito de Goyllarisquizga – 2024.	La eficiencia del sistema varía en función de la carrera de la válvula de impulsión. Se observó que una menor frecuencia de golpes de ariete, asociada a un cierre más lento de la válvula, incrementa las pérdidas de agua y reduce el rendimiento del sistema.		Eficacia	1. Caudal de descarga (l/s)	

2. Planos


TANQUE DE ALMACENAMIENTO
COTA N.T.A. = 4139.00 msnm
COTA N.T.N. = 4129.00 msnm
COTA F.T.A. = 4128.00 msnm
MANANTIAL SUBTERRÁNEO
COTA N.A. = 4110.00 msnm
ÁREA CULTIVADA
40.00 m x 62.50 m
A = 2,500.00 m²
LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN
LÍNEA DE ALIMENTACIÓN
0.80 m
1.30 m
BOMBA DE GOLPE DE ARIETE HIDRAULICO
COTA N.B.A. = 4100.00 msnm
E: 345459.00 m; N: 8838455.00 m
ESCALA GRÁFICA
0 12.5 25 37.5 50 62.5 m
ESTE (m)
NORTE (m)
SIMBOLOGÍA
CURVAS DE NIVEL MAYORES (5 m)
CURVAS DE NIVEL MENORES (1 m)
4100.00 COTA PUNTO ACOTADO
LÍNEA DE ALIMENTACIÓN
LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN
TANQUE DE ALMACENAMIENTO
MANANTIAL / FUENTE
BOMBA DE GOLPE DE ARIETE
VIVIENDAS / CONSTRUCCIONES
CERCO / LÍMITE
QUEBRADA
ÁREA CULTIVADA
CUADRO DE COORDENADAS
SISTEMA UTM WGS 84 - ZONA 18S
PUNTO | ESTE (m) | NORTE (m) | COTA (msnm)
A | 345459.12 | 8838455.00 | 4100.00
B | 345669.38 | 8838523.27 | 4110.00
C | 345714.22 | 8838594.85 | 4129.00
D | 345721.55 | 8838703.96 | 4139.00
CUADRO DE DATOS TÉCNICOS
LONGITUD LÍNEA DE ALIMENTACIÓN (A-B) 158.40 m
LONGITUD LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN (B-C) 115.70 m
DESNIVEL TOTAL (A-D) 39.00 m
DIÁMETRO TUBERÍA ALIMENTACIÓN 1.50 pulg
DIÁMETRO TUBERÍA DISTRIBUCIÓN 1.00 pulg
ÁREA CULTIVADA 2,500.00 m²
NOTAS:
- Equidistancia de curvas de nivel: 1.00 m menores y 5.00 m mayores.
- Sistema de coordenadas: UTM WGS 84 - Zona 18 Sur.
- Cotas referidas al nivel medio del mar (msnm).
- Levantamiento topográfico realizado con estación total y GNSS diferencial.
PERFIL LONGITUDINAL DE LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN
COTA (msnm)
PROGRESIVA (m)
D 4139.00 TANQUE DE ALMACENAMIENTO
C 4129.00 MANANTIAL SUBTERRÁNEO
B 4110.00 MANANTIAL SUBTERRÁNEO
A 4100.00 BOMBA DE GOLPE DE ARIETE
PROGRESIVA (m) 0.00 | 115.70 | 236.40 | 295.50
COTA TERRENO (msnm) 4139.00 | 4129.00 | 4110.00 | 4100.00
PLANO TOPOGRÁFICO
SISTEMA DE BOMBEO POR GOLPE DE ARIETE
UBICACIÓN: RYE GRASS CULTIVADO
DISTRITO: - PROVINCIA: - DEPARTAMENTO: -
ELABORADO POR:
REVISADO POR:
FECHA: MAYO 2024
PLANO N°: PL-01
ESCALA: 1/500
SISTEMA: UTM WGS 84 - ZONA 18S





	BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO
1	VALVULA CHECK DE IMPULSO 1.5"
2	VALVULA CHECK DE DESCARGA 1.5"
3	ADAPTADOR HDPE R/MACHO 50MMX1.5"
4	VALVULA DE BOLA PVC 1.5"
5	NIPLE DE F°G° 1.5"X3"
6	TEE DE F°G° 1.5"
7	CODO 90° DE F°G° DE 1.5"
8	REDUCCION CAMPANA DE F°G° 3" A 1.5"
9	NIPLE DE F°G° 1"X3"
10	TEE DE F°G° 1"
11	VALVULA DE BOLA DE PVC 3/4"
12	ADAPTADOR HDPE R/MACHO 3/4"
13	REDUCCION CAMPANA DE F°G° DE 1.5" A 3/4"
14	NIPLE DE F°G° 3"X20"
15	MANOMETRO DE GLISERINA 10 BR
16	TAPON HEMBRA DE F°G° 3"
17	REDUCCION BUSHING DE F°G° DE 1"X1/2"
18	REDUCCION BUSHING DE F°G° DE 1/2"X1/4"

PROYECTO:

BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO 1.5'' DE F°G°

PRESENTADO POR:

Bach. John Abdiel MENDOZA BERROSPI
Bach. Santiago MENDOZA BERROSPI