

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**T E S I S**

**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**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Civil**

**Autor:**

**Bach. Petther Lincoln TORRES ORTEGA**

**Asesor:**

**Dr. Luis Villar REQUIS CARBAJAL**

Cerro de Pasco - Perú - 2023

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**T E S I S**

**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**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

Dr. Hildebrando Anival CONDOR GARCÍA  
PRESIDENTE

---

Mg. José Germán RAMÍREZ MEDRANO  
MIEMBRO

---

Mg. Pedro YARASCA CORDOVA  
MIEMBRO

## **DEDICATORIA**

La presente investigación dedico en primer lugar al Señor Dios todopoderoso, Quien es el dueño de toda mi vida, seguidamente a mi apreciada madre Paula Ortega Galluf, y a cada uno de mis hermanos: Betty, William, Kary, Rober, Yhoni, Wilson y Jhoseb, quienes han sido mi sustento en toda mi formación como profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis maestros académicos de la escuela de ingeniería civil, de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, quienes impartieron sus sólidos conocimientos y experiencias, contribuyendo en mi etapa de estudiante de la carrera profesional mencionada, para lograr desarrollarme profesionalmente y así tener la oportunidad de optar el Título de Ingeniero Civil.



## RESUMEN

La presente investigación “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”, tuvo como propósito determinar la efectividad del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, para abastecer un caudal de 0.177 l/s de agua según la demanda hídrica del Rye Grass cultivado en 0.217 hectáreas de área. Cuya metodología de investigación es experimental y de nivel aplicativo. La población es el distrito de Santa Ana de Tusi y la muestra se consideró al Caserío de Callhuán. Concluyéndose que: El sistema de bombeo mediante ariete hidráulico diseñado, muestra 49.234% de eficiencia, satisfaciendo el caudal de demanda hasta 0.182 l/s, lo cual eleva a 17.10 m de altura mediante una tubería de 90 m de longitud y 32 mm de diámetro, gracias a la energía cinética del golpe de ariete producido por un caudal de alimentación de 1.109 l/s, que llega hasta la bomba de ariete de 2” de diámetro mediante una tubería de alimentación de 50.30 m de longitud, 63 mm de diámetro y un desnivel de 5.70 m desde la fuente de alimentación. La inversión total es de S/. 1,311.20 soles, y es mayor en S/. 31.20 soles al adquirir una motobomba a combustible, pero este monto se recupera en menos de un año al no gastar en combustible ni en mantenimientos costosos.

**Palabras clave:** bomba de ariete hidráulico, efectividad, bombeo, demanda.

## ABSTRACT

The present investigation "Effectiveness of the pumping system by means of hydraulic ram, in the impulsion of water for irrigation, in the village of Callhuán, District of Santa Ana de Tusi, Daniel Alcides Carrión province and Pasco region, 2021", had the purpose of determining the effectiveness of the pumping system through hydraulic ram, to supply a flow of 0.177 l/s of water according to the water demand of the Rye Grass cultivated in 0.217 hectares of area. Whose research methodology is experimental and application level. The population is the district of Santa Ana de Tusi and the sample was considered the Caserío de Callhuán. Concluding that: The designed hydraulic ram pumping system shows 49.234% efficiency, satisfying the demand flow up to 0.182 l/s, which rises to 17.10 m in height through a 90 m long and 32 mm diameter pipe. , thanks to the kinetic energy of the water hammer produced by a feed flow of 1,109 l/s, which reaches the 2" diameter ram pump through a feed pipe 50.30 m long, 63 mm in diameter and a drop of 5.70 m from the power source. The total investment is S/. 1,311.20 soles, and is higher by S/. 31.20 soles when purchasing a fuel pump, but this amount is recovered in less than a year by not spending on fuel or expensive maintenance.

**Keywords:** hydraulic ram pump, effectiveness, pumping, demand.

## INTRODUCCION

La presente investigación se realizó con el objetivo principal de determinar la efectividad de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico para la impulsión de agua con fines de riego, a fin de obtener importantes beneficios productivos y económicos en la zona rural del Caserío de Callhuán, Distrito de Santa Ana de Tusi, Provincia Daniel Alcides Carrión y Región Pasco.

Determinando en una primera etapa los factores de oferta y demanda hídrica para luego realizar los cálculos necesarios, pruebas de campo y así obtener una óptima configuración del sistema de bombeo, hallando el caudal de descarga máxima en función a las pruebas realizadas en campo, cálculos y antecedentes que fueron considerados en las citas bibliográficas. Al final del desarrollo del proyecto se va a obtener la mejor configuración de la bomba de ariete, para cubrir la demanda de agua de riego y así determinar la eficiencia y eficaz del mismo. Si bien es cierto, una motobomba a combustible es de gran utilidad para un desarrollo tecnológico, sin embargo, además de ser costoso en su operación y mantenimiento afecta al ecosistema demostrándose daños al medio ambiente. Con el presente estudio se intenta ofrecer alternativas y demostrar que se puede revertir esta problemática del daño del medio ambiente optando por utilizar equipos autosostenibles y ecológico como la bomba de ariete que no contribuyan al deterioro de nuestro planeta, así mismo, mediante el análisis económico demostrar que se puede optimizar los recursos económicos del poblador rural. Este estudio se subdivide en cuatro capítulos del siguiente modo:

CAPITULO I, es en donde se identifica la problemática existente, y en donde se plantea la ruta de investigación formulando los objetivos correspondientes.

CAPITULO II, corresponde a la base teórica existente, a los antecedentes nacionales e internacionales que nos ayudan en la investigación.

CAPITULO III, corresponde a la descripción sobre la metodología y técnicas de recolección de datos para su posterior análisis en la presente investigación.

CAPITULO IV, es en donde se describe los trabajos realizados en campo, la toma de datos de prueba, análisis y presentación de resultados.

## **INDICE**

**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 .....	4
1.3.	Formulación del problema. ....	6
1.3.1.	Problema principal. ....	6
1.3.2.	Problemas específicos .....	6
1.4.	Formulación de Objetivos.....	7
1.4.1.	Objetivo principal.....	7
1.4.2.	Objetivos específicos .....	7
1.5.	Justificación de la investigación. ....	8
1.6.	Limitaciones de la investigación. ....	8

### **CAPÍTULO II**

#### **MARCO TEÓRICO**

2.1.	Antecedentes de estudio .....	10
------	-------------------------------	----

2.2.	Bases teóricas – científicas .....	13
2.3.	Definición de términos básicos.....	52
2.4.	Formulación de Hipótesis .....	54
2.4.1.	Hipótesis General .....	54
2.4.2.	Hipótesis Específicas .....	54
2.5.	Identificación de Variables.....	55
2.6.	Definición Operacional de variables e indicadores.....	55

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1.	Tipo de investigación.....	57
3.2.	Nivel de investigación.....	57
3.3.	Métodos de investigación .....	57
3.4.	Diseño de investigación.....	58
3.5.	Población y muestra.....	58
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	58
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	59
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	60
3.9.	Tratamiento Estadístico.....	60
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica.....	61

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	62
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	148
4.3.	Prueba de Hipótesis .....	170
4.4.	Discusión de resultados .....	172

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES**

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**ANEXOS**

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rango de longitud para tuberías de alimentación en función de su diámetro..	30
Tabla 2. Definición operacional de variables e indicadores.....	55
Tabla 3. Determinación de caudal por el método de aforo volumétrico. ....	68
Tabla 4. Las principales etapas de crecimiento del Cultivo y Kc .....	81
Tabla 5. Datos para incluir al programa Cropwat .....	82
Tabla 6. Resultados de requerimiento de agua del cultivo.....	86
Tabla 7. Resultados de requerimiento de agua del cultivo – caudal de descarga.....	88
Tabla 8. Dimensiones de diámetros comerciales de tuberías .....	92
Tabla 9. Rango de longitud para tuberías de alimentación en función de su diámetro..	93
Tabla 10. Cálculo del diámetro de la tubería de acuerdo a Hazen-Williams .....	96
Tabla 11. Verificación del diámetro seleccionado de la tubería de alimentación sde acuerdo a Hazen-Williams .....	97
Tabla 12. Parámetros importantes de diseño del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico.....	101
Tabla 13. Elementos del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico.....	101
Tabla 14. Tabla de proceso de cálculos para determinar el volumen del tanque de aire.....	120
Tabla 15. Coeficiente de resistencia por accesorios y válvula de impulso .....	124
Tabla 16. Materiales para la línea de alimentación. ....	127
Tabla 17. Materiales para la línea de descarga.....	128
Tabla 18. lista de los accesorios que son parte del cuerpo de la Bomba de Ariete .....	130
Tabla 19. Aforo de caudal de descarga a 40 golpes de ariete por minuto .....	140
Tabla 20. Aforo del caudal de desechado (primer escenario) .....	141
Tabla 21. Aforo de caudal de descarga a 30 golpes de ariete por minuto .....	143



Tabla 22. Aforo del caudal de desechado (segundo escenario).....	144
Tabla 23. Aforo de caudal de descarga a un ritmo de 27 golpes de ariete por minuto	146
Tabla 24. Aforo del caudal de desechado (tercer escenario).....	147
Tabla 25. Resumen de datos conseguidos de la prueba insitu.....	151
Tabla 26. Presentación de la eficiencia y eficacia mostrada por la bomba de ariete. ..	152
Tabla 27. Costos de materiales e insumos.....	158
Tabla 28. Costos de mano de obra en la instalación del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico. ....	159
Tabla 29. Costos totales de inversión en la instalación del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico .....	159
Tabla 30. Costos de mantenimiento de la bomba de ariete hidráulico. ....	160
Tabla 31. Flujo De Caja Interna de la Autocebante Motobomba Honda 0.9 HP 25Cc.....	164
Tabla 32. Flujo De Caja Interna de la Bomba de Ariete. ....	164
Tabla 33. Flujo De Caja Interna de la Bomba de Ariete. ....	165
Tabla 34. Valor Presente Neto.....	166
Tabla 35. Relación B/C para diferentes tasas de interés de descuento.....	167
Tabla 36. Datos requeridos vs datos obtenidos .....	181

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. A la izquierda crías de ovinos muertos a causa de abandono por las madres con déficit de alimentos, a la derecha alpaca alimentándose de pastizales cultivadas....	2
Figura 2. Vista de terreno cultivado para el sembrío de Rye Grass, en la zona rural del Caserío de Callhuán,.....	3
Figura 3. Vista de sembrío de Rye Grass, en la zona rural del Caserío de Callhuán. ....	3
Figura 4. Vista de alimentación de alpacas con pastizales cultivadas, en la zona rural del Caserío de Callhuán.....	4
Figura 5. Vista aéreo, de ubicación del Caserío de Callhuán.....	5
Figura 6. Vista panorámica del Caserío de Callhuan, Distrito de Santa Ana de Tusi, Provincia Daniel Alcides Carrión y Región Pasco.....	5
Figura 7. Vista de pastizales cultivados por los pobladores del Caserío de Callhuan.....	9
Figura 8. Vista de sembrío en filas y surcos con fines de riego .....	14
Figura 9. Vista de riego por melgas.....	15
Figura 10. Vista de riego por goteo .....	16
Figura 11. Vista de riego por aspersión.....	16
Figura 12. Eficiencia de principales tipos de riego. ....	17
Figura 13. Onda de sobrepresión dentro del bloqueo repentino de la válvula: C viene a ser la velocidad con que se propaga la onda y V viene a ser velocidad que presenta el líquido. Por donde avanza la onda de presión, el conducto se dilata y se contrae cuando se produce depresión.....	18
Figura 14. Conducto en estado normal, libre de perturbaciones. ....	19
Figura 15. Bloqueo o cierre rápido de la válvula. ....	20
Figura 16. Transferencia de la onda de presión.....	20
Figura 17. Llegada de sobrepresión al tanque de almacenamiento. ....	21

Figura 18. Vista de mitad de tubería contraído .....	21
Figura 19. Diámetro normal de la tubería. ....	22
Figura 20. Depresión en el tramo L/2 de la tubería.....	22
Figura 21. Depresión a lo largo de toda la tubería. ....	23
Figura 22. Vista de tubería con el tramo izquierda en movimiento. ....	24
Figura 23. Diámetro normal de la tubería. ....	24
Figura 24. Bomba de Ariete típico (ecológico).....	25
Figura 25. Esquema del sistema de bombeo según John Whitehurst.....	26
Figura 26. Esquema del sistema de bombeo según Joseph Montgolfier .....	26
Figura 27. Configuración de sistema de bombeo mediante Ariete Hidráulico. ....	27
Figura 28. Válvula mediante resorte de pletina.....	33
Figura 29. Válvula con plato perforado.....	33
Figura 30. Válvula con resorte. ....	34
Figura 31. Válvula con pesas encima. ....	35
Figura 32. Vista transversal de válvula al inferior .....	36
Figura 33. Vista de válvula de solapa.....	37
Figura 34. Válvula tipo cabezal.....	38
Figura 35. Vista de válvula de bisagra .....	38
Figura 36. Vista de válvula de disco suelto .....	39
Figura 37. Válvula de tapón .....	40
Figura 38. Tipos de caudales que presenta la bomba de ariete hidráulico .....	47
Figura 39. Imagen satelital del lugar de estudio.....	63
Figura 40. Presencia de la planta “Ucush casha”, en terreno de cultivo de pastizal. ....	64
Figura 41. Vista del manantial subterráneo .....	65
Figura 42. Vista de corriente de agua que nace en el manantial subterráneo.....	65

Figura 43. Determinación de caudal ofertado por el método de aforo volumétrico.....	68
Figura 44. Vista de pozas artificiales existentes en las coordenadas UTM: E: 356293.574m; N: 8840541.556; y altitud 4277.00 m.s.n.m.....	69
Figura 45. Configuración preliminar del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico.....	70
Figura 46. Ubicación de la bomba de ariete hidráulico.....	72
Figura 47. Configuración preliminar del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico.....	73
Figura 48. Ventana de inicio del software Cropwat 8.0.....	75
Figura 49. Módulo de cálculo de la evapotranspiración según Penman-Monteih .....	76
Figura 50. Datos de clima para determinar la velocidad del viento .....	78
Figura 51. Datos de clima para determinar la Rad y Eto.....	78
Figura 52. Diagrama de la precipitación y precipitación efectiva.....	80
Figura 53. Factor de agotamiento crítico para los diferentes niveles de evapotranspiración del cultivo .....	82
Figura 54. Coeficientes estacionales de respuesta de la productividad.....	83
Figura 55. Datos de cultivo para el software Cropwat .....	84
Figura 56. Módulo de suelo según programa Cropwat .....	85
Figura 57. Diseño de la Bomba de ariete hidráulico .....	102
Figura 58. Válvula de Impulsión .....	103
Figura 59. Componente de la Válvula de Impulsión.....	104
Figura 60. Apertura y cierre de la válvula de Impulsión.....	104
Figura 61. Apertura repentina de la válvula .....	105
Figura 62. Paso del agua hacia la válvula de impulsión.....	106
Figura 63. Retorno del flujo hacia la tubería de alimentación .....	106

Figura 64. Sobrepresión en la tubería de alimentación .....	107
Figura 65. Prototipo proyectado del ariete hidráulico. ....	107
Figura 66. Diámetro de base de válvula de impulsión. ....	109
Figura 67. Diámetro del obturador de la válvula de impulsión. ....	109
Figura 68. Espesor total del obturador de la válvula de impulsión. ....	110
Figura 69. Carrera de la válvula .....	112
Figura 70. Implementación de tubería lisa de ½ pulgada en la valvula. ....	113
Figura 71. Perno de ajuste de la válvula de impulsión .....	114
Figura 72. Válvula de descarga .....	114
Figura 73. Componentes de la válvula check .....	115
Figura 74. Funcionamiento de la válvula check .....	115
Figura 75. Accesorios de la Bomba de Ariete hidraulico .....	126
Figura 76. Materiales para la línea de alimentación .....	128
Figura 77. Tubería HDPE DE 32 mm PE 80 SDR 17 .....	129
Figura 78. Presentación de los accesorios que forman parte del cuerpo de la Bomba de Ariete .....	130
Figura 79. Ensamblaje de la bomba de ariete hidráulico .....	131
Figura 80. Instalación del sistema de bombeo hidráulico .....	132
Figura 81. Tendido de la línea de descarga .....	133
Figura 82. Aseguramiento de la línea de descarga a 1.00 metros desde el nivel de terreno natural. ....	133
Figura 83. Fuente de alimentación artesanal .....	135
Figura 84. Cerrado de las válvulas esféricas .....	135
Figura 85. Vista de puesta en marcha del ariete hidráulico .....	136
Figura 86. Verificación de la presión de trabajo .....	137

Figura 87. Apertura de la válvula esférica que permite el paso del caudal de descarga.....	137
Figura 88. Vista de llegada de caudal de descarga.....	138
Figura 89. A la izquierda se observa el obturador de la valvula de impulsión y a la derecha la bomba de ariete en funcionamiento (primer escenario). .....	139
Figura 90. Medicion del caudal de descarga a un ritmo de 40 golpes de ariete en un minuto.....	140
Figura 91. A la izquierda se observa el peso adicionado al obturador de la válvula de impulsión y a la derecha la bomba de ariete en funcionamiento (segundo escenario). .....	142
Figura 92. Medición del caudal de descarga a un ritmo de 30 golpes de ariete en un minuto.....	143
Figura 93. A la izquierda se observa el peso adicionado al obturador de la válvula de impulsión y a la derecha la bomba de ariete en funcionamiento (tercer escenario).....	145
Figura 94. Medición del caudal de descarga a un ritmo de 27 golpes de ariete en un minuto.....	146
Figura 95. A la izquierda se observa el peso adicionado al obturador de la válvula de impulsión y a la derecha la bomba de ariete (cuarto escenario).....	148
Figura 96. Curva N° 01: N° de golpes/min Vs. Caudal de alimentación. ....	153
Figura 97. Curva N°02: N° de golpes/min Vs. Caudal de descarga.....	154
Figura 98. Curva N°03: N° de golpes/min Vs. Eficiencia de la Bomba de ariete.....	155
Figura 99. Curva N°04: Eficiencia de la Bomba de ariete Vs. Caudal de descarga.....	155
Figura 100. Autocebante motobomba honda 0.9 hp 25 Cc .....	161
Figura 101. Vista fotográfica del testimonio del presidente de la comunidad. ....	182

## INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Relación de transferencia de flujo en un perfecto sistema según (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013).....	28
Ecuación 2. Eficiencia del ariete Hidráulico .....	28
Ecuación 3. Caudal de alimentación. ....	29
Ecuación 4. Diámetro de tubería de alimentación.....	30
Ecuación 5. Altura de alimentación (Ha) .....	31
Ecuación 6. Ley de Boyle.....	41
Ecuación 7. Ecuación para hallar el caudal de entrega. ....	42
Ecuación 8. Ecuación para hallar el caudal de entrega. ....	42
Ecuación 9. velocidad de cierre de la válvula de impulso.....	42
Ecuación 10. Caudal libre.....	42
Ecuación 11. Coeficiente de descarga. ....	43
Ecuación 12. Ecuación General de la Energía (Bernoulli).....	43
Ecuación 13. Ecuación de Darcy-Weisbach.....	44
Ecuación 14. Ecuación para hallar pérdidas menores. ....	45
Ecuación 15. Factor de fricción.....	45
Ecuación 16. Número de Reynolds. ....	46
Ecuación 17. rugosidad relativa. ....	46
Ecuación 18. Rendimiento volumétrico. ....	47
Ecuación 19. Potencia del ariete hidráulico. ....	48
Ecuación 20. Valor presente neto (VPN). ....	50
Ecuación 21. Tasa interna de rendimiento (TIR). ....	51
Ecuación 22. Relación Beneficio - Costo.....	51
Ecuación 23. Presión .....	52

Ecuación 24. Energía cinética .....	53
Ecuación 25. Energía potencial .....	53
Ecuación 26. Determinación de caudal por el método de aforo volumétrico. ....	67
Ecuación 27. Altura de alimentación (Ha) .....	70
Ecuación 28. Ecuación de Penman-Monteith.....	75
Ecuación 29. Precipitación efectiva según la FAO Penman – Monteith.....	79
Ecuación 30. caudal de alimentación. ....	89
Ecuación 31. Diámetro de tubería de alimentación según Bondschu. ....	90
Ecuación 32. Ecuación de Hazen - Williams .....	94
Ecuación 33. Ecuación para hallar el volumen del tanque de almacenamiento. ....	100
Ecuación 34. Relación entre el diámetro del obturador y la válvula de impulsión. ....	108
Ecuación 35. Espesor del obturador .....	110
Ecuación 36. Carrera de la válvula de impulsión .....	111
Ecuación 37. Volumen del tanque de aire. ....	116
Ecuación 38. Fracción de incremento de presión que permite el bombeo. ....	116
Ecuación 39. Pérdida de carga en el período de retardación. ....	117
Ecuación 40. Sobrepresión máxima (m.c.a) al cerrar de manera repentina la válvula. ....	117
Ecuación 41. Velocidad de la onda .....	117
Ecuación 42. Velocidad necesaria para generar el cierre de la válvula de impulso. ....	118
Ecuación 43. Coeficiente total de perdidas .....	118
Ecuación 44. Coeficiente de fricción de tubería.....	119
Ecuación 45. Número de Reynolds .....	119
Ecuación 46. Rugosidad relativa. ....	119
Ecuación 47. caudal descargado por ciclo de bombeo. ....	119
Ecuación 48. Periodo en que se produce el golpe de ariete.....	120



Ecuación 49. Coeficiente de paso de válvula de impulsión. ....	125
Ecuación 50. Caudal desechado .....	141
Ecuación 51. Caudal desechado .....	144
Ecuación 52. Caudal desechado .....	147
Ecuación 53. Eficiencia para el primer escenario. ....	149
Ecuación 54. Eficiencia para el segundo escenario.....	150
Ecuación 55. Eficiencia para el tercer escenario.....	151
Ecuación 56. Depreciación anual .....	163

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACION**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

En la actualidad, debido al efecto invernadero y calentamiento global, se vienen presentando grandes cambios climáticos a nivel mundial, y que en la sierra peruana afectan principalmente a la población agricultora y ganadera, quienes tienen que enfrentar grandes retos cada vez mayor por las presencias de lluvias torrenciales, granizos, vientos huracanados, nevadas, seguías, etc. Particularmente, el periodo de verano es el más preocupante, ya que los recursos hídricos disminuyen o hasta desaparecen de los lugares de pastoreo de los animales domésticos, y el problema es más aun por la escasez de los pastizales, afectando así a la productividad ganadera.

Dentro del distrito de Santa Ana de Tusi, Provincia Daniel Alcides Carrión, Región Pasco, las familias más vulnerables ante los cambios climáticos, son las que habitan en las zonas alto andinas, como es el caso de la población del Caserío de Callhuán, ya que como fuente de ingreso económico y de alimentación que tienen estas familias, son principalmente por la crianza de ovinos y alpacas, que sin

embargo, en periodos de estiaje, se ven afectados en la producción y productividad ganadera, ya que las fuentes de agua disminuyen, los pastizales se secan y son escasos para la alimentación normal de los animales, y a causa de ello, estos animales van enfermándose y hasta mueren. Así mismo, cuando el periodo de estiaje coincide con el periodo de parición de los animales, las madres débiles por falta de una alimentación adecuada, abandonan a sus crías, quienes mueren a poco tiempo de nacidos.

### **Figura 1**

*A la izquierda crías de ovinos muertos a causa de abandono por las madres con déficit de alimentos, a la derecha alpaca alimentándose de pastizales cultivadas*



*Nota.* Elaboración propia

Para mitigar esta problemática, los pobladores han ido sembrando pastizales de diferentes variedades y así proveer de alimento a los animales más vulnerables en los periodos secos, pero para mantener en buen estado a estos pastizales cultivadas y/o naturales, se requieren de sistemas tecnificados de riego, y en muchos de los casos es necesario almacenar el agua por medio de sistemas de bombeo, que sin embargo, el sistema de bombeo convencional, comúnmente requieren de fuentes de energías como la electricidad y el combustible, lo cual genera un impacto ambiental negativo por la contaminación ambiental y además afecta económicamente a las familias por los gastos de adquisición y/o

mantenimiento, es por ello, que se piensa plantear y verificar la efectividad de un sistema de bombeo autosostenible que transforma la energía hidráulica en energía mecánica.

**Figura 2**

*Vista de terreno cultivado para el sembrío de Rye Grass, en la zona rural del Caserío de Callhuán,*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3**

*Vista de sembrío de Rye Grass, en la zona rural del Caserío de Callhuán.*



*Nota. Elaboración propia*

## Figura 4

*Vista de alimentación de alpacas con pastizales cultivadas, en la zona rural del Caserío de Callhuán.*



*Nota.* Elaboración propia

## 1.2. Delimitación de la investigación

### 1.2.1. Delimitación Espacial

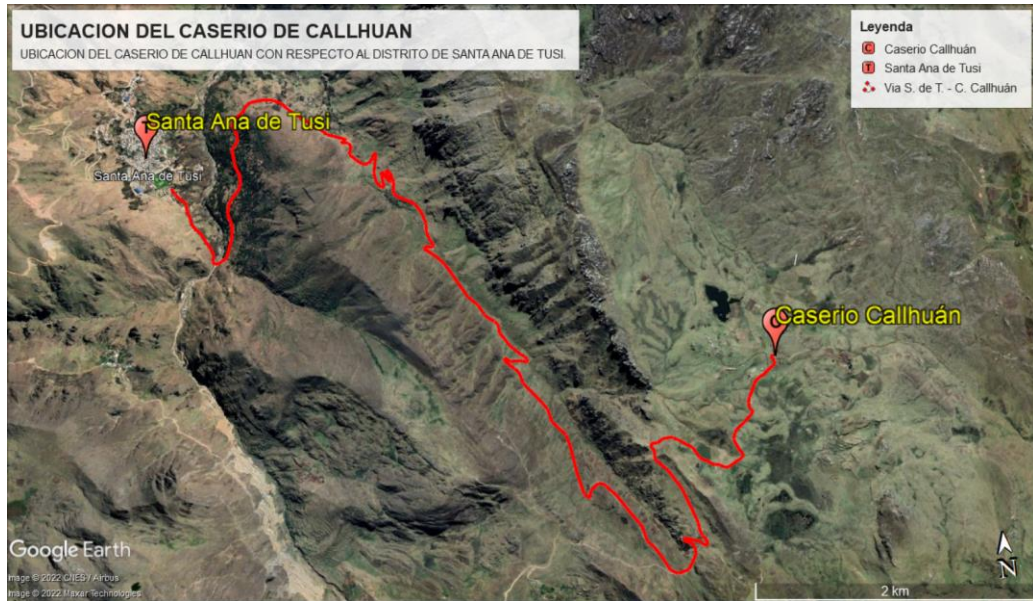
La presente investigación se realizó en el caserío de Callhuán, distrito de Santa Ana de Tusi, provincia Daniel Alcides Carrión y Región Pasco, en la parcela del señor Gaspar Torres Pardavé, cuya área de estudio presentan las coordenadas UTM: Este: 356256.64, Norte: 8840582.83 y Altitud: 4283.79 m.s.n.m.

El caserío de Callhuán se ubica a una distancia aproximada de 19 kilómetros por el lado Sureste del distrito Santa Ana de Tusi, mediante carretera afirmada, a 1 hora de traslado aproximadamente, con disponibilidad de autos y motos como medios de transporte.



## Figura 5

*Vista aéreo, de ubicación del Caserío de Callhuán*



*Nota.* Elaboración propia. Tomada de Google Earth

## Figura 6

*Vista panorámica del Caserío de Callhuán, Distrito de Santa Ana de Tusi, Provincia Daniel Alcides Carrión y Región Pasco.*



*Nota.* Elaboración propia

### 1.2.2. Delimitación Temporal

Los datos que se consideraron en el desarrollo de la investigación pertenecen al mes de agosto del año 2021, ya que, en este mes de cada año se presenta mayor escasez de precipitaciones pluviales, las cuales afectan a los pastizales cultivadas y naturales, además las fuentes hídricas de la zona ofertan caudales bajos, y en consecuencia afectan a la productividad ganadera.

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema principal**

¿Cuál es la 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?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

¿Cuál es la demanda y oferta del recurso hídrico para el 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?

¿Cuáles son los parámetros de diseño y operación 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?

¿Cómo influye la velocidad del ciclo del golpe de ariete en la eficiencia del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, en el Caserío de Callhuán, Distrito de Santa Ana de Tusi, Provincia Daniel Alcides Carrión y región Pasco?

¿Cuál es la configuración efectiva de la bomba de 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?

¿Cuál es el costo – beneficio 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?

#### **1.4. Formulación de Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo principal**

Determinar la 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.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

Determinar la demanda y oferta del recurso hídrico para el 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.

Determinar los parámetros de diseño y operación 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.

Determinar la influencia de la velocidad del ciclo del golpe de ariete en la eficiencia del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, en el Caserío de Callhuán, Distrito de Santa Ana de Tusi, Provincia Daniel Alcides Carrión y región Pasco.

Determinar la configuración efectiva de la bomba de 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.



Analizar el costo – beneficio 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.

### **1.5. Justificación de la investigación.**

En la zona rural del caserío de Callhuán, Distrito de Santa Ana de Tusi, Provincia Daniel Alcides Carrión, Región Pasco, se tiene la problemática de escasez de pastos para los animales domésticos en los periodos de verano o de estiajes, razón por lo cual, los pobladores optaron por sembrar pastizales en sus terrenos, para así abastecer de alimento a los animales y mantener la productividad ganadera en un nivel adecuado, sin embargo, en estos periodos secos, se requiere de riego y además, en muchos de los casos se requiere también de sistemas de bombeo, sin embargo estos sistemas de bombeo convencionales demandan de costos en su adquisición, costos para el uso y costos para su mantenimiento respectivo, las cuales afectarían económicamente a los pobladores rurales de la zona. Es por ello, que se plantea determinar la efectividad del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, aprovechando la energía mecánica renovable del fenómeno de golpe de ariete para impulsar agua y almacenar en un tanque de almacenamiento de agua, luego ser usado por un sistema de riego por gravedad para los pastizales.

### **1.6. Limitaciones de la investigación.**

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

- ✓ Diseño e instalación de un sistema de riego tecnificado.
- ✓ El alto costo de la construcción de las obras civiles como: captación, fuente de alimentación, cámara de bombeo, tanque para almacenar el agua elevado, etc.

- ✓ El caudal de agua ofertado por la fuente hídrica del ámbito de estudio de estudio es bajo, en efecto se tendrá que implementar un sistema de almacenamiento para realizar el análisis adecuado a la efectividad de la bomba de ariete hidráulico.

**Figura 7**

*Vista de pastizales cultivados por los pobladores del Caserío de Callhuan.*



*Nota.* Elaboración propia

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

##### **2.1.1. Antecedentes nacionales de estudio**

**Antecedente de investigación 1.** (Mamani, R., 2015) En su tesis cuyo objetivo fue determinar los efectos de aplicación de la bomba de ariete hidráulico en la impulsión de agua para riego, diseñando con las siguientes características: 1 pulgada de diámetro del ariete hidráulico, 7.80 metros de altura de descarga con longitud de tubería de 1 pulgada y 5.70 metros. Obteniendo como resultados que a 3.0 metros de altura de alimentación es eficiente en un 61%, luego, a 4.0 metros de altura de alimentación su eficiencia es de 75%, demostrando que el bombeo mediante ariete hidráulico es económico, óptimo y ecológico, con respecto al uso de una bomba con un motor de alimentación a gasolina, además de la reducción de costos por mantenimiento periódicas.

**Antecedente de investigación 2,** (Arangurí, D., 2018). Realizo una investigación sobre un sistema de bombeo con ariete hidráulico en San Pablo - Cajamarca, con el objetivo de determinar su efectividad de este sistema, en lo cual

realizo dos prototipos de bomba de ariete de 1 pulgada de diámetro, y como resultado obtuvo que instalado en paralelo elevan a una altura de 5.00 metros un caudal total de 8.90 l/min, gracias a la energía cinética del golpe de ariete producido por un caudal de alimentación de 62.25 l/min y altura de alimentación de 1.75 metros; como el sistema Bonilla será una instalación en paralelo; esta proporciona 8.9 l/min, la eficiencia obtenida del equipo fue de 55.23%, demostrando además que es económico desde su instalación hasta su operatividad y mantenimiento.

**Antecedente de investigación 3**, (Pauro Chavez, R., 2018) realizó una investigación, en donde diseñó una bomba de ariete hidráulico, con el objetivo de poder elevar agua para fines de riego, donde obtuvo como resultado que, gracias al caudal de alimentación de 32.467 l/min y altura de alimentación de 7.70 metros, eleva un caudal de 8.766 l/min hasta una altura de 23.10 metros, cuya carrera de la válvula de impulso fue de 14 milímetros con una velocidad de 75 golpes de ariete por cada minuto, la eficiencia mostrada por este prototipo de bomba de ariete fue de 27.00 %.

**Antecedente de investigación 4**, (Almirón Quispe, R., 2018). En su tesis, determinó la efectividad del sistema de bombeo con ariete hidráulico en la zona rural de la provincia de Espinar, en donde el sistema de bombeo tuvo las siguientes características: 1.75 metros de altura de alimentación, altura de descarga de 5 metros, bomba de ariete de 1 pulgada de diámetro. Obteniendo como resultado que gracias al caudal de alimentación de 62.25 l/min eleva un caudal de descarga de 8.9 l/s, mostrando una eficiencia de 55.23 %.

**Antecedente de investigación 5**, (Piña Oclocho, 2021). En su tesis, diseñó, construyó un sistema de bombeo manual tipo ariete hidráulico para abastecer agua a su familia en el Sector Punta de Doña en Moyobamba, teniendo como como

objetivo según la topografía de terreno, elevar agua para fines domésticos y agropecuarios a 35 metros de altura de descarga y 100 metros de longitud. La tesista menciona que su prototipo construido logra cumplir con el abastecimiento necesaria de agua, demostrando así su efectividad por ser accesible económicamente y además ecológico.

### **2.1.2. Antecedentes internacionales de estudio**

**Antecedente de investigación 1**, (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013) . Elaboraron una tesis de grado, cuyo objetivo fue Diseñar, luego construir un prototipo de bomba de ariete hidráulico y así poder crear un software de diseño. En donde concluye que teóricamente la bomba de ariete es capaz de elevar aproximadamente 3 veces su altura de alimentación, sin embargo, determino en campo que puede trabajar a alturas superiores, de hasta 4 a 5 veces de la altura de alimentación.

**Antecedente de investigación 2**, (Rengifo S, Gallego J. , 2016). Realizaron su tesis, cuyo objetivo fue aprovechar las aguas de lluvia para suministrar a las viviendas eco-sostenibles que se ubican en la Fundición Kyrios, en donde obtuvieron resultados que el prototipo de bomba de ariete teóricamente puede elevar un caudal de descarga hasta el doble de su altura de alimentación, pero en la práctica se demostró que puede elevar de 3 a 4 veces su altura de alimentación.

**Antecedente de investigación 3**, (Oti Isla, 2017) Desarrollo una tesis de grado, con el objetivo de determinar las acciones necesarias en el diseño e instalación de la bomba de ariete. Construyo un sistema de bombeo con una tubería de alimentación de 1.5 pulgadas y 1 pulgada de cuerpo de bomba de ariete. En donde tuvo resultado principal que la bomba de ariete construido eleva un caudal

19% menos de lo calculado teóricamente, por lo cual no presento efectividad los fines requeridos.

**Antecedente de investigación 4**, (Acitores Martínez, F., 2012). desarrollaron un estudio experimental de un sistema de bombeo con ariete hidráulico, variando la altura de elevación, altura de alimentación, inclinación vertical de la línea de alimentación y longitud del mismo. Como resultado principal obtuvieron un máximo rendimiento de 42.10 %, siendo aceptable por ser un equipo autosostenible, además mencionan que este prototipo puede mostrar un 60% de eficiencia si es que se aumenta la altura de alimentación.

**Antecedente de investigación 5**, (Campaña, C. & Guamán, D., 2011). En su investigación han desarrollado un prototipo de bomba de ariete denominado INDES 111, en lo cual, a 3.00 metros de alimentación y un caudal de alimentación promedio de 2.00 l/s teniendo como resultados: Este prototipo eleva de 5.00 m hasta 20.00 m de altura de descarga un caudal de 0.409 l/s hasta 0.065 l/s, respectivamente, mostrando una eficiencia de 19.07% hasta 3.61%.

## **2.2. Bases teóricas – científicas**

### **2.2.1. Riego**

Es el aporte de agua a los cultivos o a las plantas naturales, para satisfacer las demandas hídricas que presentan principalmente en tiempos de estiaje, o también para transformar tierras secas en tierras de producción agrícolas. Existen dos formas o métodos generales de riego, los cuales son: por Superficie y Presurizado.

Según (Demin, 2014) Las plantas absorben agua cuando se encuentran en crecimiento y pleno desarrollo.

### **2.2.1.1. Riego en Superficie**

Este método de sistema de riego, se basa en que la conducción y distribución del agua para fines de riego, se realiza aprovechando la superficie del terreno, para ello se puede realizar surcos o dar pendiente adecuados al terreno para que el agua fluye por la fuerza de la gravedad. La tipología de riego a nivel de la superficie son las siguientes:

#### ✓ **Riego mediante tendido**

Se basa en derramar aguas desde la cabecera del área del cultivo a regar, dejando que el agua inunde dicha área, sin embargo, la desventaja principal es que se pierde grandes cantidades de agua por dispersarse de manera dispareja e infiltrándose por el subsuelo, y muchos de los casos algunas partes del área de cultivo puede quedarse sin agua y en otras partes con exceso de agua.

#### ✓ **Riego a través de surcos**

Se basa en que el agua recorre por gravedad a través surcos o canales realizadas en la superficie del terreno, este tipo de riego son adecuadas para los cultivos que se siembra en filas como: lechugas, papas, ocas, etc.

### **Figura 8**

*Vista de sembrío en filas y surcos con fines de riego*



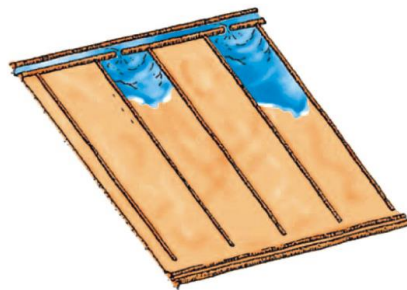
*Nota.* Elaboración propia.

✓ **Riego mediante melgas**

Este tipo de riego, se basa en derramar agua desde las partes altas o de la cabecera del área de cultivo a regar, hacia franjas de terreno delimitado por dos bordos construidos para tal fin.

**Figura 9**

*Vista de riego por melgas*



*Nota:* Tomada de (Fernández Gómez, R., 2010).

**2.2.1.2. Riego Presurizado**

En este método de riego la conducción del agua es mediante través de tuberías a presión, a media presión o baja presión, los tipos de riego presurizado son las siguientes:

✓ **Riego por goteo**



El riego por goteo, como su nombre indica, consiste en aplicar gotas de agua de manera continua hacia las plantas.

### **Figura 10**

*Vista de riego por goteo*



*Nota.* Elaboración propia.

### ✓ **Riego mediante aspersión**

Este método de riego se basa en suministrar agua a las plantas en forma de lluvias, lo cual requiere de una presión de agua adecuada y se utiliza equipos de riego como es el caso de un aspersor.

### **Figura 11**

*Vista de riego por aspersión*



*Nota.* Elaboración propia.

### **2.2.1.3. Eficiencia de tipos de sistemas de riego**

Según (MINAGRI, 2015), la hallar la eficiencia típica de un tipo de sistema de riego se debe dividir la cantidad de agua requerido por el cultivo entre la cantidad de agua que se le proporciona y nos muestra además la siguiente figura de las eficiencias típicas de los principales tipos de sistema de riego tecnificado.

#### ***Figura 12***

*Eficiencia de principales tipos de riego.*

<i>Ef.Riego (gravedad) = 0.40</i>
<i>Ef.Riego (aspersión) = 0.70</i>
<i>Ef.Riego (goteo) = 0.90</i>

*Nota.* Tomada de (MINAGRI, 2015)

### **2.2.2. Fenómeno Físico del golpe de ariete**

El fenómeno físico denominado golpe de ariete, es una honda de choque que es generado por un fluido llenado en un sistema de conductos, ocurre cuando un fluido que se encuentra en movimiento es interrumpido de manera repentina por una válvula de cierre.

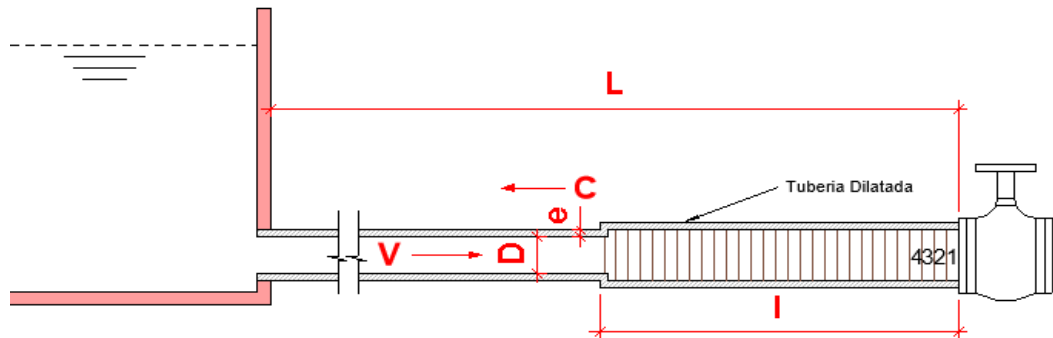
(Mataix, C., 1996) menciona, para poder estudiar y entender al fenómeno físico denominado golpe de ariete se debe descartar las siguientes hipótesis con respecto al líquido:

1. fluido incompresible
2. régimen permanente

El fenómeno físico del golpe de ariete es de tipo transitorio y por ende de régimen variable, en lo cual ya no es rígida la tubería y es compresible el líquido.

**Figura 13**

*Onda de sobrepresión dentro del bloqueo repentino de la válvula: C viene a ser la velocidad con que se propaga la onda y V viene a ser velocidad que presenta el líquido. Por donde avanza la onda de presión, el conducto se dilata y se contrae cuando se produce depresión.*



*Nota.* Tomada de (Mataix, C., 1996)

En la Figura 13, se representa una tubería de longitud (L), espesor (e) y de diámetro interior (D), por esta tubería circula agua, la cual es abastecida por un tanque de almacenamiento, y en el extremo derecho se tiene una válvula, en donde al cerrar o abrir se presentan los siguientes fenómenos:

- Si se cierra la válvula de manera rápida, la energía cinética disminuye, y por la ley de conservación de energía, va cambiando esta energía en un trabajo que comprime al fluido, llenándola así la tubería y dilatándola, en este caso se ha generado una sobrepresión, o también conocido como golpe de ariete positivo.
- En tanto, si se abre la válvula de manera rápida, puede causar una depresión, o conocido como golpe de ariete negativo.

### **2.2.3. Descripción de cómo se produce el fenómeno físico del golpe de ariete**

(Mataix, C., 1996) menciona, que para el estudio de casos reales de este fenómeno se asume un bloqueo instantáneo de la válvula, aunque en la vida real es imposible.

Si se cierra de forma instantánea y completa la válvula de la Figura 13, y a todo el fluido que se encuentra dentro de la tubería dividimos imaginariamente en forma de rodajas (rodaja 1, 2, 3 y 4 mostradas en la Figura 13), sucederá que la rodaja 1 primero quedará en reposo, luego la 2, 3, 4, y así consecutivamente requiriendo un determinado tiempo. En otras palabras, se produce una onda depresión en la válvula, lo cual se transmite con una velocidad  $C$  y en dirección contraria a la velocidad  $V$  del fluido.

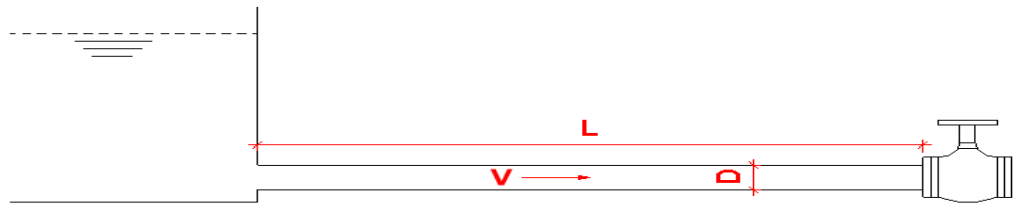
Esta onda de presión se propaga a lo largo del conducto o tubería, se refleja en el tanque, luego regresa hacia la válvula, de nuevo se dirige hacia el tanque, y así sucesivamente; causando contracción y dilatación en la tubería por las sobrepresiones y depresiones que se originan por el paso de la onda. La onda tiene un tiempo  $t_0 = \frac{L}{C}$  para recorrer el tramo entre la válvula y el tanque de almacenamiento, después de un tiempo  $T = \frac{4L}{C}$  el ciclo es repetitivo.

Por un periodo  $T = \frac{4L}{C}$ , consideremos los siguientes acontecimientos en la tubería.

1°. El fluido se desplaza iniciando desde el tanque de almacenamiento hacia la válvula con una velocidad  $V$  dentro de la tubería, en un régimen permanente y sin perturbación, así como se muestra en la Figura 14.

#### **Figura 14**

*Conducto en estado normal, libre de perturbaciones.*

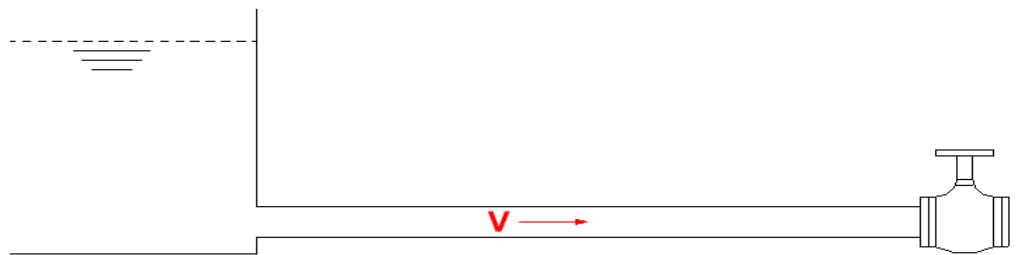


*Nota.* Tomada de (Mataix, C., 1996)

2°. Tiempo 0. Cuando se cierra la válvula de forma instantánea, disminuye la velocidad del fluido lentamente iniciándose en la válvula a lo largo de todo el conducto o tubería, como muestra la Figura 15.

**Figura 15**

*Bloqueo o cierre rápido de la válvula.*

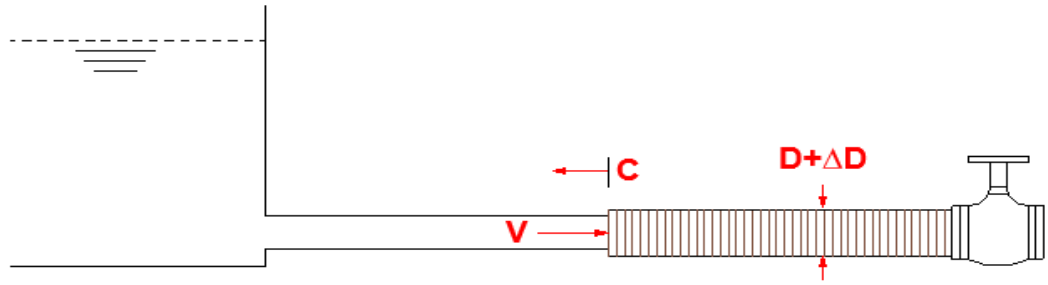


*Nota.* Tomada de (Mataix, C., 1996)

3°. Tiempo  $\frac{t_0}{2} = \frac{1}{2} \frac{L}{c}$ . En este instante el frente de la onda de presión llega a una distancia  $L/2$  propagándose desde la válvula con una celeridad  $C$ , y el tramo de la tubería en donde se propaga esta onda se dilata por la sobrepresión, cuya la velocidad del fluido es  $V=0$ . Mientras en el otro tramo de la tubería el diámetro se mantiene normal y el fluido sigue transportándose hacia la válvula con la velocidad  $V$ .

**Figura 16**

*Transferencia de la onda de presión.*

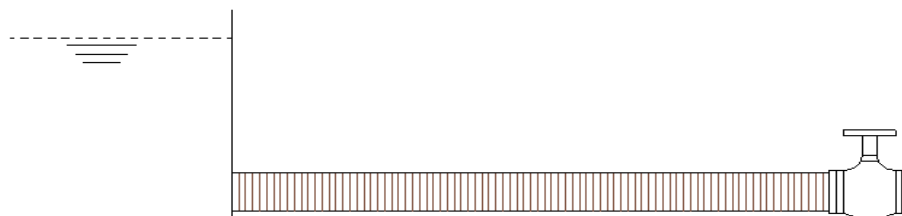


*Nota.* Tomada de (Mataix, C., 1996)

4°. En el tiempo  $t_0 = \frac{L}{C}$ , la onda de presión llega hasta el tanque, y en efecto la tubería se encuentra dilatada. Todo el líquido que está dentro del conducto se encuentra en estado de reposo con  $v=0$ , pero no se encuentra en equilibrio, luego como un resorte el líquido empieza a moverse con velocidad  $V$  desde la válvula hacia el tanque, así como muestra la Figura 17.

**Figura 17**

*Llegada de sobrepresión al tanque de almacenamiento.*

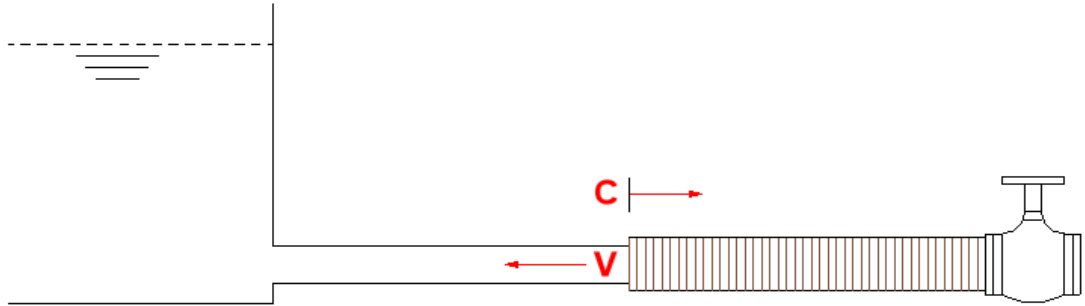


*Nota.* Tomada de (Mataix, C., 1996)

5°. En el tiempo  $\frac{3}{2}t_0 = \frac{3L}{2C}$ . La onda se sigue propagando hacia la válvula con una celeridad  $C$ , y el tramo izquierdo del conducto o tubería se contrae recuperando su estado inicial del diámetro, y también en este tramo izquierdo el fluido se transporta con dirección al tanque de almacenamiento mediante una velocidad  $V$ , como indica la Figura 18

**Figura 18**

*Vista de mitad de tubería contraído*

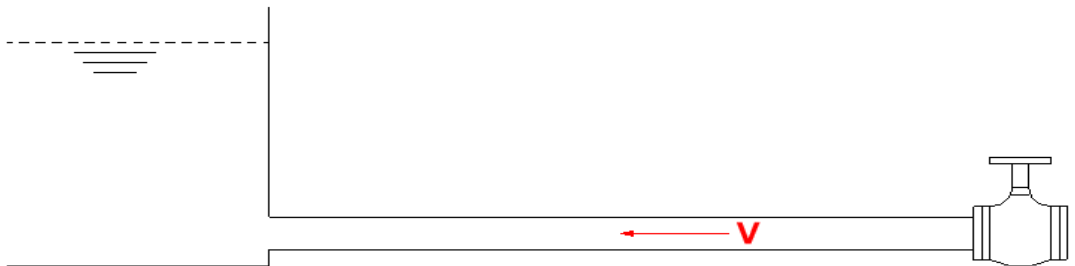


*Nota.* Tomada de (Mataix, C., 1996)

6°. En el Tiempo  $2t_0 = \frac{2L}{c}$ . El fluido se transporta iniciando en la válvula hasta llegar al tanque mediante una velocidad  $V$ , no existe sobrepresión a lo largo de la tubería y por ello el diámetro recupera su dimensión inicial. Sin embargo, a causa de la inercia la presión sigue reduciendo, asimismo, la onda continúa propagándose iniciando en la válvula hasta llegar al tanque de almacenamiento, con depresión, mediante una velocidad  $C$ , en donde el diámetro de la tubería disminuirá hasta menos que su diámetro inicial, como se muestra en la Figura 19.

### Figura 19

*Diámetro normal de la tubería.*

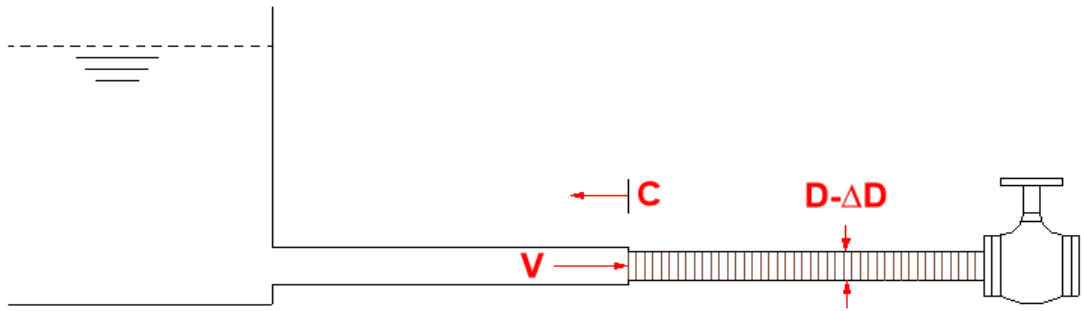


*Nota.* Tomada de (Mataix, C., 1996)

7°. En el tiempo  $\frac{5}{2}t_0 = \frac{5L}{2c}$ , el tramo derecho de la tubería de longitud  $L/2$  está lleno de agua sin movimiento, y este tramo presenta una depresión, por lo que el diámetro es inferior de su valor inicial. Ver Figura 19.

### Figura 20

*Depresión en el tramo L/2 de la tubería.*

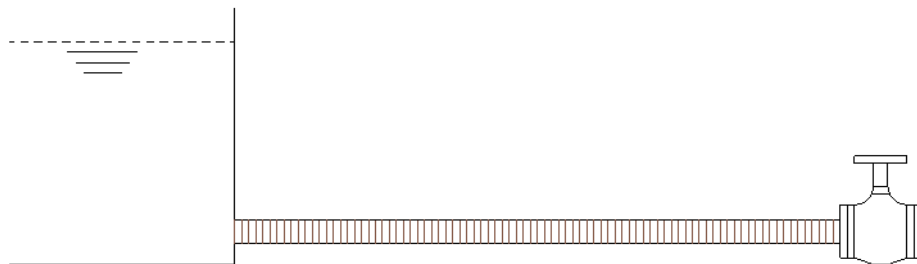


*Nota.* Tomada de (Mataix, C., 1996)

8°. En el tiempo  $3t_0 = \frac{3L}{c}$ , a lo largo de toda la longitud de la tubería se tendrá agua sin movimiento, mas no en equilibrio, asimismo existe una depresión a lo largo de toda la tubería y su diámetro es menor del diámetro inicial, en este instante el fluido inicia su transporte desde el tanque de almacenamiento hasta llegar a la válvula mediante velocidad  $V$ , como se indica en la Figura 21.

**Figura 21**

*Depresión a lo largo de toda la tubería.*



*Nota.* Tomada de (Mataix, C., 1996)

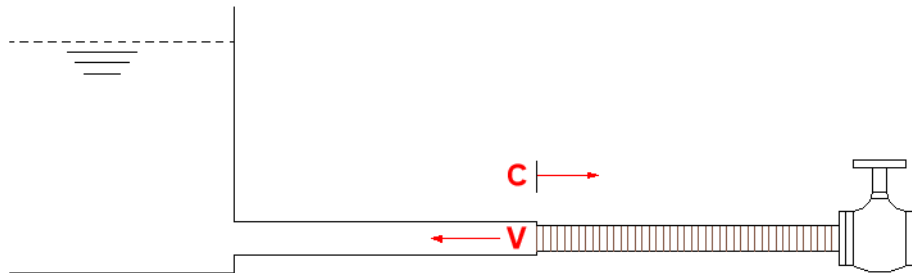
9°. En el tiempo  $\frac{7}{2}t_0 = \frac{7L}{2c}$ , se tiene el fluido en pleno movimiento mediante una velocidad  $V$  en el tramo izquierdo de la tubería, y en este tramo el diámetro es normal, mientras que, en el tramo derecho, se sigue teniendo líquido en reposo y en un estado de depresión con un diámetro menor de lo normal. En este instante la



dirección de la onda es desde el tanque hacia la válvula, como se indica en la Figura 22.

### Figura 22

*Vista de tubería con el tramo izquierda en movimiento.*



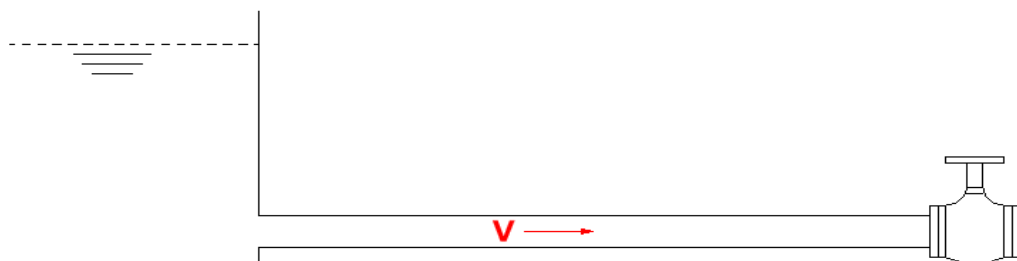
*Nota.* Tomada de (Mataix, C., 1996)

**10°.** En el tiempo  $4t_0 = \frac{4L}{c}$ , todo es igual como en el tiempo 0, el fluido se transporta mediante una velocidad  $V$  hacia la válvula, y el diámetro vuelve a su estado inicial en toda la tubería, como se muestra en la Figura 23.

Entonces el periodo de este movimiento oscilatorio es:  $T = 4t_0 = \frac{4L}{c}$ .

### Figura 23

*Diámetro normal de la tubería.*



*Nota.* Tomada de (Mataix, C., 1996)

En teoría este movimiento de manera oscilatorio sigue interminablemente. En lo práctico, debido a que la tubería se deforma y también debido a la viscosidad del líquido, la energía se disipa y se amortiguan las oscilaciones.

#### **2.2.4. Bomba de Ariete Hidráulico**

Es un equipo hidráulico que funciona por ciclos, lo cual aprovechando la energía cinética del fenómeno físico golpe de ariete bombea un fluido hacia un nivel superior, la principal ventaja de este equipo es que es autosostenible que no requiere de fuentes como el combustible o la electricidad, lo cual no genera gastos en compras de dichos insumos, así mismo, es ecológico, ya que no emite sustancias tóxicas al medio ambiente.

#### **Figura 24**

*Bomba de Ariete típico (ecológico).*



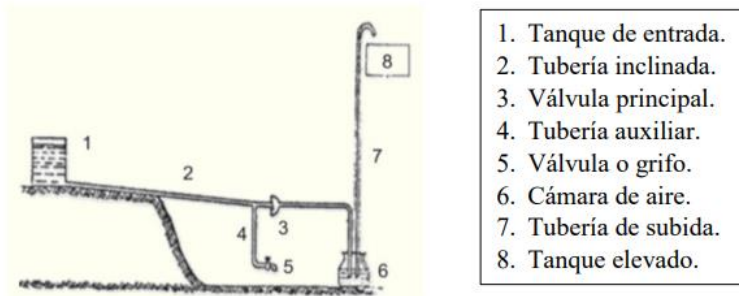
*Nota.* Elaboración propia

#### **2.2.5. Historia de la bomba de ariete hidráulico**

(Chero, A. , 2018) . En su tesis de grado, nos relata la historia del ariete hidráulico, en donde menciona que el invento inicial fue por el inglés John Whitehurst, debido a que, en el año 1775, construyó un equipo novedoso para esa época, lo cual al accionar de manera manual un grifo instalado en una tubería, que abastecía agua a un tanque ubicado a una altura de 4.9 m, aprovechando el la energía del golpe de ariete, sin embargo, este equipo producía mucho ruido y a la vez vibrada demasiado, por lo que no fue muy acogido.

## Figura 25

*Esquema del sistema de bombeo según John Whitehurst*

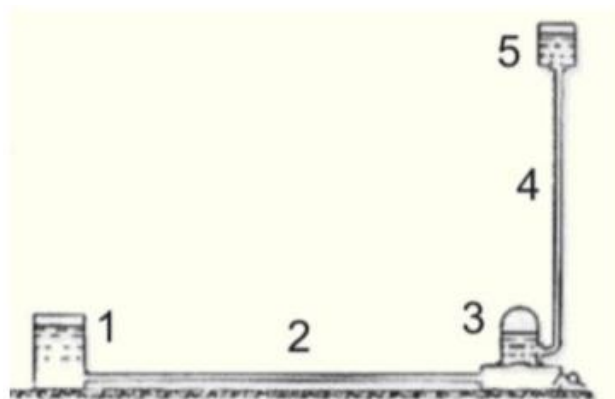


*Nota.* Tomada de (Chero, A. , 2018)

En 1776, luego de la muerte de John Whitehurst, el francés Joseph Montgolfier construyó un ariete automático, y lo llamó “belier hydraulique”, lo cual traducido al español es ariete hidráulico. Para poner en funcionamiento este equipo, se abría la válvula de impulsión con la energía cinética del líquido, ya no necesitaba de fuerzas exteriores.

## Figura 26

*Esquema del sistema de bombeo según Joseph Montgolfier*



*Nota.* Tomada de (Chero, A. , 2018)

En 1816. El prototipo de ariete según Joseph Montgolfier fue afinado por su hijo Pierre François Montgolfier, diseñando una válvula para insertar aire a la cámara, cuyo diseño mejoró el rendimiento de la bomba de ariete, lo cual elevó agua hasta 48 m de altura.

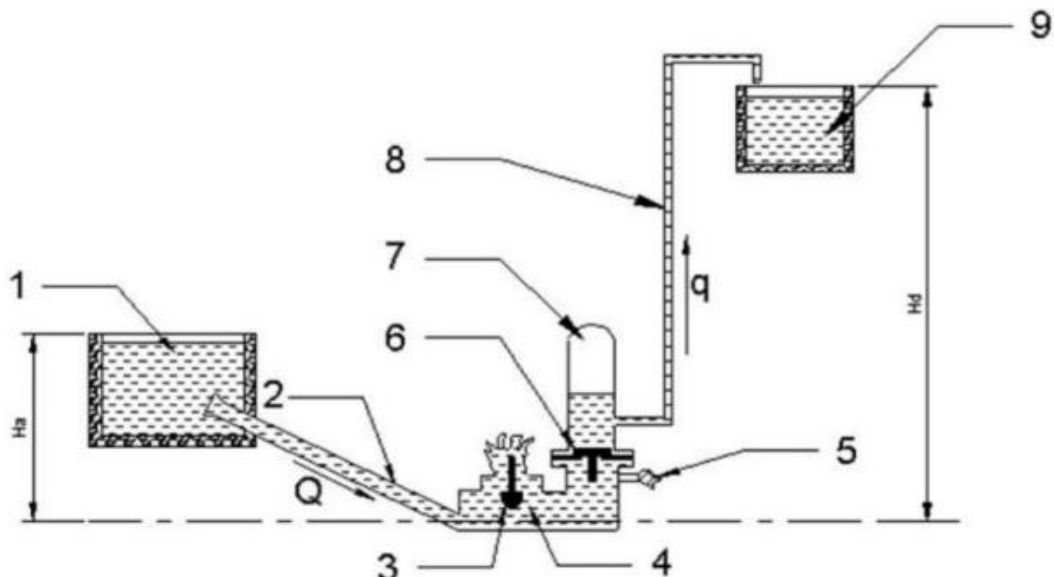
Por los años 50 y 60, ya dejó de difundirse este equipo por las novedades del petróleo.

### 2.2.6. Configuración del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico

A continuación, se muestra la configuración básica y genérica del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, también se mencionará la función de cada uno de los elementos que conforman este sistema de bombeo hidráulico.

#### Figura 27

*Configuración de sistema de bombeo mediante Ariete Hidráulico.*



*Nota.* Tomada de (Elioiqui, G. , 2017)

#### 2.2.6.1. Fuente de Alimentación (1)

Las fuentes de alimentación pueden ser: manantiales, depósitos, lagunas, canales, ríos etc. Esta fuente se debe ubicar a una altura ( $H_a$ ) por encima del nivel de la bomba de ariete, y así mediante la tubería de alimentación (2), se logra abastecer agua (caudal de alimentación) por gravedad de forma continua, con una velocidad constante y sin interrupción.

### 2.2.6.2. Caudal de alimentación (Q).

Es la cantidad de agua que ingresa a la bomba de ariete desde la fuente de alimentación.

(Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013) mencionan que, en un perfecto sistema hidráulico, sucederá una buena transferencia del flujo cumpliéndose lo siguiente:

$$q * Hd = Q * Ha$$

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

Donde:

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

Hd : Altura de descarga (m).

Q : Caudal de alimentación (m<sup>3</sup>/s).

Ha : Altura de alimentación (m).

Sin embargo, en un sistema real siempre existe perdidas debido a la fricción de la superficie de los elementos que conforman la red de tuberías para transportar el líquido entre el fluido.

El ariete hidráulico no entrega todo el caudal de alimentación. Su eficiencia es dependiente de la altura de alimentación (Ha) y también de la altura de descarga (Hd), así mismo se puede asumir una eficiencia de 50% de la bomba de ariete, si es que es desconocida.

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

**Ecuación 2.** Eficiencia del ariete Hidráulico

Dónde:

n : 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.

### **2.2.6.3. Tubería de alimentación (2).**

Es el conducto que conecta la fuente de alimentación de agua con la bomba de ariete, en esta tubería es en donde produce las ondas por el fenómeno de golpe de ariete, debido a ello debe ser de un material resistente, con una longitud, diámetro e inclinación adecuada.

#### **a) Longitud**

(Campana, C. & Guamán, D., 2011) mencionan las siguientes características que debe cumplir la tubería de alimentación:

- Las paredes del tubo deben ser lisos para evitar pérdidas de carga por fricción.
- La longitud de la tubería de alimentación, debe evitarse que sea demasiado corta, debido a que provocaría un cierre prematuro de la válvula de impulsión (3) y por ende no se generaría un aumento de presión adecuado, así mismo, no debe ser demasiada larga ya que habría mayor pérdida por fricción y reducirá la capacidad y/o la eficiencia de la bomba.

#### **b) Diámetro**

(Bonilla, J. & Hidrobo, F., 2011) menciona que, para hallar el diámetro de la tubería de alimentación, se debe usar la ecuación según 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 (m<sup>3</sup>/s).

HD : Altura de descarga (m)

Hs : Altura de sobrepresión por golpe de ariete (m). Este valor es igual a 0.3HD.

Así mismo, existe una relación de Longitud/Diámetro de la tubería de alimentación, según (Campaña, C. & Guamán, D., 2011), los rangos de longitud para tuberías de alimentación en función de sus diámetros deben estar de acuerdo a tabla siguiente.

**Tabla 1**

*Rango de longitud para tuberías de alimentación en función 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.* Tomada de (Campaña, C. & Guamán, D., 2011)

Se puede verificar la importancia de la relación que debe existir entre la longitud y su diámetro de la tubería de alimentación para la buena

funcionalidad de la bomba de ariete. Según (Watt, S. B., 1975) la relación recomendable de Longitud/Diámetro (L/D), debe estar comprendido entre los límites  $150 \leq \frac{L}{D} \leq 1000$ , o el cuádruple de la altura de alimentación, escogiendo el valor menor.

#### **2.2.6.4. Altura de alimentación (Ha).**

La altura (Ha), es el desnivel que existe entre la fuente de alimentación y la bomba de ariete, el objetivo de este desnivel es que el agua que se transporta mediante la tubería de alimentación, tenga un aumento de velocidad hasta llegar al nivel de la bomba de ariete, esta altura es hallada como sigue:

Según (Watt, S. B., 1975), la altura (Ha) debe comprender entre los valores de 1 a 12 m, y se halla con la siguiente formula:

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

#### **Ecuación 5. Altura de alimentación (Ha)**

Donde:

Ha : Altura de alimentación (m)

Hd : Altura de descarga (m)

#### **2.2.6.5. Válvula de impulso (3).**

A esta pieza se le considera como el motor de la bomba, porque es quien genera el fenómeno de golpe de ariete por su cierre repentino debido al incremento de velocidad del agua. Su elección y/o diseño adecuado permitirá que el equipo trabaje con su máxima eficiencia en el bombeo de agua.



(Campaña, C. & Guamán, D., 2011), nos menciona que la válvula de impulso, para su correcto desempeño en su operatividad, debe tener las siguientes características:

- Ser resistente al fenómeno físico del golpe de ariete.
- Ser resistente al flujo.
- Ser resistente a la fatiga.
- Y no tenga características físicas que pueden producir estrangulamiento o reducción significativa de presión.

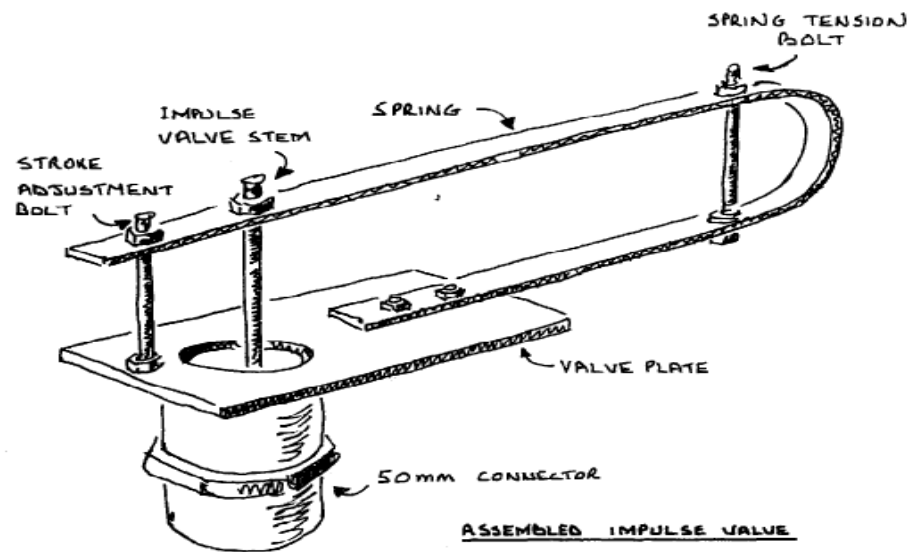
Para ello, mencionan las siguientes alternativas:

**a) Válvula con resorte de pletina**

(Campaña, C. & Guamán, D., 2011). Esta tipología de válvula presenta una facilidad en su fabricación y se puede ensamblar en cualquier taller de mecánica con instrumentos o herramientas mínimas, además los materiales son de fácil adquisición, ya que consta de: tubos, pletinas, planchas, pernos.

**Figura 28**

*Válvula mediante resorte de pletina*



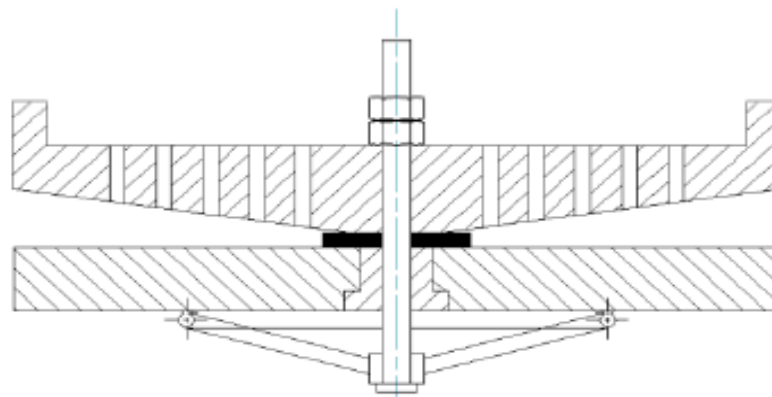
*Nota.* Tomada de (Watt, S. B., 1975)

**b) Válvula con plato perforado**

(Campaña, C. & Guamán, D., 2011), Esta válvula tiene un plato perforado, por donde escapa el agua hasta poder cerrarse, sus desventajas principales son: presenta dificultad al construir y presenta menor tiempo de vida útil. debido a que no posee un diseño resistente.

**Figura 29**

*Válvula con plato perforado.*



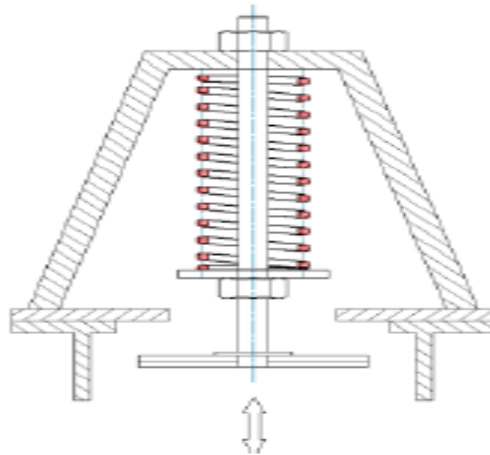
*Nota.* Tomada de Campaña, C. & Guamán, D. (2011)

### c) Válvula regulada con resorte

(Campaña, C. & Guamán, D., 2011) Su diseño es por medio de cálculos muy exactos y es de fácil construcción. La carrera de la válvula es gobernada por un resorte en su desplazamiento, esta válvula puede instalarse de manera vertical u horizontal.

### Figura 30

*Válvula con resorte.*



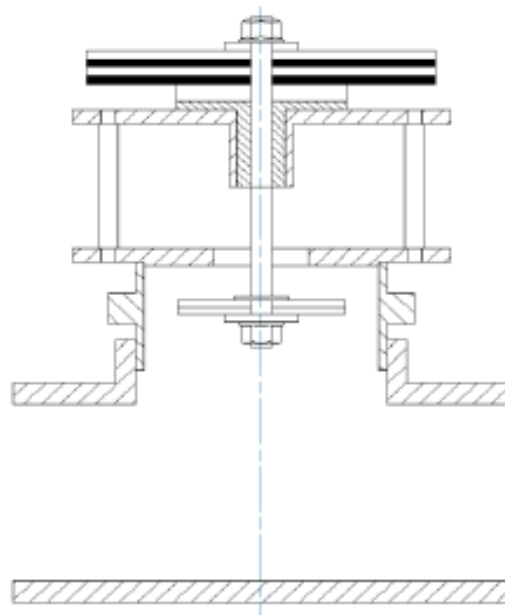
*Nota.* Fuente: Campaña, C. & Guamán, D. (2011)

### d) Válvula con pesas encima

(Campaña, C. & Guamán, D., 2011) Su construcción es robusta, y por ello se garantiza un ciclo de vida útil elevado. La ventaja de esta válvula es que se puede regular su longitud de su carrera para poder calibrar la velocidad de cierre modificando sus pesas. Sin embargo, tiene como desventaja principal, que al usar esta tipología de válvulas se debe instalar de manera vertical. Ya que las pesas actúan por gravedad.

**Figura 31**

*Válvula con pesas encima.*



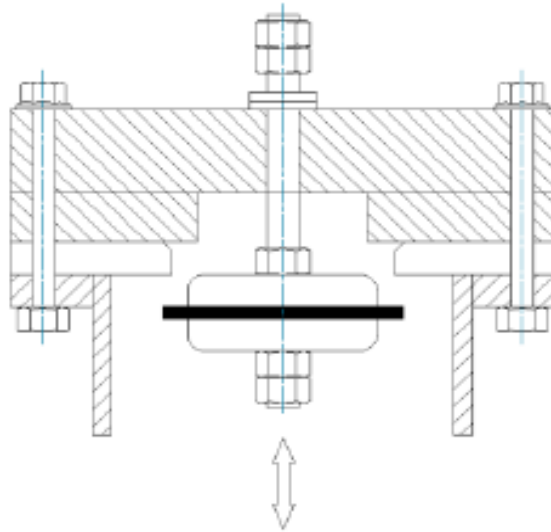
*Nota.* Fuente: Campaña, C. & Guamán, D. (2011).

**e) Válvula con pesas debajo**

(Campaña, C. & Guamán, D., 2011) menciona que las pesas se ubican por debajo de la tapa de la válvula, este tipo de válvula funciona como la válvula que presenta pesas encima, su diseño es manera robusta, y de igual manera que en el caso anterior debe ser instalada verticalmente.

**Figura 32**

*Vista transversal de válvula al inferior*



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

#### **2.2.6.6. Caja de Válvula (4).**

Es parte del cuerpo de la bomba de ariete, se llama así, porque alberga a la válvula de impulsión, válvula de descarga y válvula de aire.

#### **2.2.6.7. Válvula de aire (5).**

La instalación de esta válvula es opcional.

Es un orificio ubicado en la válvula de descarga, lo cual permite ingresar y reemplazar el aire aspirado por el líquido que asciende al tanque, succionando aire de manera permanente según requiere este tanque de aire.

#### **2.2.6.8. Válvula de descarga (6).**

Esta válvula es de tipo check, es la encargada de permitir el paso del líquido desde la caja de válvulas hacia al tanque de aire, impidiendo que el agua retorne, y hacer que este fluido que se encuentra dentro del tanque de aire y luego es impulsado hacia la fuente de alimentación.

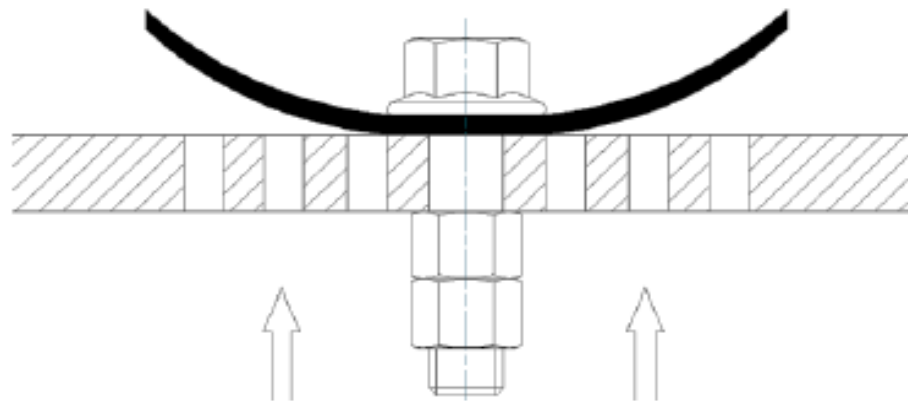
(Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013), presentan las siguientes alternativas de tipologías de válvulas de descarga:

**a) Válvula tipo solapa**

(Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013), menciona que este tipo de válvula está conformada por una tapa de goma insertada al medio en una placa plana con perforaciones. El movimiento de esta tapa de goma está reducido por el tipo y espesor del material. La porción del líquido que traspasa el orificio en la placa de entrega depende únicamente de la resistencia física del material y de la presión de descarga.

**Figura 33**

*Vista de válvula de solapa*



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

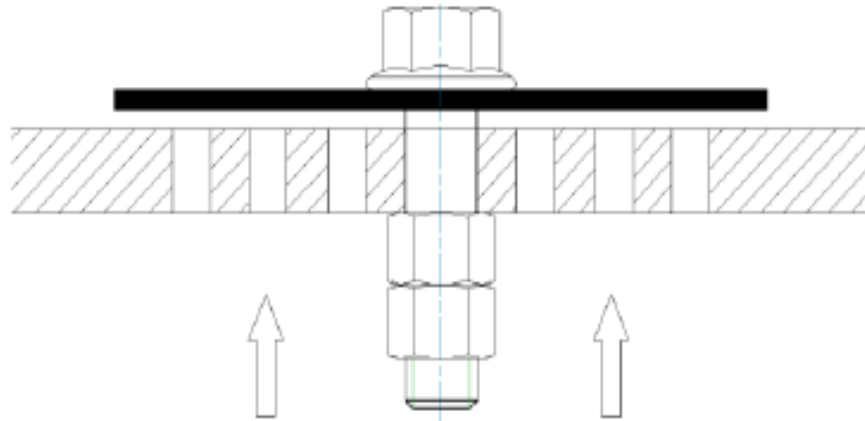
**b) Válvula tipo cabezal**

(Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013), esta válvula emplea como obturador a un caucho muy rígido que baja y sube con un eje central. La ventaja de este tipo de válvula es que permite agujeros de grandes diámetros en la placa de entrega y como desventaja es que la vida útil de esta válvula es corta debido al desgaste breve.

Se debe configurar la carrera de la válvula a fin de presentar desplazamientos cortos (menores a 5 mm) y así evitar el reflujo.

### Figura 34

*Válvula tipo cabeza*



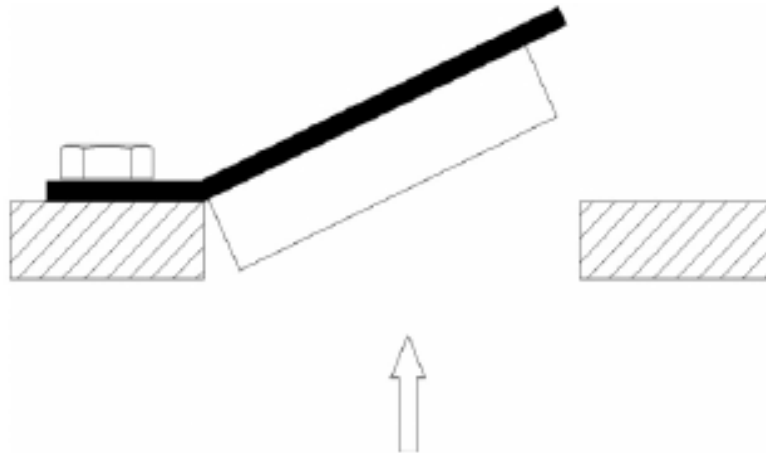
*Nota.* Fuente: (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013)

### c) Válvula de bisagra

(Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013), menciona que en este modelo de válvula se puede realizar un agujero de mayor dimensión sobre la placa de entrega, lo cual facilita el ingreso del flujo sin mucha resistencia, sin embargo, se tiene la probabilidad de producirse un retroceso del flujo debido a la lentitud del cierre, lo cual probablemente sea un problema, además los materiales usados para la bisagra y la manera como se fijan son decisivos y a menudo causan problemas.

### Figura 35

*Vista de válvula de bisagra*



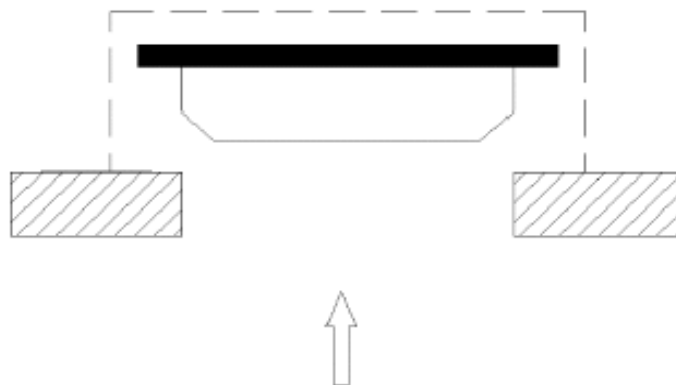
*Nota.* Fuente: Rivadeneira, S. & Silva, L. (2013).

**d) Válvula de disco suelto**

(Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013). Menciona que este tipo de válvula es más difícil de fabricar, lo cual es con un material similar y con las mismas características que se fabrica una válvula tipo cabezal, está conformado por una jaula sobre la parte superior de la válvula.

**Figura 36**

*Vista de válvula de disco suelto*



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

**e) Válvula de tapón**

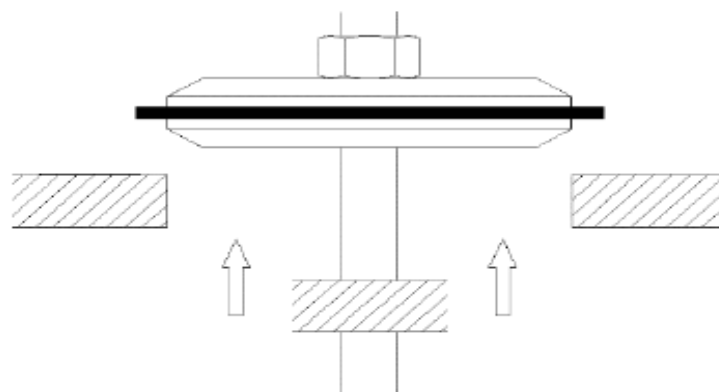
(Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013). Mencionan que es una válvula de impulso invertida, en donde el peso de la válvula tiene que ser menor



que la presión para así poder levantarlo, El área libre para el paso del flujo es grande y puede ser una ventaja, pero mientras que la válvula se cierra puede producirse un reflujo mayor. Para poder facilitar un cierre rápido se puede incorporar un resorte, pero esto requerirá de una mayor presión para abrirlo.

### **Figura 37**

*Válvula de tapón*



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

#### **2.2.6.9. Tanque de aire (7)**

Este dispositivo se ubica inmediatamente sobre la válvula de descarga, gracias al aire comprimido contenida en este tanque, permite que el agua sea impulsada mediante la tubería de descarga, además, absorbe la sobrepresión y trabaja como un resorte por amortiguar la presión.

(Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013). Mencionan que dentro del tanque de aire se originan dos tipos de presiones (mínimo y máximo), la mínima es cuando cierto volumen de aire aguanta al volumen de agua que se encuentra en la tubería de descarga y otra máxima en el momento que llega el fluido al tanque y el aire es comprimida. Si es que se quiere hallar estas presiones se debe usar la ecuación según la Ley de Boyle.

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

### **Ecuación 6. Ley de Boyle**

Dónde:

$P_1$  = Presión mínima.

$V1_{aire}$  = Volumen inicial de aire en el tanque.

$P_2$  = Presión máxima.

$V2_{aire}$  = Volumen dos de aire en el tanque.

#### **2.2.6.10. Tubería de descarga (8)**

Es la tubería que conecta la bomba de ariete con el tanque de almacenamiento, y no necesariamente debe ser de un material rígida.

Por la tubería de descarga, el aire comprimido en el tanque impulsa al líquido acumulado en el mismo, entregando un caudal casi uniforme al tanque de almacenamiento.

(Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013). Menciona que la relación del diámetro de la tubería de alimentación es el doble con respecto al diámetro de la tubería de descarga.

#### **2.2.6.11. Caudal de descarga (q)**

Es la cantidad de agua impulsado que llega al tanque de almacenamiento (9) mediante la tubería de descarga, lo cual es bombeado por el ariete hidráulico.

(Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013), indican que para hallar este caudal de descarga se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{q * Hd}{Ha * D^2 * \mu_c} = \frac{\pi * C_d}{10}$$

**Ecuación 7.** Ecuación para hallar el caudal de entrega.

Dónde:

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

$H_a$  : Altura de alimentación (m).

$H_d$  : Altura de descarga (m).

$D$  : Diámetro interno de la tubería de alimentación (m).

$\mu_c$  : Velocidad de cierre de la válvula de impulso (m/s).

$C_d$  : Coeficiente de descarga.

Despejando el caudal de descarga, queda de la siguiente manera:

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

**Ecuación 8.** Ecuación para hallar el caudal de entrega.

- **Velocidad de cierre de la válvula de impulso**

Para hallar el valor de la velocidad de cierre de la válvula de impulso se utiliza la siguiente fórmula.

$$\mu_c = 0.135 * C_{vi}$$

**Ecuación 9.** velocidad de cierre de la válvula de impulso

Dónde:

$\mu_c$  : Velocidad de cierre de la válvula de impulso (m/s).

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

- **Coeficiente de descarga**

Este parámetro es adimensional, y se calcula de la siguiente manera:

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

**Ecuación 10.** Caudal libre

El coeficiente de descarga es igual a:

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

**Ecuación 11.** Coeficiente de descarga.

Dónde:

- Ql : Caudal libre (m<sup>3</sup>/s).  
Cd : Coeficiente de descarga.  
G : Gravedad (m/s<sup>2</sup>).  
 $\Delta h$  : Diferencia de alturas (m).  
A : Área a la salida del fluido (m<sup>2</sup>).

**- Caudal libre**

Para hallar este valor, se considera que la válvula de impulso se no se mueve dejando pasar al agua y puede fluir hacia la atmosfera de manera ininterrumpida.

A través de la formula genérica de la energía, será fácil desarrollar problemas donde presentan pérdidas por fricción que se producen cuando el fluido fluye por un conducto, nos da a conocer la velocidad del fluido en el interior del conducto.

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

**Ecuación 12.** Ecuación General de la Energía (Bernoulli)

Dónde:

- $P_1$  : Presión en el punto uno (Pa).  
 $P_2$  : Presión en el punto dos (Pa).  
 $\gamma$  : Peso específico del agua (N/m<sup>3</sup>).  
 $Z_1$  : Altura del punto uno sobre nivel de referencia (m).

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

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

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

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

$h_a$  : Energía añadida al fluido mediante un dispositivo mecánico (m).

$h_R$  : Energía removida del fluido mediante un dispositivo mecánico (m).

$h_L$  : Pérdidas de energía (pérdidas mayores y menores) en el sistema (m).

#### - **Pérdidas mayores**

Son producidas por la fricción que tiene el fluido sobre la superficie del conducto. Es calculado con la siguiente expresión:

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

**Ecuación 13.** Ecuación de Darcy-Weisbach.

Dónde:

$h_L$  : Pérdida mayor (m).

$L$  : Longitud de la corriente de flujo (m).

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

$V_2$  : Velocidad en el punto dos (m).

$f$  : Factor de fricción.

#### - **Pérdidas menores**

(Mott R, 1996), menciona que son las pérdidas producidas por un cambio u obstrucción del recorrido del flujo, y esto se debe cuando existen válvulas o cualquier tipo de accesorios.

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

**Ecuación 14.** Ecuación para hallar perdidas menores.

Dónde:

$h_{Lm}$  : Pérdida menor (m).

k : Coeficiente de resistencia al flujo.

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

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

- **Factor de Fricción**

(Mott R, 1996), indica que este parámetro se calcula mediante la ecuación desarrollada por (Swamee, P, & Jain, K., 1976) es como sigue:

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

**Ecuación 15.** Factor de fricción.

En dónde:

f : Factor de fricción.

D : Diámetro interno de la tubería (m).

$\varepsilon$  : Rugosidad (m).

$N_{RE}$  : Numero de Reynolds.

- **Número de Reynolds**

(Mott R, 1996), menciona que un flujo laminar es cuando se tiene un flujo lento y homogéneo, y por otro lado, un flujo acelerado y acelerado es conocido como flujo turbulento.

Si  $N_{RE} < 2000$ , se trata de un Flujo Laminar.

Si  $N_{RE} > 4000$ , se trata de un Flujo Turbulento.

Si  $2000 < N_{RE} < 4000$ , se trata de un Flujo Impredicible.

Número de Reynolds nos ayudara saber el tipo de flujo, lo cual hallara de la siguiente manera:

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

**Ecuación 16.** Número de Reynolds.

Dónde:

V : Velocidad del flujo (m/s).

D : Diámetro interno de la tubería (m).

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

#### - **Rugosidad Relativa**

Este parámetro se determina con la siguiente ecuación:

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

**Ecuación 17.** rugosidad relativa.

Dónde:

$R_r$  : Rugosidad relativa.

D : Diámetro interno de la tubería (m).

$\varepsilon$  : Rugosidad (m)

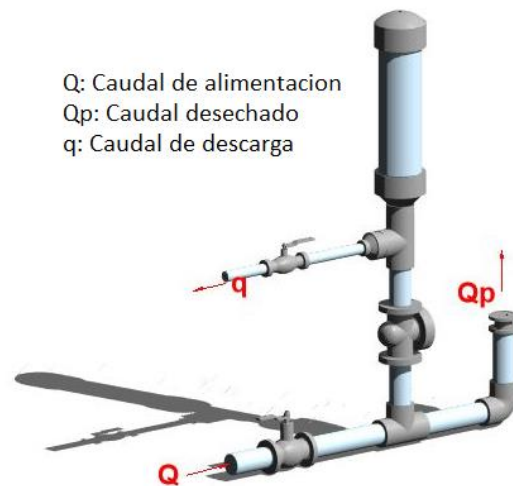
### 2.2.6.12. Caudal desechado.

Es la cantidad de agua que el equipo de ariete arroja hacia el exterior por cuando se encuentra en funcionamiento, y esto debido a que se abre la válvula de impulsión.

En la siguiente Figura se puede observar los tres tipos de caudal que se producen cuando se encuentra en funcionamiento el ariete hidráulico.

**Figura 38**

*Tipos de caudales que presenta la bomba de ariete hidráulico*



*Nota.* Elaboración propia.

### 2.2.6.13. Rendimiento Volumétrico.

(Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013). mencionan que este parámetro se calcula dividiendo el caudal de descarga entre el caudal de alimentación, que se presentan en una bomba hidráulica.

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

**Ecuación 18.** Rendimiento volumétrico.

Dónde:



$\eta_v$  : Rendimiento volumétrico (%).

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

$Q$  : Caudal de alimentación (m<sup>3</sup>/s).

#### **2.2.6.14. Potencia de la bomba de ariete.**

(Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013), la potencia que se requiere para bombear un líquido, es el resultado de multiplicar el caudal, la altura de descarga y el peso específico del líquido.

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

**Ecuación 19.** Potencia del ariete hidráulico.

Dónde:

$P$  : Potencia (W).

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

$Q$  : Caudal de entrega (m<sup>3</sup>/s).

$H_d$  : Altura de descarga (m).

#### **2.2.6.15. Tanque de Almacenamiento (9).**

Es la estructura que se encuentra a un nivel superior de la fuente de alimentación, cuya función será almacenar el agua impulsada por la bomba de ariete, su diseño hidráulico dependerá de la demanda de agua que se requiere almacenar.

#### **2.2.7. Evaluación financiera del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico**

(Mendez, R. , 2014). Menciona que es muy importante evaluar financieramente, ya que nos ayudara a poder verificar si es rentable o no un proyecto de inversión, y de acuerdo a esa rentabilidad, definir si conviene o no de invertir en dicho proyecto. El análisis se realiza al comparar los ingresos netos que

genera el proyecto con los que se podrían obtener si es que la inversión se haría en su mejor uso alternativo.

Así mismo, la evaluación financiera permite comparar u ordenar proyectos de inversión, en casos donde se presentan limitaciones de capital.

(Mendez, R. , 2014) Nos da a conocer que para evaluar económicamente un proyecto hay tres criterios básicos, las cuales implica analizar alternativas cuantificables en términos económicos, asociando una serie de beneficios y egresos netos de dinero, estos criterios básicos son los siguientes:

- Valor presente neto (VPN)
- Tasa interna de rendimiento (TIR)
- Relación Beneficio – Costo (B/C)

#### **2.2.8. Flujo de caja interno del proyecto de inversión**

Es la diferencia entre el dinero que ingresa y el dinero que sale de caja (ingresos y egresos) en un determinado ciclo.

(Mendez, R. , 2014). Menciona que el flujo de caja tiene como objetivo determinar el estado de liquidez del proyecto en un tiempo determinado, es en donde se recogen todos los ingresos y egresos que se pagan dicho periodo contable, las consideraciones que componen el flujo de caja son las siguientes:

- Ingreso por ventas
- Recuperación de ventas realizadas en fechas anteriores
- Desembolsos por pagos de utilidades
- Pago de intereses
- Inversiones a corto y largo plazo.
- Pagos de costos fijos y variables efectivamente pagadas
- Prestaciones y cuentas a proveedores en el momento en que se pagan

- Pago de impuestos
- etc.

### 2.2.9. Valor presente neto (VPN)

(Mamani, R., 2015). Menciona que el valor presente neto se calcula restando el total de los beneficios (ingresos) actualizados, menos el total de los costos (egresos) actualizados, para una tasa de descuento  $i$ , y la expresión matemática es la siguiente:

$$VPN(i) = \sum_{j=0}^j \frac{VA_j}{(1+i)^j} - E_0$$

**Ecuación 20.** Valor presente neto (VPN).

Donde:

$VA_j$  : Ingresos menos egresos para el año  $j$

$E_0$  : Inversión en el año cero

$i$  : tasa de interés de descuento o tasa mínima aceptable

$j$  : periodo

(Mendez, R., 2014). Menciona que la regla para decidir según el criterio VPN es de la siguiente manera:

- Si el  $VPN > 0$ ; el proyecto se debe aceptar.
- Si el  $VPN = 0$ ; el proyecto es indiferente
- Si el  $VPN < 0$ ; el proyecto se debe rechazar.

### 2.2.10. Tasa interna de rendimiento (TIR)

(Mamani, R., 2015). Menciona que la Tasa Interna de Retorno (TIR) es aquel valor de la tasa de interés de descuento, lo cual hace igual a cero al Valor

Presente Neto (VPN) de un flujo de efectivo, por lo cual se deduce la siguiente ecuación matemática para calcular la TIR:

$$\sum_{j=0}^j \frac{VA_j}{(1 + TIR)^j} - E_0 = 0$$

**Ecuación 21.** Tasa interna de rendimiento (TIR).

Donde:

$VA_j$  : Ingresos menos egresos para el año  $j$

$E_0$  : Inversión en el año cero

TIR : tasa interna de rendimiento

$j$  : periodo

Este criterio nos ayuda a tomar una decisión sobre los proyectos de inversión, lo cual nos da a entender un caso donde la ganancia del proyecto cubre solamente el costo de la inversión.

(Mendez, R. , 2014). Menciona que la regla para decidir según el criterio de la TIR es de la siguiente manera:

- Si la TIR > tasa mínima aceptable ( $i$ ); el proyecto se debe aceptar.
- Si la TIR = tasa mínima aceptable ( $i$ ); el proyecto es indiferente
- Si la TIR < tasa mínima aceptable ( $i$ ); el proyecto se debe rechazar.

### 2.2.11. Relación Beneficio – Costo (B/C)

(Mendez, R. , 2014). Menciona que es la relación del valor presente de los ingresos (beneficios) brutos entre el valor presente de los costos (egresos) brutos.

La expresión matemática para hallar la relación B/C es de la siguiente manera:

$$\frac{B}{C} = \frac{VPI}{VPC}$$

**Ecuación 22.** Relación Beneficio - Costo.

Donde:

B/C : Relación Beneficio – Costo

VPI : Valor Presente de los ingresos (beneficios) netos

VPC : Valor Presente de los costos (inversiones) brutos

De acuerdo a (Mendez, R. , 2014). La regla para decidir según el criterio de la relación B/C es de la siguiente manera:

- Si  $B/C > 1$ ; el proyecto se debe aceptar. Indica que el valor presente de los beneficios es mayor que el de los costos.
- Si  $B/C = 1$ ; el proyecto es indiferente. Indica que los beneficios netos solo compensan el costo de oportunidad del dinero.
- Si  $B/C < 1$ ; el proyecto se debe rechazar. Indica que el valor presente de los beneficios es menor que el de los costos.

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Hidráulica;** Es la ciencia que estudia el equilibrio y movimientos de los fluidos.
- **Fluido;** Flujo en movimiento. (Potter, M., 2022), El termino fluido abarca a los líquidos y gases, los líquidos toman forma del recipiente que le alberga, manteniendo su volumen.
- **Presión;** Es una magnitud física que mide la fuerza aplicada hacia una superficie de manera perpendicular. En donde según (Potter, M., 2022), la ecuación para hallar la presión es de la siguiente manera:

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

**Ecuación 23.** Presión

Donde:

P : Presión (N/m<sup>2</sup>)

F : Fuerza (N)

A : Área (m<sup>2</sup>)

- **Caudal;** Es la cantidad de agua que pasa por una superficie o tubería en un determinado tiempo. Su unidad en S.I. es m<sup>3</sup>/s
- **Bomba;** Equipo que sirve para elevar o impulsar un fluido desde un nivel a otro generando diferencia de presiones
- **Energía Cinética;** Es la energía que tiene un cuerpo a causa de su movimiento, y se calcula con los datos de su masa y su velocidad.

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

#### **Ecuación 24.** Energía cinética

Dónde:

E<sub>c</sub> : Energía Cinética

m : Masa

V : Velocidad

- **Energía Potencial;** Es la energía que tiene un cuerpo ubicado en una determinada altura respecto del suelo.

$$E_p = mgh$$

#### **Ecuación 25.** Energía potencial

Dónde:

E<sub>p</sub> : Energía potencial

m : Masa

g : Gravedad

h : Altura

- **Energía Hidráulica;** La energía hidráulica se obtiene a partir del aprovechamiento de las energías cinéticas y potenciales de la corriente del agua.

- **Evapotranspiración;** Es la pérdida de humedad por la combinación de evaporación del suelo y la transpiración de las plantas.
- **Cultivos perennes;** Son aquellas plantas que tienen ciclos de crecimientos muy largos.

## **2.4. Formulación de Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis General**

El sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, es efectivo en la impulsión de agua para riego, en el Caserío de Callhuan, Distrito de Santa Ana de Tusi, Provincia Daniel Alcides Carrión y región Pasco.

### **2.4.2. Hipótesis Específicas**

- La demanda de agua es cubierta por la oferta del recurso hídrico, 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.
- Los parámetros de diseño y operación 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, está vinculada a la topografía del terreno, caudal de oferta, caudal de demanda, y tipo de material con la que se construye.
- La eficiencia de la bomba de ariete hidráulico, en el Caserío de Callhuán, Distrito de Santa Ana de Tusi, Provincia Daniel Alcides Carrión y región Pasco, es inversamente proporcional a la velocidad del ciclo del golpe de ariete.
- La configuración efectiva de la bomba de ariete para la impulsión de agua para riego, en el Caserío de Callhuán, Distrito de Santa Ana de Tusi, Provincia

Daniel Alcides Carrión y región Pasco, es a través del ensamblaje de accesorios e insumos que se encuentran al alcance del poblador rural.

- El sistema de bombeo mediante ariete hidráulico es más rentable económicamente, desde la instalación hasta la operación y mantenimiento con respecto al sistema de bombeo a base de combustible para la impulsión de agua para riego, en el Caserío de Callhuán, Distrito de Santa Ana de Tusi, Provincia Daniel Alcides Carrión y región Pasco.

## 2.5. Identificación de Variables

### 2.5.1. Variable Independiente

- Sistema de bombeo mediante ariete hidráulico.

### 2.5.2. Variable dependiente

- Efectividad en la impulsión de agua para riego.

## 2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

**Tabla 2**

*Definición operacional de variables e indicadores.*

<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
Sistema de bombeo mediante ariete hidráulico.	Diseño del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico	Volumen de fuente de alimentación (m3)
		diámetro de tubería de alimentación (mm)
		diámetro de tubería de descarga (mm)
		volumen del tanque de aire (m3)
		diámetro de válvula de impulso (mm)
		diámetro de válvula de descarga (mm)
		volumen de tanque de almacenamiento (m3)
		Tipos de Accesorios (roscados a presión)
		Tipos de Técnicas del sistema de bombeo
		Tipo de material (PVC, F°G°, Bronce)



mediante ariete hidráulico		
Efectividad en la impulsión de agua para riego.	Eficiencia	Rendimiento (%)
	Eficacia	Relación Costo - Beneficio (S/.)
		Caudal de descarga (l/s)
		Impacto ambiental (kg CO2/mes)

*Nota.* Elaboración propia

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de investigación**

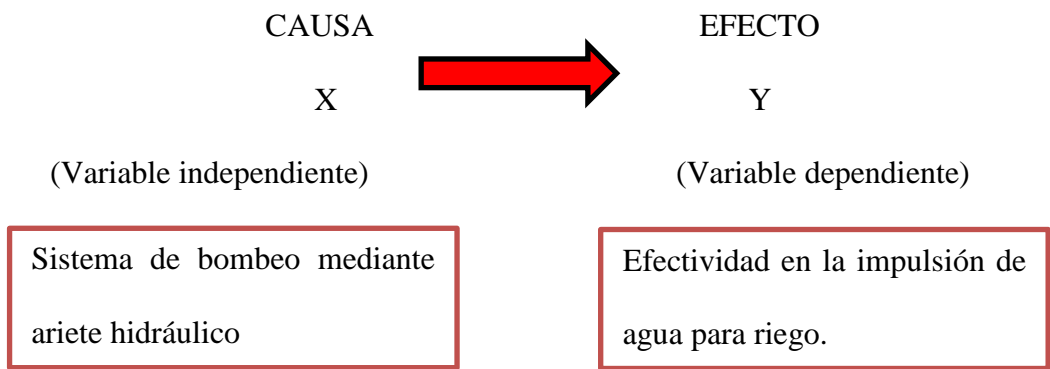
De acuerdo a los datos analizados es un tipo de investigación cuantitativa, ya que mediante la recolección de datos numéricos y su posterior análisis se conocerá la realidad que se tiene, para así probar las hipótesis planteadas.

#### **3.2. Nivel de investigación**

La presente investigación es de nivel aplicativo, porque se usarán las teorías existentes para luego aplicar en la mitigación de la problemática existente en la zona de estudio, cuya problemática viene a ser la necesidad de tener agua para riego en los puntos de pastizales sembradas.

#### **3.3. Métodos de investigación**

La presente investigación es de método experimental, que consiste en construir una bomba de ariete de acuerdo a los parámetros de diseño, la cual será sometido a prueba in situ con la finalidad de analizar su efectividad en su uso y satisfacción, según los parámetros hidráulicos para la presente investigación.



### 3.4. Diseño de investigación

Para poder llegar a las conclusiones, se tendrá que analizar los resultados a partir de los datos de campos obtenidos, por lo que se usará el siguiente esquema:

$$C = DTC + AI + PH + DR$$

Siendo:

C : Conclusiones

DTC : Descripción de trabajo de campo

AI : Análisis e interpretación de datos

PH : Prueba de hipótesis

DR : Discusión de resultados

### 3.5. Población y muestra

#### 3.5.1. Población

- Distrito de Santa Ana de Tusi, Provincia Daniel Alcides Carrión, Región Pasco.

#### 3.5.2. Muestra

- Área de siembra del Caserío de Callhuán.

### 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

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

- Visita a campo para recolección de datos como ubicación de la fuente de alimentación, ubicación de la bomba de ariete, ubicación del tanque de almacenamiento, etc.
- Uso de equipos topográficos para medición de terreno.
- Verificación sobre el uso del agua, tipos de pastizales que siembran, y sobre la viabilidad del uso de la bomba de ariete.
- Aplicación de ecuaciones adecuadas para hallar los caudales de alimentación y de descarga in situ.
- Uso de recipiente de volumen conocido y un cronometro para la medición de caudal.
- Uso de formatos (fichas) para toma de datos en campo.

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

Se realizó la elaboración de gráficas de dispersión con los datos obtenidos de las pruebas realizadas en campo, cuyos instrumentos han sido verificados en base a las teorías existentes, y además aplicando adecuadamente fórmulas hidráulicas existentes, que usaron autores de investigaciones similares obteniendo resultados de operatividad de la bomba de ariete hidráulico, con las pruebas de campo realizadas se pudo verificar los elementos hidráulicos que influyen en la eficiencia optimo del ariete hidráulico instalada de acuerdo a las condiciones del terreno.

De los accesorios y materiales usadas para la instalación y montaje del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, se pudo calcular el costo total, de fabricación y además los gastos que son requeridos para su operación y mantenimiento, lo cual nos ayudó a determinar los indicadores económicos y determinar su viabilidad desde el punto de vista económica de acuerdo a la realidad

del poblador rural y el tiempo de vida útil del sistema de bombeo con ariete hidráulico.

Para la confiabilidad en el procesamiento de los datos obtenidos en campo, se realizó a través de herramientas adecuadas como: calculadora científica y hojas de cálculos y programas computarizados.

Cabe señalar que, Los instrumentos de investigación fueron verificados por profesionales en el área, los cuales se consultaron mediante fichas de encuestas para validación de instrumentos.

### **3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

- Se diseñará la bomba de ariete hidráulica con los datos obtenidos en campo más la ayuda de la base teórica existente, luego se construirá y se instalará en campo para el análisis del rendimiento y de la efectividad de la bomba.
- Presentación de resultados mediante tablas y gráficos estadísticos para realizar el análisis y la descripción correspondiente.
- Para conocer la viabilidad del uso de la bomba de ariete hidráulica se realizará un análisis económico desde su ensamblaje hasta su operación y mantenimiento comparando con una motobomba típica a combustible.
- Para el procesamiento de los datos obtenidos en campo fue necesario el uso de equipos como: laptop procesador Corel i5, sistema operativo Windows 10, los programas: Microsoft Excel, AutoCAD y Word, Cropwat 8.0, Climwat 2.0, calculadora científica, etc.

### **3.9. Tratamiento Estadístico**

En la presente investigación se tendrá el uso de la estadística descriptiva, debido a que la descripción, análisis e interpretación de los datos que se obtienen serán a través de conjuntos de gráficos y tablas estadísticos.

### **3.10. Orientación ética filosófica y epistémica**

La presente investigación es de nivel aplicativo, debido a que usa las teorías que existen para luego aplicar a la problemática que existe en la zona de estudio, ante ello se realizó las referencias correspondientes respetando la propiedad intelectual de autores que realizaron investigaciones similares. Así mismo se respetó los códigos de ética de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión y del CONCYTEC.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo.**

##### **4.1.1. Visita a campo y trabajos realizados**

El lugar en donde se realizará el proyecto de investigación es en el caserío de Callhuán, distrito de Santa Ana de Tusi, Provincia Daniel Alcides Carrión, Región Pasco, específicamente en la parcela de terreno que pertenece al Sr. Gaspar Torres Pardave.

Se realizó la visita a la zona en donde se desarrollará el estudio, con el fin de ubicar el área cultivada que requiere la demanda de agua para su riego, y además para ubicar la fuente de abastecimiento de agua para tal fin, en donde se encontró un manantial subterráneo a 90 m aproximadamente de dicha área cultivada.

### Figura 39

*Imagen satelital del lugar de estudio*



*Nota.* Elaboración propia. Fuente: Google Earth.

El propietario del terreno, el Sr. Gaspar Torres Pardave, realizó el sembrío de Rye Grass italiano en un área irregular de 2720.839 m<sup>2</sup> para poder alimentar a sus ovinos y alpacas en épocas de estiaje, dicho sembrío se realizó en el año 2019, sin embargo, por falta de humedad del terreno, no se desarrollaron y se fueron marchitando al inicio de su crecimiento, en efecto, empezaron a crecer otras plantas típicas de la zona, como el “Ucush casha”, las cuales no sirven como alimento de los animales.



**Figura 40**

*Presencia de la planta “Ucush casha”, en terreno de cultivo de pastizal.*



*Nota.* Elaboración propia.

En el presente estudio, se plantea diseñar un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico de acuerdo a las condiciones topográficas del terreno y a la demanda de agua del Rye Grass cultivado en un área rectangular de 2170 m<sup>2</sup>.

El manantial subterráneo, tiene una salida hacia la parte baja del terreno, el cual evacúa el agua por un canal natural como se muestra en las siguientes ilustraciones:



## **Figura 41**

*Vista del manantial subterráneo*



*Nota.* Elaboración propia.

## **Figura 42**

*Vista de corriente de agua que nace en el manantial subterráneo.*



*Nota.* Elaboración propia.

Se realizó el levantamiento topográfico del área influyente de la zona de estudio, además se realizó el aforo volumétrico del caudal ofertado del manantial subterráneo.

#### **4.1.1.1. Elección del tipo de sistema de riego**

Se propone que, el riego del Rye Grass sea únicamente en periodos de estiaje, para ello, mediante la bomba de ariete hidráulico se impulsará la cantidad necesaria del agua, desde el manantial subterráneo hasta un tanque de almacenamiento, el cual este tanque estará ubicado en la cabecera del área cultivada, a fin de aplicar el riego por gravedad de manera temporal y por un periodo determinado.

#### **4.1.1.2. Ubicación del tanque de almacenamiento**

La ubicación de este elemento que conforma el sistema de bombeo, se determinó en campo, el cual se encontrará en las coordenadas UTM E: 356294.211 m; N: 8840594.219, a una altitud de 4288.00 m.s.n.m., esta ubicación es la más adecuada, ya que se encuentra más próxima al manantial subterráneo y a la vez tiene un nivel que permitirá abastecer mediante riego por gravedad a la mayor parte del área cultivada del RYE – GRASS, además, se plantea que el ingreso de la tubería de descarga al tanque de almacenamiento sea a 1.00 m desde nivel del terreno natural, ya que de esa manera se tendrá la ventaja de aumentar la presión estática que beneficiara al riego por gravedad.

Para poder obtener la cota de nivel de ubicación de la bomba de ariete hidráulica (N.B.A.), es necesario conocer el nivel de ingreso de la tubería de descarga al tanque de almacenamiento (N.I.T.D), para el caso del proyecto se plantea que el N.I.T.D será a 1.00 m desde el nivel de terreno natural, es decir:  $N.I.T.D. = 4288.00 \text{ m.s.n.m} + 1.00 \text{ m} = 4289.00 \text{ m.s.n.m}$ .

#### 4.1.1.3. Aforo de la oferta hídrica

Dentro de la parcela de terreno del Sr. Gaspar Torres Pardave, existe un manantial de agua subterránea, el cual en todos los periodos del año mantiene la oferta hídrica con caudales variables, siendo de curso regular.

En este manantial se determinó el caudal ofertado mediante el método de aforo volumétrico.

El método de aforo volumétrico se basa en determinar el tiempo de llenado de cierta cantidad de agua en un recipiente de volumen conocido, y el caudal se hallará aplicando la siguiente formula:

$$Q= V/T$$

**Ecuación 26.** Determinación de caudal por el método de aforo volumétrico.

Dónde:

Q : Caudal

V : Volumen

T : Tiempo



**Figura 43**

*Determinación de caudal ofertado por el método de aforo volumétrico.*



*Nota.* Elaboración propia.

La siguiente tabla indica los datos obtenidos del aforo volumétrico realizado in situ. Época de toma de muestra en el mes de agosto año 2021, la fuente de agua es un manantial subterráneo.

**Tabla 3**

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

<b>Volumen</b>	<b>Tiempo de Llenado</b>	<b>Caudal (l/s)</b>
<b>V (l)</b>	<b>T (s)</b>	<b>Q=V/T</b>
2.5	8.8	0.284
2.5	8.5	0.294
2.5	8.52	0.293
2.5	8.65	0.289
2.5	8.27	0.302
<b>PROMEDIO=</b>		<b>0.293</b>

*Nota.* Elaboración Propia

#### **4.1.1.4. Ubicación y volumen de fuente de alimentación**

Debido a que el manantial subterráneo oferta una baja cantidad de caudal hídrica, se plantea construir una fuente de alimentación de agua que

se ubicará entre el manantial subterráneo y la bomba de ariete hidráulico, esta fuente acumulará la cantidad necesaria del líquido para poder alimentar a la bomba de ariete con un caudal constante y por un tiempo determinado, para que dicha bomba tenga un adecuado funcionamiento sin interrupciones.

En la coordenada UTM: E356293.574m; N8840541.556; y a un nivel de espejo del agua 4277.60 m.s.n.m, se tiene pozas existentes, por lo que se aprovechará una de ellas como fuente de alimentación, profundizando a 1.30m desde el nivel de agua del pozo (N.A.) y además perfilando los lados del pozo, con longitudes de 3.00m y 2.00m, como se indica en la siguiente Figura.

#### **Figura 44**

*Vista de pozas artificiales existentes en las coordenadas UTM: E: 356293.574m; N: 8840541.556; y altitud 4277.00 m.s.n.m.*

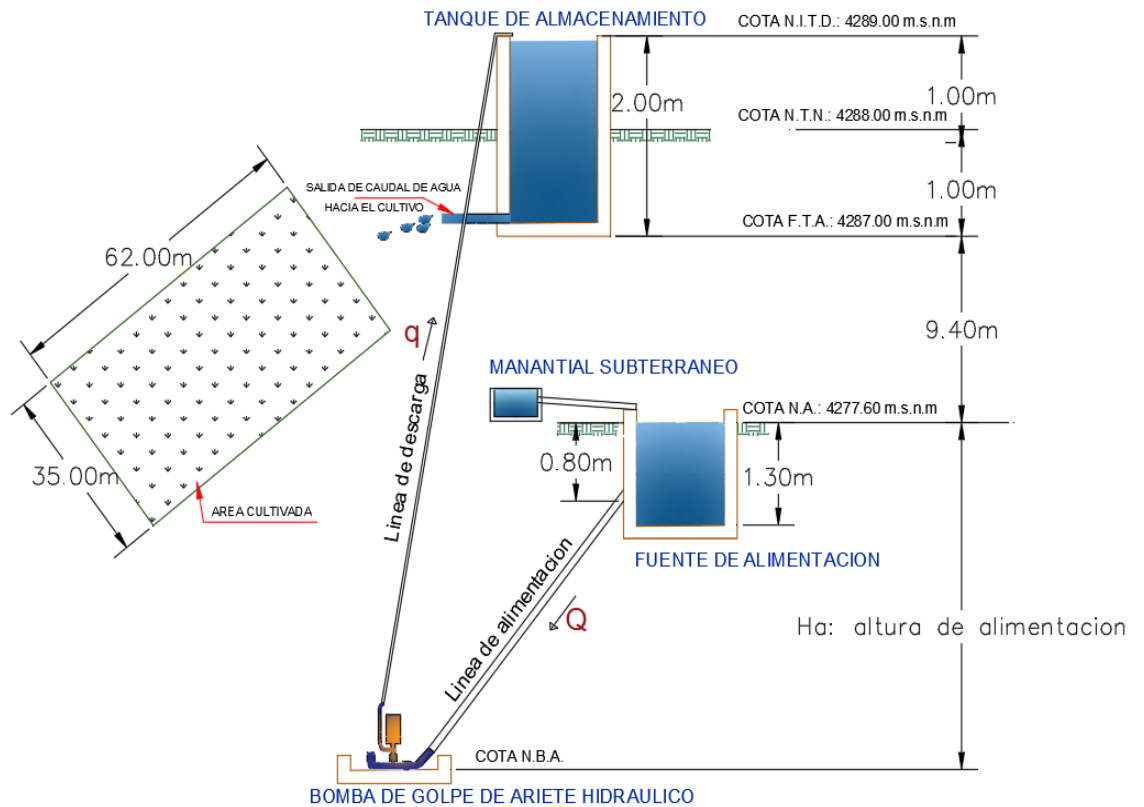


*Nota.* Elaboración Propia.

En la visita a campo, se determinó la siguiente configuración preliminar del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico:

**Figura 45**

*Configuración preliminar del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico.*



*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.1.1.5. Altura de alimentación (Ha).

Según (Watt, S. B., 1975), la altura de alimentación (Ha) debe comprender entre los valores de 1 a 12 m, y se halla con la siguiente ecuación matemática:

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

#### **Ecuación 27.** Altura de alimentación (Ha)

Donde:

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

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

De la Figura 45, se tiene que:  $Hd = H_a + 9.40 + 1.00 \text{ m} + 1.00 \text{ m}$ ,  
luego reemplazando Hd en la ecuación según (Watt, 1975) obtenemos lo  
siguiente:

$$H_a = \frac{1}{3} * (H_a + 11.40)$$

$$3 * H_a = H_a + 11.40$$

$$2 * H_a = 11.40 \text{ m}$$

$$H_a = 5.70 \text{ m}$$

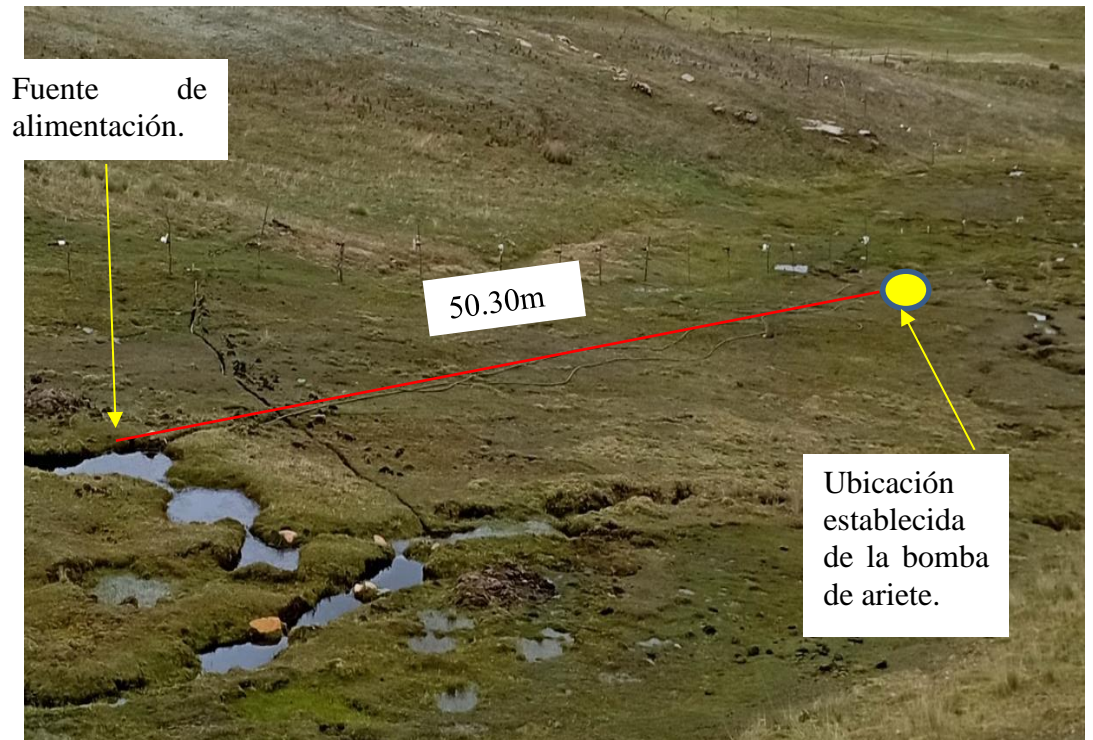
#### **4.1.1.6. Ubicación de la bomba de ariete**

Con los equipos topográficos que se tuvo en campo, previamente sabiendo la altura de impulsión del sistema de bombeo que debe ser 5.70m, se buscó una ubicación adecuada para la bomba de ariete hidráulico, estableciéndose que distará a 50.30m al ras del terreno natural desde la fuente de alimentación, cuyas coordenadas UTM son E 356244.405; N 8840526.314; y altitud 4271.50, La referencia de ubicación con respecto a la fuente de alimentación es como se indica en la siguiente Figura:



## Figura 46

### Ubicación de la bomba de ariete hidráulico



*Nota.* Elaboración propia.

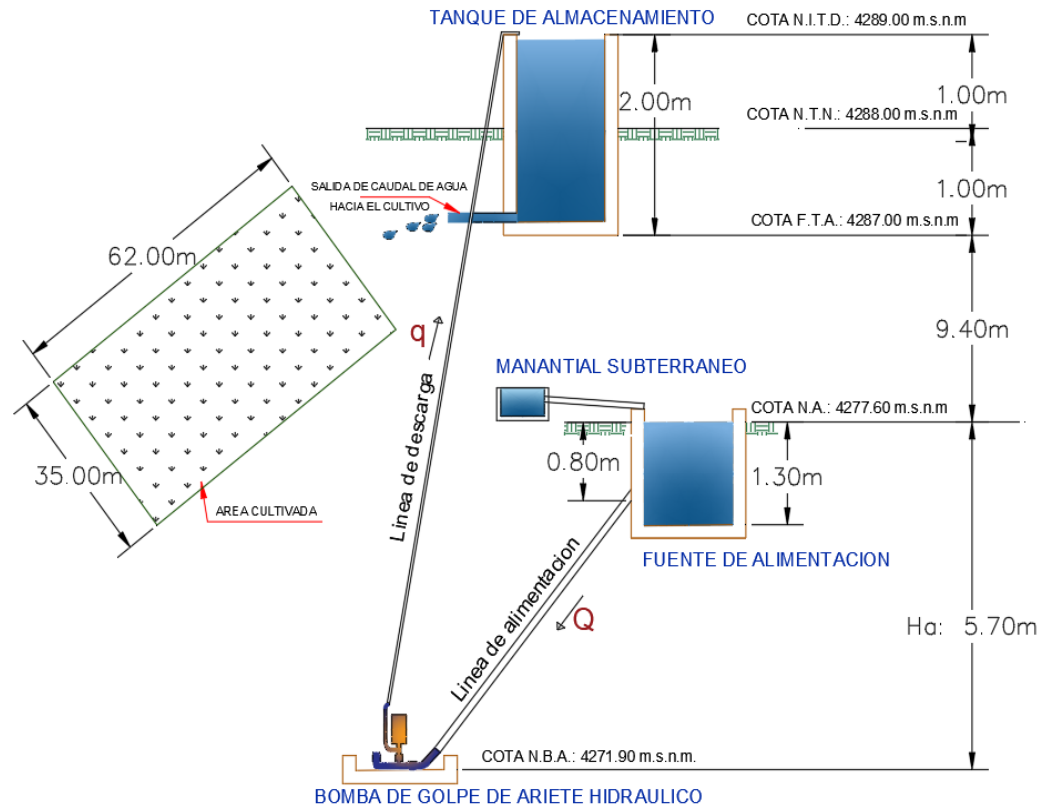
Con la altura de alimentación ( $H_a$ ), se tiene la cota del nivel de ubicación de la bomba de ariete (Cota N.B.A.), lo cual se halló de la siguiente manera:

- Cota N.B.A.= N.A. de Fuente de alimentación –  $H_a$
- Cota N. B.A.= 4277.60m – 5.70m
- Cota N. B.A.= 4271.90 m.s.n.m.

Finalmente, de acuerdo a la topografía del terreno y la fuente de agua existente en el área de estudio, la configuración planteada del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico quedara como se muestra en la siguiente Figura:

**Figura 47**

*Configuración preliminar del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico.*



*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.1.2. Trabajo en gabinete

Con los datos recopilados en campo se procedió a calcular demás parámetros de diseño para luego dimensionar el resto de los elementos que forman parte del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico.

##### 4.1.2.1. Cálculo de caudal de descarga ( $q$ )

Es la cantidad de agua que impulsa la bomba de ariete hacia el tanque de almacenamiento, el cual será el mismo caudal de demanda para el riego del Rye Grass en tiempos de estiaje. Para ello es necesario saber la cantidad de agua que aporta las precipitaciones pluviales, como también

conocer la evapotranspiración de la planta, para así proceder a realizar un balance hídrico adecuado, y finalmente determinar la cantidad de agua que se debe entregar al tanque de almacenamiento para cubrir con el sistema de riego en periodos de estiaje.

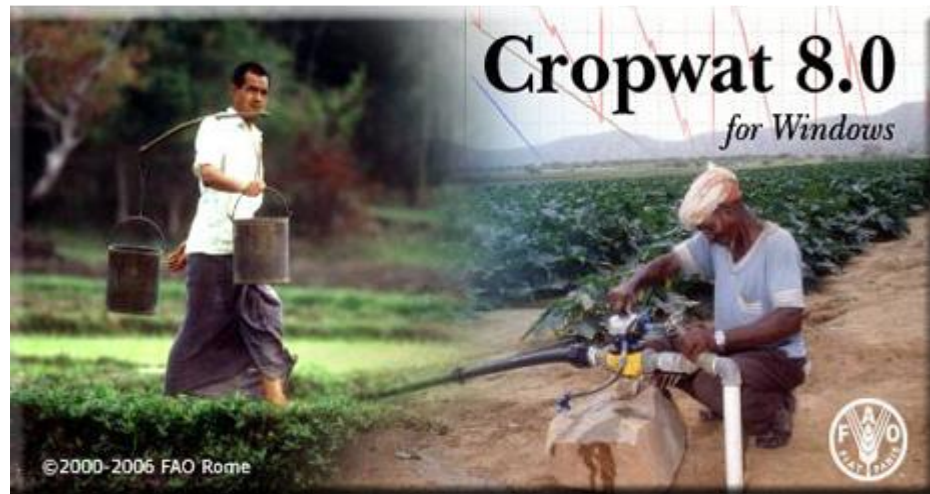
Se comenzará determinando la evapotranspiración de referencia de cada mes ( $ET_o$ ), seguidamente usando los valores del coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) de cada etapa de su desarrollo vegetativo, se determinará la evapotranspiración real o actual del cultivo ( $ET_c$ ), luego relacionando con las precipitaciones pluviales se obtendrán los valores netos de demanda de agua del cultivo, el cual será el caudal de entrega. Para calcular estos parámetros se va usar un software computarizado, como es el software CropWAT.

CROPWAT es una herramienta que nos ayuda a tomar decisiones desarrollada por la División de Desarrollo de Tierras y Aguas de la FAO, (FAO es una entidad de las Naciones Unidas que lidera el esfuerzo internacional para poner fin al hambre)

CROPWAT 8.0 de Windows es un software para computadoras, lo cual se usa para calcular los requerimientos de agua para un sistema de riego a los cultivos, de acuerdo al tipo de suelo y el clima. Además, este software nos permite desarrollar programas de riego para condiciones variados de manejo y la determinación del abastecimiento de agua del esquema para diferentes patrones de cultivo. Así mismo, CROPWAT 8.0 se puede utilizar también para evaluar las prácticas del agricultor que tienen al tipo de riego y poder estimar el rendimiento de los cultivos ya sea en condiciones de secano o como de riego.

**Figura 48**

*Ventana de inicio del software Cropwat 8.0*



*Nota.* Fuente: Cropwat 8.0

CROPWAT 8.0 nos ayudara a realizar un balance hídrico, comparando la oferta del agua con la demanda hídrica del cultivo. Para calcular los requerimientos de agua del cultivo (RAC), el software nos pedirá ingresar valores de  $ET_o$ , o debemos ingresar datos de temperatura, humedad, velocidad del viento, insolación, y el programa Cropwat calculará la  $ET_o$  aplicando la ecuación de Penman-Monteith.

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

**Ecuación 28.** Ecuación de Penman-Monteith

Donde:

$ET_o$  : evapotranspiración de referencia (mm día-1)

$R_n$  : radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m-2 día-1)

$R_a$  : radiación extraterrestre (mm día-1)

G : flujo del calor de suelo (MJ m-2 día-1)

- T : temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
- $u_2$  : velocidad del viento a 2 m de altura (m s-1)
- $e_s$  : presión de vapor de saturación (kPa)
- $e_a$  : presión real de vapor (kPa)
- $e_s - e_a$  : déficit de presión de vapor (kPa)
- $\Delta$  : pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C-1)
- $\gamma$  : constante psicrométrica (kPa °C-1)

### Figura 49

*Módulo de cálculo de la evapotranspiración según Penman-Monteith*

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero							
Febrero							
Marzo							
Abril							
Mayo							
Junio							
Julio							
Agosto							
Septiembre							
Octubre							
Noviembre							
Diciembre							
Promedio							

*Nota.* Fuente: Cropwat 8.0

#### a. Cálculo de Evapotranspiración de referencia (ETo)

Para saber la evapotranspiración de referencia de cada mes (ETo), se usará un software adicional, CLIMWAT 2.0 para CROPWAT desarrollada por la Unidad de Desarrollo y Gestión del Agua y la Unidad de Cambio Climático y Bioenergía de la FAO.

CLIMWAT es una base de datos climática que se utiliza en combinación con el programa informático CROPWAT. y permite el cálculo de los requisitos de agua de los cultivos, el suministro de riego y la programación del riego para varios cultivos para una variedad de estaciones climatológicas en todo el mundo.

CLIMWAT 2.0 ofrece datos agroclimáticos observados de más de 5000 estaciones en todo el mundo, en donde se encuentra la estación de Cerro de Pasco, ubicado en las siguientes coordenadas geográficas:

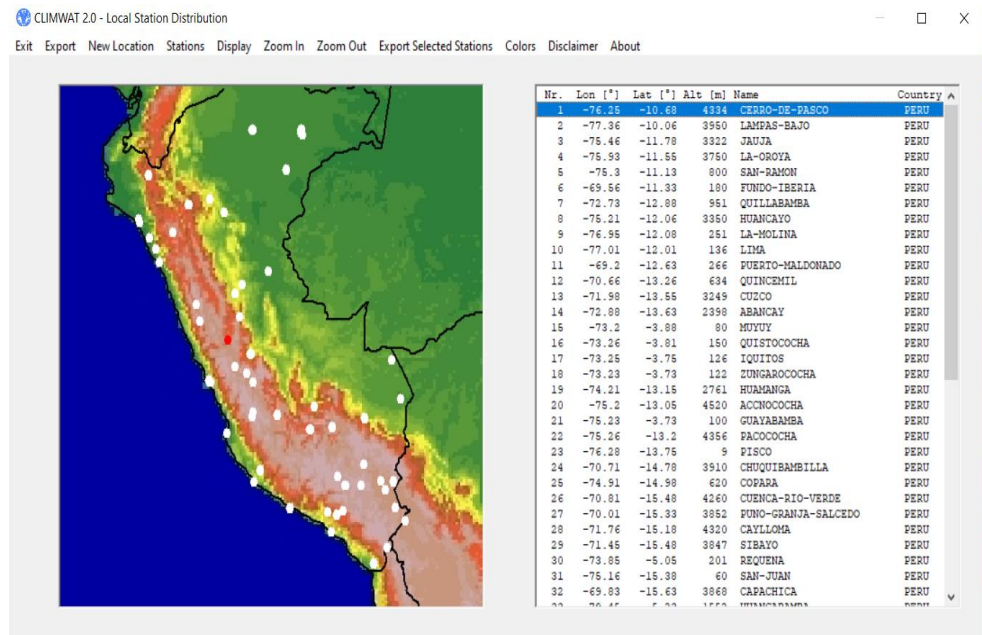
Latitud	: -10.68°
Longitud	: -76.25
Altitud	: 4334 msnm

Se usará directamente los datos de esta estación de Cerro de Pasco, que nos ofrece el software CLIMWAT 2.0, ya que tiene una coincidencia aproximada de ubicación con el área de estudio, cuyas coordenadas del lugar extraídos del Google Earth son las siguientes:

Latitud	: -10.49°
Longitud	: -76.31
Altitud	: 4287 msnm

## Figura 50

*Datos de clima para determinar la velocidad del viento*



*Nota.* Fuente: software Climwat

La información que ofrece la herramienta CLIMWAT, para la estación Cerro de Pasco, se exporta para luego ser visualizado con el software CROPWAT, de donde obtendremos la evapotranspiración potencial mensual.

## Figura 51

*Datos de clima para determinar la Rad y Eto*

ETo Penman-Monteith Mensual - F:\TESIS\1. TESIS UNDAC- PETTHER TORRES ORTEGA\1. AVA...

País Location 1 Estación CERRO-DE-PASCO

Altitud 4334 m. Latitud 10.68 °S Longitud 76.25 °W

Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m²/día	mm/día
Enero	0.7	12.0	79	0.8	5.1	18.0	2.92
Febrero	0.8	10.9	81	0.4	4.8	17.5	2.81
Marzo	0.7	11.4	80	0.4	5.1	17.3	2.74
Abril	-0.5	13.0	84	0.8	5.7	16.9	2.64
Mayo	-2.0	12.2	72	0.8	7.3	17.4	2.55
Junio	-4.0	12.8	74	1.2	7.8	17.1	2.45
Julio	-3.8	12.5	71	1.2	7.9	17.7	2.53
Agosto	-2.9	13.0	71	1.2	7.8	19.0	2.83
Septiembre	-1.5	12.1	75	1.6	4.0	15.1	2.50
Octubre	-0.7	12.5	76	1.6	4.1	16.0	2.68
Noviembre	-0.7	12.6	73	0.4	3.9	16.1	2.69
Diciembre	-0.1	13.0	73	0.4	3.3	15.1	2.61
Promedio	-1.2	12.3	76	0.9	5.6	16.9	2.66

Nota. Fuente: Software Climwat 0.2, Cropwat

#### b. Cálculo de la precipitación efectiva (Pe)

Para calcular la precipitación efectiva, también se usará el archivo exportado del CLIMWAT, lo cual haciendo uso del CROPWAT obtenemos dichos valores, la formula usada por el software es según el método de la FAO Penman – Monteith, lo cual es expresado como:

$$Pe = 0.6Pt - 10; \text{ para } Pt < 75 \text{ mm}$$

$$Pe = 0.8Pt - 25; \text{ para } Pt > 75 \text{ mm}$$

**Ecuación 29.** Precipitación efectiva según la FAO Penman – Monteith

Donde:

Pe : Precipitación efectiva (mm/mes)

Pt : Precipitación total mensual (mm/mes)

(FAO, 2006). La precipitación efectiva (Pe), es la fracción de la precipitación pluvial que realmente utiliza el cultivo, debido a que otra



fracción se va perdiendo por la escorrentía superficial (ES) y por las. Para el caso de la investigación, se tiene como resultado de precipitación efectiva según la figura 52. En donde se muestra que las precipitaciones efectivas menores se encuentran en los meses de mayo a agosto. Por tanto, podemos deducir que estos meses encontramos problemas hídricos para cualquier cultivo. La metodología más confiable es la fórmula propuesta por la FAO.

**Figura 52**

*Diagrama de la precipitación y precipitación efectiva*

Estación		Método Prec. Ef	
CERRO DE PASCO		Fórmula FAO/AGLW	
	Precipit.	Prec. efec	
	mm	mm	
<b>Enero</b>	150.0	96.0	
<b>Febrero</b>	163.0	106.4	
<b>Marzo</b>	167.0	109.6	
<b>Abril</b>	76.0	36.8	
<b>Mayo</b>	47.0	18.2	
<b>Junio</b>	14.0	0.0	
<b>Julio</b>	14.0	0.0	
<b>Agosto</b>	27.0	6.2	
<b>Septiembre</b>	53.0	21.8	
<b>Octubre</b>	99.0	55.2	
<b>Noviembre</b>	108.0	62.4	
<b>Diciembre</b>	134.0	83.2	
<b>Total</b>	<b>1052.0</b>	<b>595.8</b>	

*Nota.* Fuente: Software CLIMWAT - CROPWAT

**c. Datos del cultivo**

A continuación, se describe las condiciones físicas y los requerimientos hídricos del cultivo del Rye Grass, siendo necesario conocer las características del cultivo, para definir la época de siembra están ligados a la duración de las etapas de crecimiento y es necesario tomar en cuenta la

fecha de siembra, que en general los pobladores del caserío de Callhuan lo realizan en el mes de noviembre.

para cultivos perennes, la fecha de siembra se considerará por el momento en que se vuelve a comenzar el ciclo del cultivo.

➤ **Coefficiente del cultivo:**

Este coeficiente se basa de acuerdo a las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas del cultivo y que varía en función al clima y la altitud, La Tabla 4 nos muestra los valores del coeficiente de cultivo en tres etapas diferentes: Kc-inicial; Kc-medio, Kc-final; cuyos valores son: 0.85, 1.00 y 0.95 respectivamente, los datos fueron tomados del estudio 56 de riego y drenaje de la FAO.

**Tabla 4.**

*Las principales etapas de crecimiento del Cultivo y Kc*

Cultivo Rye grass		Pág. 139 FAO			Pág. 107 FAO				
		Kc			Etapas (días)				
Mes de siembra	Mes crítico	inicial	medio	final	inicial	desarrollo	media	fin de temporada	total
Noviembre	Enero	0.85	1.00	0.95	20.00	25.00	45.00	220.00	310.00

*Nota. Fuente: FAO estudio 56 de riego y drenaje 2006*

Los datos de profundidad radicular están dentro de la tabla de información de cultivo del documento técnico estudio 56 de riego y drenaje de la FAO.

**Tabla 5**

*Datos para incluir al programa Cropwat*

en función a la Eto del cuadro 41 el que es parecido  
mes maíz o alfalfa

Pag 165		Pag. 166 tabla 41			Pag. 202						Pag. 112
Prof. Radicular (m)		Factor Agotamiento			Factor Respuesta						Altura de cultivo (m)
inicial	final	inicial	medio	final	f1	f2	f3	f4	f5	fpromedio	
0.05	1.00	0.25	0.27	0.29	1.00	1.10	1.10	1.00	1.00	1.04	0.30

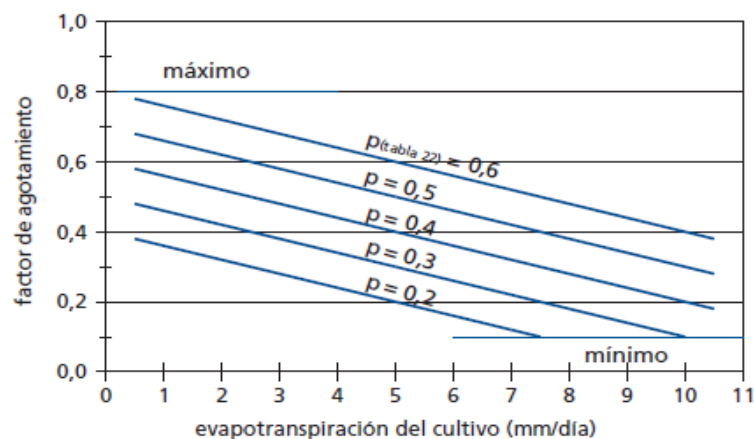
*Nota. Fuente: FAO estudio 56 de riego y drenaje 2006*

➤ **Fracción de agotamiento hídrico:**

La fracción de agotamiento hídrico (p) corresponde a la fracción promedio del agua total disponible en el suelo (ADT) que puede ser agotada de la zona radicular antes de que el cultivo presente condiciones de estrés hídrico (FAO, 2006); con la ayuda de la tabla 41 de la FAO y los datos de la Eto de cada fase de desarrollo del cultivo se determina el factor de agotamiento crítico.

**Figura 53**

*Factor de agotamiento crítico para los diferentes niveles de evapotranspiración del cultivo*



*Nota.* Fuente: FAO estudio 56 de riego y drenaje 2006

Altura del cultivo: Este parámetro permite al programa CROPWAT 8.0 para ajustar los valores del coeficiente de cultivo en condiciones no estándar, para el caso de la investigación se eligió 0.30 m como altura del cultivo.

La respuesta al rendimiento de respuesta a la salinidad se explica en el documento técnico de la FAO (Figura 54) el dato del cultivo no se encuentra en forma explícita se está tomando datos de un cultivo similar como la alfalfa 1.1 siendo colocado en la fase media cuando la planta está en desarrollo, al estimar los datos de concentración de sales que va a influir en el rendimiento.

## Figura 54

### *Coefficientes estacionales de respuesta de la productividad*

CUADRO 24

Coefficientes estacionales de respuesta de la productividad, FAO No. 33, Serie de Riego y Drenaje.

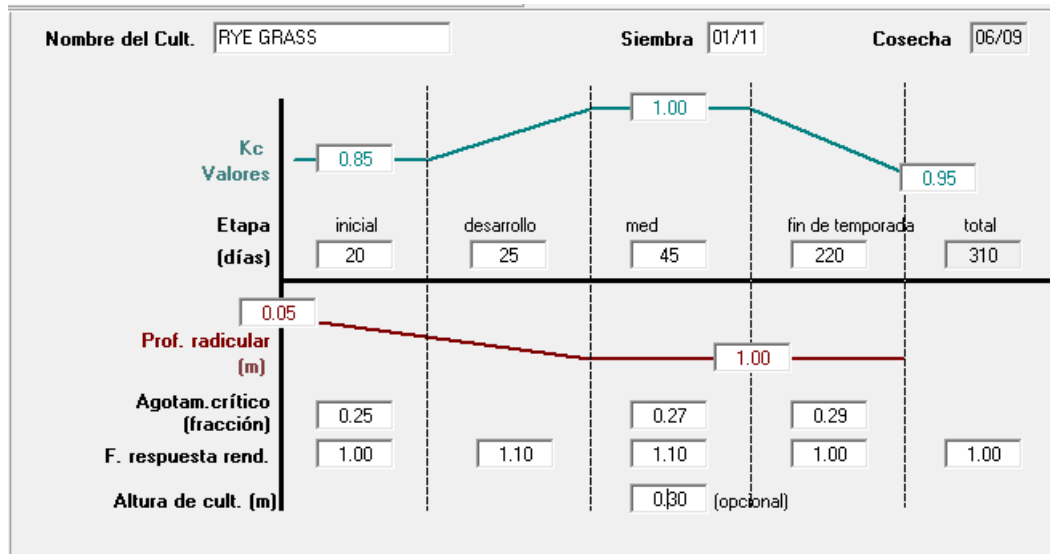
Cultivo	K <sub>v</sub>	Cultivo	K <sub>v</sub>
Alfalfa	1,1	Papa o patata	1,1
Banano	1,2-1,35	Cártamo	0,8
Frijoles o judías	1,15	Sorgo	0,9
Repollo	0,95	Soja	0,85
Cítricos	1,1-1,3	Trigo de primavera	1,15
Algodón	0,85	Remolacha azucarera	1,0
Uvas	0,85	Caña de azúcar	1,2
Maní o cacahuete	0,70	Girasol	0,95
Maíz	1,25	Tomate	1,05
Cebolla	1,1	Sandía	1,1
Guisantes o arveja	1,15	Trigo de invierno	1,05
Pimienta	1,1		

*Nota.* Fuente: FAO estudio 56 de riego y drenaje 2006

Con los datos obtenidos anteriormente, se puede alimentar al software CROPWAT 8.0, para poder realizar el modelamiento y poder calcular la demanda de agua por el cultivo.

**Figura 55**

*Datos de cultivo para el software Cropwat*



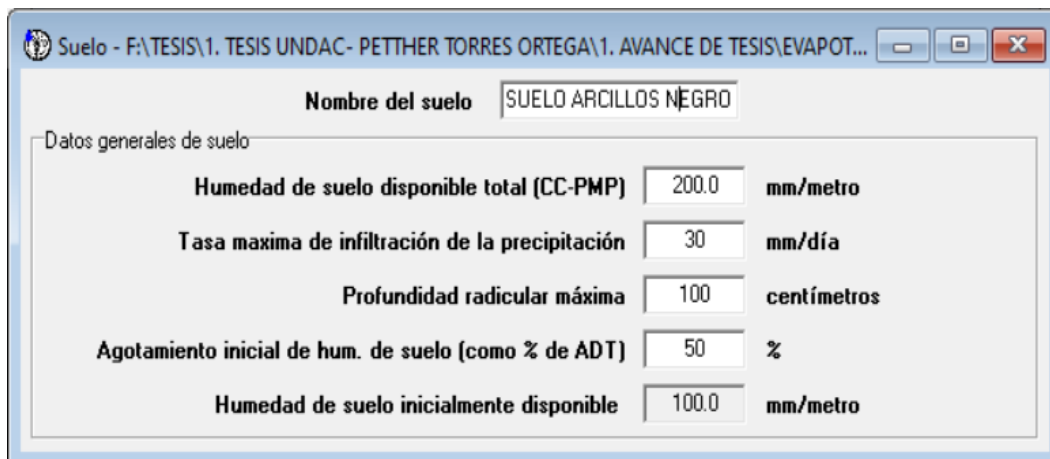
*Nota.* Fuente: FAO estudio 56 de riego y drenaje 2006/ Software Cropwat

**d. Datos de suelo**

En el caso de la presente investigación, teniendo en cuenta la verificación en campo, el tipo de suelo de siembra se relaciona como suelo arcilloso negro, en base al tipo de textura observado en campo, obtendremos los valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente. La máxima profundidad radicular es determinada según el manual de estudio de riego y drenaje de la FAO. (2006), en donde se estableció para el Rye grass la máxima profundidad radicular es de 100 cm (FAO, 2006). Luego de haber determinado los datos anteriormente mencionados se obtuvo un resultado de humedad de suelo inicialmente disponible, como se puede observar en la Figura 56.

**Figura 56**

*Módulo de suelo según programa Cropwat*



The screenshot shows a window titled "Suelo - F:\TESIS\1. TESIS UNDAC- PETTHER TORRES ORTEGA\1. AVANCE DE TESIS\EVAPOT...". The main field is "Nombre del suelo" with the value "SUELO ARCILLOS NEGRO". Below it, a section titled "Datos generales de suelo" contains five input fields:

Parámetro	Valor	Unidad
Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	200.0	mm/metro
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	30	mm/día
Profundidad radicular máxima	100	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	50	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	100.0	mm/metro

*Nota.* Fuente: FAO estudio 56 de riego y drenaje 2006/ Software Cropwat

A partir de los datos necesarios alimentados al software Cropwat, se pide el cálculo de requerimiento de agua de cultivo, y automáticamente arrojará una tabla con la evapotranspiración requerida del cultivo y el requerimiento de riego.

**Tabla 6***Resultados de requerimiento de agua del cultivo*

Mes	Década	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec.	Req.Riego	N° de días de riego
						efec		
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec	
Nov	1	Inic	0.85	2.28	22.8	19.6	3.2	10.00
Nov	2	Inic	0.85	2.28	22.8	20.2	2.6	10.00
Nov	3	Des	0.88	2.33	23.3	22.7	0.6	10.00
Dic	1	Des	0.93	2.44	24.4	25.7	0	10.00
Dic	2	Med	0.97	2.53	25.3	28.1	0	10.00
Dic	3	Med	0.98	2.64	29.1	29.4	0	11.02
Ene	1	Med	0.98	2.75	27.5	30.6	0	10.00
Ene	2	Med	0.98	2.85	28.5	32.1	0	10.00
Ene	3	Fin	0.98	2.81	30.9	33.2	0	11.00
Feb	1	Fin	0.97	2.77	27.7	34.5	0	10.00
Feb	2	Fin	0.97	2.73	27.3	35.8	0	10.00
Feb	3	Fin	0.97	2.71	21.7	36	0	8.01
Mar	1	Fin	0.97	2.69	26.9	38.6	0	10.00
Mar	2	Fin	0.97	2.66	26.6	40.1	0	10.00
Mar	3	Fin	0.97	2.62	28.8	30.8	0	10.99
Abr	1	Fin	0.96	2.58	25.8	18.7	7.2	10.00
Abr	2	Fin	0.96	2.54	25.4	9.7	15.7	10.00
Abr	3	Fin	0.96	2.51	25.1	8.5	16.6	10.00
May	1	Fin	0.96	2.48	24.8	8.1	16.7	10.00
May	2	Fin	0.96	2.45	24.5	6.1	18.5	10.00
May	3	Fin	0.96	2.42	26.6	4	22.5	10.99
Jun	1	Fin	0.96	2.38	23.8	0.1	23.7	10.00
Jun	2	Fin	0.95	2.34	23.4	0	23.4	10.00
Jun	3	Fin	0.95	2.36	23.6	0	23.6	10.00
Jul	1	Fin	0.95	2.38	23.8	0	23.8	10.00
Jul	2	Fin	0.95	2.4	24	0	24	10.00
Jul	3	Fin	0.95	2.49	27.4	0.1	27.3	11.00
Ago	1	Fin	0.95	2.59	25.9	1.1	24.7	10.00
Ago	2	Fin	0.94	2.68	26.8	1.7	25.1	10.00
Ago	3	Fin	0.94	2.57	28.3	3.5	24.7	11.01
Sep	1	Fin	0.94	2.46	14.8	3	12.3	6.02

*Nota.* Elaboración propia. Fuente: Software Cropwat

Con los datos de Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), precipitación efectiva (Pe), y Evapotranspiración real del cultivo, obtenidos con la ayuda de las herramientas de CLIMWAT Y CROMWAT, se realiza el cálculo de demanda de agua para fines de riego.

Considerando un sistema de riego por aspersión, cuya eficiencia de aprovechamiento del agua es de 70%, y además considerando 12 horas el tiempo de riego efectivo en el que se podrá utilizar el sistema por día, se tiene la siguiente Tabla 7, en donde se observa que para 0.217 hectáreas de cultivo de Rye Grass, existe una demanda hídrica máxima de 0.177 l/s que corresponde al mes de agosto, siendo el periodo que mayor estiaje que se presenta en la zona de estudio, este valor de caudal calculado de 0.177 l/s será considerado como caudal de descarga.



**Tabla 7**

*Resultados de requerimiento de agua del cultivo – caudal de descarga*

CALCULO DE DEMANDA DE AGUA PARA FINES DE RIEGO												
CULTIVO PRINCIPAL : RYE GRASS	AREA:	0.217 Ha						EFICIENCIA DE RIEGO:	0.70	(ASPERSION)		
DESCRIPCION	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1. Area de cultivo (ha)	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217	0.217
2. N° dias del mes	31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
3. <b>(Eto)</b> Evap. De referencia, Penman - Monteith (mm/dia)	2.92	2.81	2.75	2.64	2.56	2.45	2.53	2.84	2.51	2.69	2.68	2.60
4. <b>(Kc)</b> Coeficiente ponderado del cultivo	0.98	0.97	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	0.94	0.94	0.94	0.86	0.96
5. <b>(Etc)</b> Evapotranspiracion real del cultivo (mm/dia)	2.86	2.73	2.67	2.53	2.46	2.33	2.40	2.67	2.36	2.53	2.30	2.50
6. <b>(Pe)</b> P. efectiva (mm/mes)	96.00	106.40	109.60	36.80	18.20	0.00	0.00	6.20	21.80	55.20	62.40	83.20
7. <b>(ef)</b> Eficiencia de riego (%)	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00
8. <b>(Dn)</b> Demanda Unitaria Neta de Riego (mm/mes) <b>(5*2-6)</b>	0.00	0.00	0.00	39.23	57.99	69.83	74.51	76.56	48.98	23.19	6.74	0.00
9. <b>(Db)</b> Demanda bruta total de Riego (mm/mes) <b>(8/7)</b>	0.00	0.00	0.00	56.05	82.84	99.75	106.44	109.37	69.97	33.12	9.63	0.00
10. <b>(Db)</b> Demanda bruta total de Riego (m3/ha) <b>(9*10)</b>	0.00	0.00	0.00	560.46	828.37	997.50	1064.41	1093.68	699.74	331.24	96.34	0.00
11. <b>(Hr)</b> Número de Horas de riego/día	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
12. <b>(D)</b> Demanda de Agua del Proyecto (m3) <b>(10*1)</b>	0.00	0.00	0.00	121.62	179.76	216.46	230.98	237.33	151.84	71.88	20.91	0.00
13. <b>(D)</b> Demanda de Agua del Proyecto (l/s) <b>(12/(2*11*36))</b>	0.000	0.000	0.000	0.094	0.134	0.167	0.172	0.177	0.117	0.054	0.016	0.000
14. <b>(Mr)</b> Módulo de riego calculado (litros/seg/has.) <b>(13/1)</b>	0.00	0.00	0.00	0.43	0.62	0.77	0.79	0.82	0.54	0.25	0.07	0.00

*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.1.2.2. Determinación del caudal de alimentación (Q).

Conociendo ya el valor del caudal de descarga, lo cual es el mismo que la demanda hídrica de 0.177 l/s (Tabla 7 - agosto) que será necesario para el riego del Rye Grass en un área de 0.217 hectáreas, se procede a calcular el caudal de alimentación mediante la ecuación según (Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013), previamente asumiendo una eficiencia de 50% del ariete hidráulico.

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

**Ecuación 30.** 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.

Entonces, reemplazando los valores en la ecuación se tiene:

q = 0.177 (l/s).

Hd = 17.10 (m).

Q = Caudal de alimentación (l/s).

Ha = 5.70 (m).

n = 50%

$$Q = \frac{0.177 * 17.10}{0.5 * 5.70}$$

$$Q = 1.062 \text{ l/s}$$

Se puede apreciar que, para una eficiencia asumida de 50% del ariete hidráulico, se requiere un caudal de alimentación teórica de 1.062 l/s, luego con este caudal se calculara el diámetro de la tubería de alimentación.

#### 4.1.2.3. Diseño de la Tubería de alimentación (2).

##### a) **Diámetro de la tubería de alimentación usando la ecuación de Bondschú.**

Para determinar el diámetro de la tubería de alimentación, aplicaremos la ecuación de Bondschu, lo cual es como sigue a continuación:

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

**Ecuación 31.** Diámetro de tubería de alimentación según Bondschu.

Dónde:

D : Diámetro de la tubería de alimentación (m)

Q : caudal de alimentación: 1.062 l/s = 0.0011 m<sup>3</sup>/s.

HD : altura de descarga: 17.10 (m)

Hs : 0.3HD= 5.13 m

$$D = 1.27 * \frac{0.0011^{0.4268}}{(17.10 + 5.13)^{0.1423}}$$

$$D = 0.045\text{m}$$

$$D = 44.61\text{mm}$$

De acuerdo a la ecuación de Bondschu, el diámetro mínimo de la tubería de alimentación debe ser de 46.61mm.

Se plantea usar tubo de polietileno de alta densidad, ya que según el manual de la empresa (Pavco, 2020) presenta las siguientes ventajas.

- Bajo peso
- Facilidad de transporte y manipulación.
- Facilidad en la instalación, ya que se suministran en rollos de 100m y no se requiere de uniones.
- Mayor flexibilidad, admiten curvas en fríos y por ende menor pérdida de carga por accesorios.
- Alta resistencia y estable a la radiación UV.
- Alta resistencia a la abrasión
- Insensibilidad a la congelación (adecuado para la zona de estudio)
- Mayor resistencia al golpe de ariete

Entonces, el tipo de tubería de polietileno a usar será PE80 y SDR 17, lo cual soporta a una presión de trabajo de 8 Mpa, y es más que suficiente para poder usar en el presente proyecto, además es comercial en las ferreterías de la ciudad de Cerro de Pasco.

Dentro del catálogo de la empresa (Pavco, 2020), se tiene las características de tubería HDPE de 63mm de diámetro externo, con espesor de 3.8mm para tipo PE80 y SDR 17, resultando el diámetro interno de 55.4mm, lo cual cumple con el diámetro calculado según la ecuación de Bondschú, por lo tanto, se usará esta tubería de polietileno de 63mm de diámetro externo.

**Tabla 8**

*Dimensiones de diámetros comerciales 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 16		PN 12.5		PN 10		PN 8	
(mm)	Ovalidad	Ø <sub>min</sub> (mm)	Ø <sub>Peso</sub>	Ø <sub>min</sub> (mm)	Ø <sub>Peso</sub>	Ø <sub>min</sub> (mm)	Ø <sub>Peso</sub>	Ø <sub>min</sub> (mm)	Ø <sub>Peso</sub>	Ø <sub>min</sub> (mm)	Peso (kg/m)	Ø <sub>min</sub> (mm)	Peso (kg/m)	Ø <sub>min</sub> (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
250	5.0	41.5	28.26	34.2	24.10	27.9	20.23	(*)22.7	16.84	18.4	13.91	(*)14.8	11.36	11.9	9.25
280	9.8	46.5	-	38.3	30.23	31.3	32.16	(*)25.4	21.11	20.6	17.44	(*)16.6	14.27	13.4	11.66
315	11.1	52.3	-	43.1	38.26	35.2	40.87	(*)28.6	26.74	23.2	22.10	(*)18.7	18.09	15.0	14.69

*Nota.* Fuente: (Pavco, 2020)

**b) Diámetro de tubería de alimentación de acuerdo a su longitud.**

➤ **Longitud de la tubería de alimentación.**

Según la topografía del terreno, se tiene que para una altura de alimentación de 5.70 m, se requiere una distancia inclinada de 50.30 m, la misma que será la longitud de la tubería de alimentación.

➤ **Cálculo del diámetro de la tubería de alimentación en función de su longitud.**

Se verifica la relación entre Longitud y Diámetro de la tubería de alimentación. (Campaña, C. & Guamán, D., 2011) muestran una tabla de los rangos de longitud para tuberías de impulsión en función de sus diámetros.

**Tabla 9**

*Rango de longitud para tuberías de alimentación en función de su 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.* Fuente: (Campaña, C. & Guamán, D., 2011)

Para nuestro caso se tiene un diámetro calculado de 55.4mm, entonces según la tabla, se encuentra en el rango de 50 a 80 mm, y la longitud de la tubería de alimentación debe estar entre 7.5 m como mínimo y de 80 m como máximo aproximadamente, por lo que cumple con este criterio de elección del diámetro de tubería.

(Watt, S. B., 1975). nos menciona que, para un adecuado desempeño en la funcionalidad de la bomba de ariete, la relación longitud (L)/Diámetro (D) debe estar comprendida entre 150 a 1000, recomendándonos trabajar con una relación L/D de 500, o el cuádruple de la altura de alimentación, eligiendo el valor menor, para el caso de la investigación se tiene lo siguiente:

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

$$150 \leq \frac{50.30}{0.0554} \leq 1000$$

$$150 \leq 907.94 \leq 1000$$

Se puede verificar que con un diámetro nominal de 63mm, la relación L/D, se encuentra dentro del rango de los límites según (Watt, S. B., 1975).

**c) Diámetro de tubería de alimentación de acuerdo a la fórmula Hazen-Williams**

De acuerdo a la fórmula de Hazen-Williams, que encontramos en (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2018), se tiene que se calcula el diámetro de la tubería de alimentación para luego compararlo según Bondschu:

$$H_f = 10.674x \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} x D^{4.86}} x L$$

**Ecuación 32.** Ecuación de Hazen - Williams

Donde:

$H_f$  : pérdida de carga continua (m)

$Q$  : caudal en ( $m^3/s$ )

$D$  : diámetro interior en (m)

$C$  : coeficiente de Hazen Williams (adimensional)

- Acero sin costura C=120

- Acero soldado en espiral C=100

- Hierro fundido dúctil con revestimiento C=140

- Hierro Galvanizado

C=100

- Polietileno C=140

- PVC

C=150

L : longitud del tramo (m)



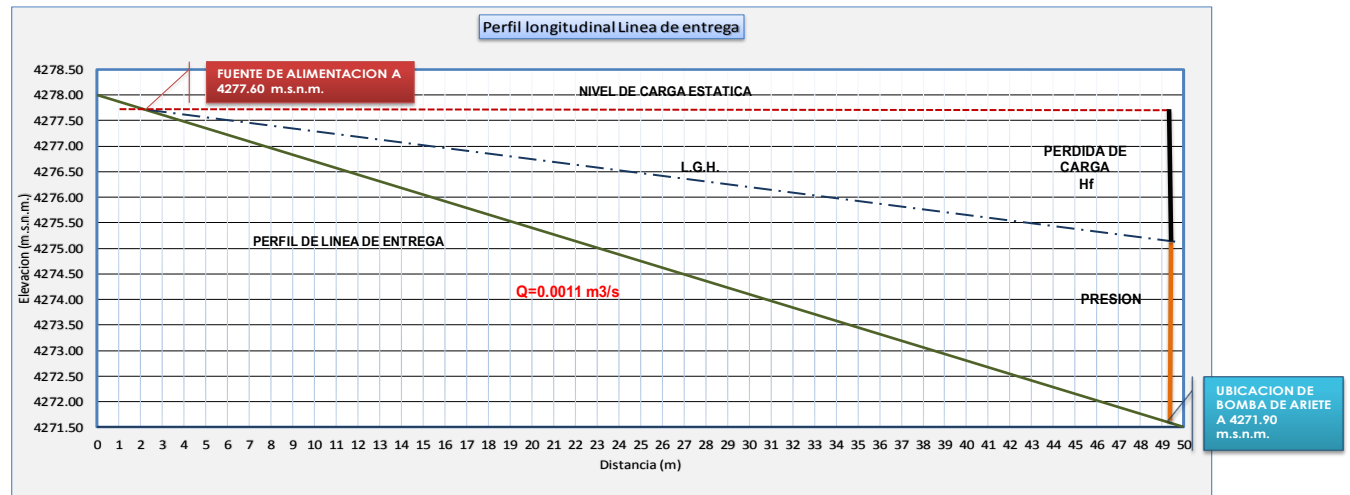
**Tabla 10**

*Cálculo del diámetro de la tubería de acuerdo a Hazen-Williams*

TRAMO DISEÑO+B2:Q29	CLASE DE TUBERIA	Caudal de Alimentación Q (m3/seg)	Longitud Total L (m)	COTA DEL TERRENO		Desnivel de Terreno (m)	Pérdida de carga unitaria Disponible hf (m/m)	Diametros Calculados (D) (mm)	Diametros seleccionado (D) (mm)	Velocidad V m/s	Pérdida de carga unitaria hf (m/m)	Pérdida de carga por TRAMO Hf (m)	COTA PIEZOMETRICA		Presión Final (m)
				Inicial (m.s.n.m)	Final (m.s.n.m)								Inicial (msnm)	Final (msnm)	
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
F.A.- B.A.H.	HDPE	0.0011000 m3/seg	50.30 m	4,277.60 m.s.n.m.	4,271.90 m.s.n.m.	5.70 m	0.113	29.13	34	1.21	0.051448	2.588	4,277.60 m.s.n.m.	4,275.01 m.s.n.m.	3.11 m
<b>TOTAL =</b>		<b>50.30 m</b>													

**PERFIL LONGITUDINAL**

Distancia	Elevacion
0	4278.00
5	4277.35
10	4276.70
15	4276.05
20	4275.40
25	4274.75
30	4274.10
35	4273.45
40	4272.80
45	4272.15
50	4271.50



*Nota.* Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla 10, el diámetro interior calculado por la fórmula de Hazen – Williams es de 29.13 mm, lo cual redondeando a un diámetro comercial según el catálogo de PAVCO WAVIN se llega a que la tubería de alimentación sería de 40mm de diámetro nominal tipo PE80 SDR 17. Sin embargo, según la ecuación de Bondschú y de acuerdo

al criterio de relación L/D, se requiere una tubería comercial de diámetro exterior de 63mm tipo PE80 y SDR 17, por lo cual será elegido definitivamente como diámetro nominal de la tubería de alimentación el valor de 63 mm.

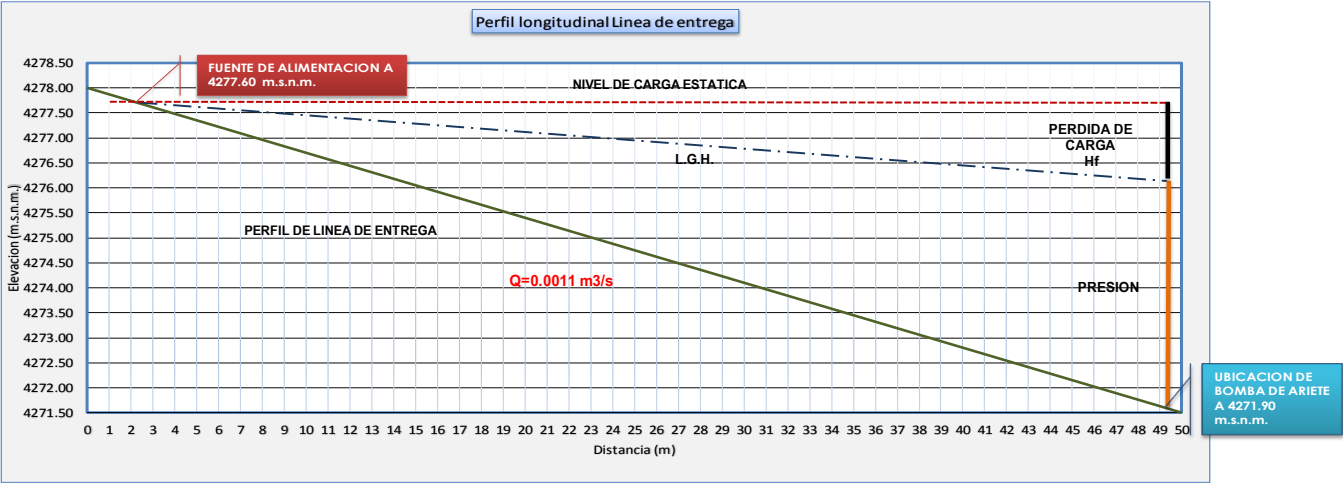
**Tabla 11**

*Verificación del diámetro seleccionado de la tubería de alimentación sde acuerdo a Hazen-Williams*

TRAMO DISEÑO	CLASE DE TUBERIA	Caudal de Alimentación Q (m3/seg)	Longitud Total L (m)	COTA DEL TERRENO		Desnivel de Terreno (m)	Pérdida de carga unitaria Disponible hf (m/m)	Diametros Calculados (D) (mm)	Diametros seleccionado (D) (mm)	Velocidad V (m/s)	Pérdida de carga unitaria hf (m/m)	Pérdida de carga por TRAMO Hf (m)	COTA PIEZOMETRICA		Presión Final (m)
				Inicial (m.s.n.m)	Final (m.s.n.m)								Inicial (msnm)	Final (msnm)	
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
F.A.- B.A.H.	HDPE	0.0011000 m3/seg	50.30 m	4,277.60 m.s.n.m.	4,271.90 m.s.n.m.	5.70 m	0.113	29.13	55.40	0.46	0.004796	0.241	4,277.60 m.s.n.m.	4,277.36 m.s.n.m.	5.46 m
<b>TOTAL =</b>		<b>50.30 m</b>													

**PERFIL LONGITUDINAL**

Distancia	Elevación
0	4278.00
5	4277.35
10	4276.70
15	4276.05
20	4275.40
25	4274.75
30	4274.10
35	4273.45
40	4272.80
45	4272.15
50	4271.50



Nota. Elaboración propia.

#### **4.1.2.4. Tubería de descarga**

(Rivadeneira, S. & Silva, L., 2013). Mencionan que el diámetro de esta tubería usualmente se determina como la mitad del diámetro de la tubería de alimentación.

Entonces ya conociendo el diámetro de la tubería de alimentación, hallaremos el diámetro de la tubería de descarga de la siguiente manera:

$$\frac{D}{2} = \text{Diámetro de Tubería de entrega.}$$

$$\frac{63\text{mm}}{2} = 31.5 \text{ mm}$$

Planteándose usar tubería HDPE, mismo material que la tubería de alimentación, y de acuerdo a la tabla 8, podemos observar el diámetro comercial que se acerca al valor calculado de 31.5mm es de 32 mm, por lo tanto, se elige definitivamente este diámetro para la tubería de descarga.

#### **4.1.2.5. Fuente de alimentación**

Debido a que el caudal que oferta por la fuente hídrica del lugar es de 0.293 l/s y el caudal de alimentación que la bomba de ariete requiere teóricamente es de 1.062 l/s, se tendrá una deficiencia en el funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico, ya que se debe tener un caudal constante sin interrupciones, es por ello, que se plantea construir una fuente de alimentación en donde se almacenara la cantidad necesaria de agua mientras que el ariete hidráulico no está en funcionamiento. En el cálculo del caudal de entrega se consideró un tiempo de 12 horas de riego efectivo por día en el que se podrá utilizar el sistema, y el resto 12 horas del día la bomba de ariete hidráulico no estará en funcionamiento, y en este periodo se

aprovechará en almacenar la cantidad necesaria de agua en la fuente de alimentación.

Según el caudal de alimentación  $Q=1.06$  l/s, en 12 horas se debe almacenar como mínimo  $45.792$  m<sup>3</sup> de agua, sin embargo, el caudal ofertado por el manantial subterráneo es muy bajo, lo cual es de  $0.293$  l/s, y en 12 horas se lograría almacenar únicamente  $12.66$  m<sup>3</sup>, como una alternativa de solución se identificarían otras fuentes de agua para luego construir una cámara de reunión de caudales y así poder dotar de un mayor caudal al sistema de bombeo, otra alternativa sería en construir una laguna artificial de mayor capacidad y almacenar mayor cantidad de agua, para que en periodos determinados bombear el agua requerido para el riego. Sin embargo, para fines de estudio sobre la efectividad del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico se plantea solo en mejorar un pozo existente, perfilando los lados y profundizando a  $1.30$ m de altura, los lados serán de largo  $3.00$  m y de ancho  $2.00$  m, por lo que el volumen total será de  $7.80$  m<sup>3</sup>, siendo suficiente para la finalidad de la presente tesis.

#### **4.1.2.6. Tanque de almacenamiento**

El tanque de almacenamiento es una obra civil de mucha importancia, ya que almacenara el agua bombeada, para luego por gravedad realizar el riego al Rye Grass cultivado.

El dimensionamiento se realizará de acuerdo al caudal de entrega y del tiempo en que estará en pleno funcionamiento el ariete hidráulico.

- Caudal de descarga ( $q$ ) =  $0.177$  l/s =  $0.637$ m<sup>3</sup>/h.
- Tiempo de funcionamiento del ariete ( $t$ ): 12 horas.

El volumen del tanque de almacenamiento ( $V_{ta}$ ), se hallará de la siguiente manera:

$$V_{ta} = q * t$$

**Ecuación 33.** Ecuación para hallar el volumen del tanque de almacenamiento.

reemplazado los valores se tiene:

$$V_{ta} = (0.637 \text{ m}^3/\text{h}) * 12 \text{ hr}$$

$$V_{ta} = 7.64 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, el volumen mínimo del tanque de almacenamiento será un valor redondeado de 8.00 m<sup>3</sup>, y con el fin de economizar se propondrá que sea de geomembrana HDPE.

Para fines de estudio sobre la efectividad del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, será necesario solo contar con un recipiente, de tal manera se puede medir el caudal de descarga cuando el sistema de bombeo está en funcionamiento.

#### **4.1.3. Resumen general del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico según diseño teórico.**

##### **a. Parámetros de diseño**

Fue importante conocer los parámetros para diseñar los componentes generales que forman parte del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, estos parámetros se muestran a continuación:

**Tabla 12**

*Parámetros importantes de diseño del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico.*

N°	DESCRIPCION	VALOR	UNIDAD
1	Caudal ofertado por el manantial subterráneo	0.293	l/s
2	Diferencia de altura entre el nivel de fuente de alimentación y tanque de almacenamiento	11.40	m
3	Área del cultivo a regar	0.217	ha
4	Caudal de descarga requerido	0.177	l/s
5	Eficiencia de la bomba de ariete (asumida)	50	%
6	Caudal de alimentación calculado	1.06	l/s

*Nota.* Elaboración propia.

**b. Resumen de elementos que conforman el sistema de bombeo mediante ariete hidráulico.**

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

**Tabla 13**

*Elementos del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico.*

ITEM	COMPONENTE	DIMENSION	UNIDAD	MATERIAL
<b>1.0</b>	<b>CAPTACION</b>			
1.1	MANANTIAL SUBTERRANEO			
<b>2.0</b>	<b>LINEA DE CONDUCCION</b>			
2.1	CANAL NATURAL			
<b>3.0</b>	<b>FUENTE DE ALIMENTACION</b>			
3.1	FUENTE DE ALIMENTACION ARTESANAL (3.00x2.00mx1.30m)	7.80	m <sup>3</sup>	NINGUNA
<b>4.0</b>	<b>LINEA DE ALIMENTACION</b>			TUB. HDPE
4.1	ALTURA DE ALIMENTACION	5.70	m	
4.2	LONGITUD DE TUBERIA DE ALIMENTACION	50.30	m	
4.3	DIAMETRO DE TUBERIA DE ALIMENTACION	63.00	mm	
<b>5.0</b>	<b>BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO</b>			F°G°, PVC, Bronce
5.1	DIAMETRO DE LA BOMBA DE ARIETE	2.00	Pulg.	
<b>6.0</b>	<b>LINEA DE DESCARGA</b>			TUB. HDPE
6.1	ALTURA DE DESCARGA	17.10	m	
4.2	LONGITUD DE TUBERIA DE ALIMENTACION	90.00	m	

4.3	DIAMETRO DE TUBERIA DE ALIMENTACION	32	mm	
<b>7.0</b>	<b>TANQUE DE ALMACENAMIENTO</b>			
7.1	VOLUMEN	8.00	m3	PROYECTADO

*Nota.* Elaboración propia.

#### **4.1.4. Diseño de Bomba de ariete hidráulico**

##### **4.1.4.1. Dimensionamiento y configuración del cuerpo**

El diámetro del cuerpo de la bomba de ariete tendrá el mismo diámetro que la tubería de alimentación, lo cual será de 2", La bomba estará compuesta de accesorios de fácil adquisición, que son comerciales en las ferreterías cercanas al lugar de estudio, la configuración planteada será de la siguiente manera:

#### **Figura 57**

*Diseño de la Bomba de ariete hidráulico*



*Nota.* Elaboración propia.

#### **A. Diseño de válvula de impulsión**

- **Elección de la válvula de impulsión**

Para producir el fenómeno del golpe de ariete hidráulico, se plantea usar una válvula de pie con canastilla, la cual es usada generalmente en instalaciones de tubos con flujo de agua sin retorno, así como en tuberías de succión, cuya función de esta válvula principalmente es mantener llena de agua a la bomba instalada, ya que permite solo el ingreso del líquido y al cambiar la dirección del flujo la válvula se cierra de manera repentina generando así el golpe de ariete hidráulico.

**Figura 58**

*Válvula de Impulsión*



*Nota.* Válvula de pie con canastilla. Fuente: ferrovalvulas puma E.I.R.L.

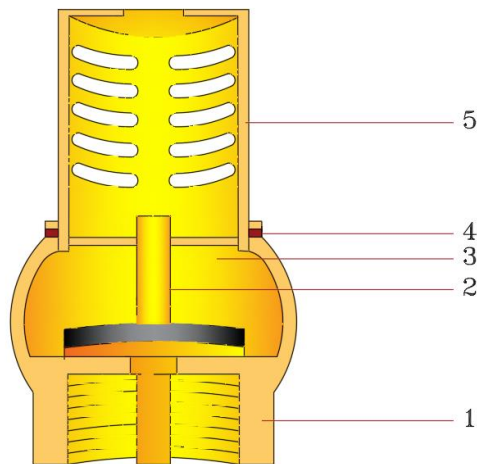
Los elementos que son parte de la válvula de pie son las siguientes:

1. Cuerpo, 2. Obturador, 3. Junta de cierre, 4. Junta de unión, 5. Filtro.



**Figura 59**

*Componente de la Válvula de Impulsión*

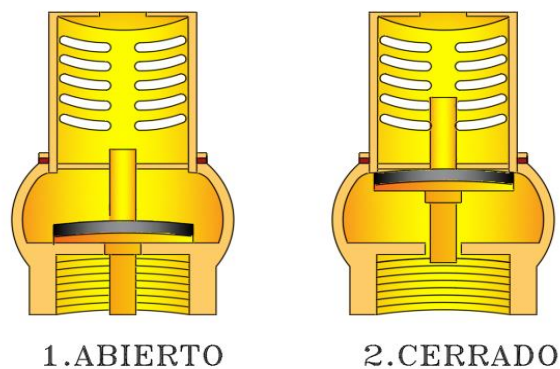


*Nota.* Elaboración propia.

Cuando el obturador se encuentra apoyado en el cuerpo como indica la Figura 59, entonces la válvula está abierta, y estará cerrado cuando el obturador se encuentra sobre el cuerpo elevado hacia la canastilla como indica la Figura 60.

**Figura 60**

*Apertura y cierre de la válvula de Impulsión*



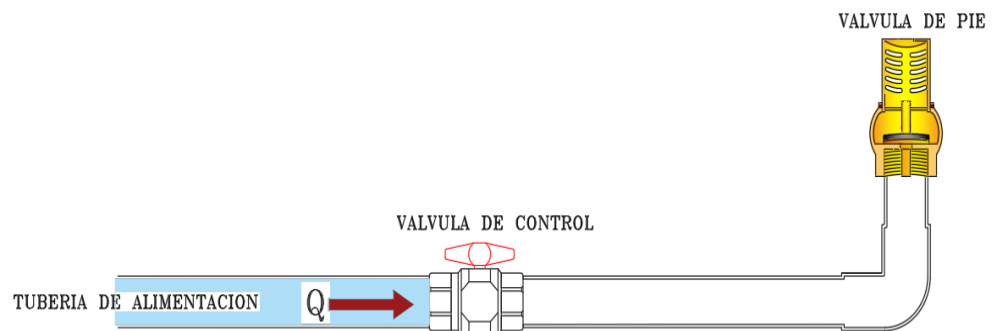
*Nota.* Elaboración propia.

Con esta válvula de pie, se va producir el fenómeno físico del golpe de ariete hidráulico de la siguiente manera:

- a. Previamente se debe saber que la válvula de pie, se instalará en una posición vertical con la canastilla en la parte superior, ya que en esta posición el obturador por peso propio se encontrará apoyado en el cuerpo, y por ende la válvula estará abierta. Asimismo, se instalará una válvula de bola de PVC antes de la válvula de pie, con la finalidad de poner en funcionamiento a la bomba de ariete hidráulico abriéndola de manera repentina, logrando que el líquido puede llegar hacia la válvula de pie para cerrar de manera rápida y producir el golpe de ariete.

### Figura 61

#### *Apertura repentina de la válvula*

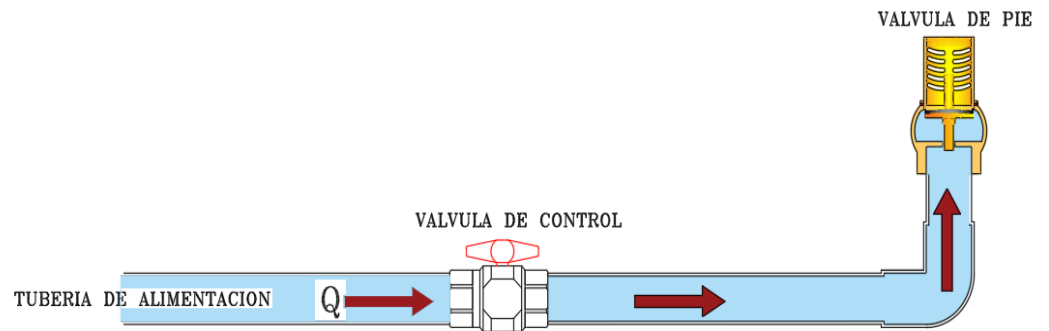


*Nota.* Elaboración propia.

- b. Al abrir la válvula de bola de manera repentina, el caudal de agua reposado en la tubería de alimentación, circulara hacia la válvula de pie, y al obturador lo elevara hacia la canastilla, produciendo el fenómeno del golpe de ariete.

## Figura 62

*Paso del agua hacia la válvula de impulsión.*

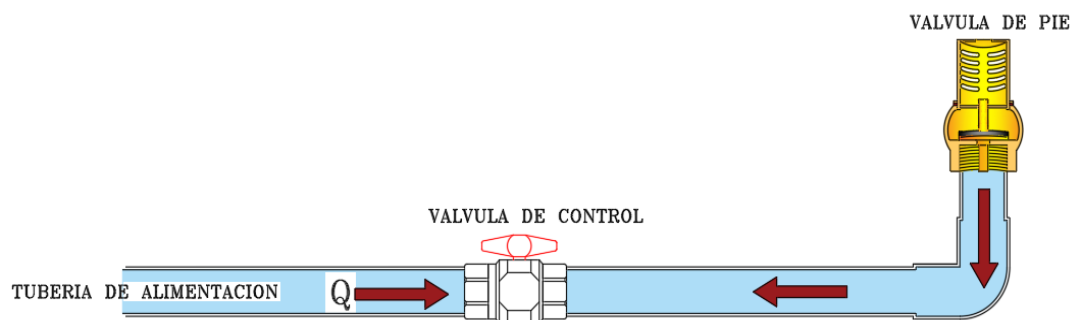


*Nota.* Elaboración propia.

Luego el caudal del agua que llego hasta la válvula de pie, tiende a regresar hacia la válvula de control, lo cual hace que el obturador caiga por peso propio en el cuerpo de la válvula de aire, y en efecto esta válvula de aire se encontrara abierta.

## Figura 63

*Retorno del flujo hacia la tubería de alimentación*

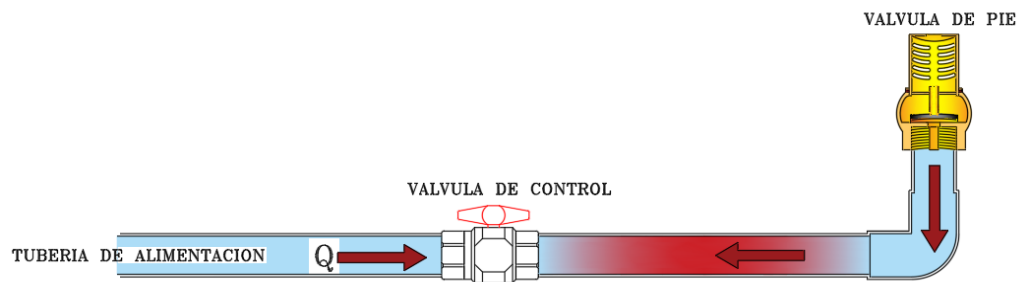


*Nota.* Elaboración propia.

- c. Debido a que el agua tiende a regresar hacia la válvula de control, en el tramo comprendido entre esta válvula de control y la válvula de pie, se tendrá un tipo de compresión del líquido, formándose una sobrepresión en esta zona.

## Figura 64

### *Sobrepresión en la tubería de alimentación*

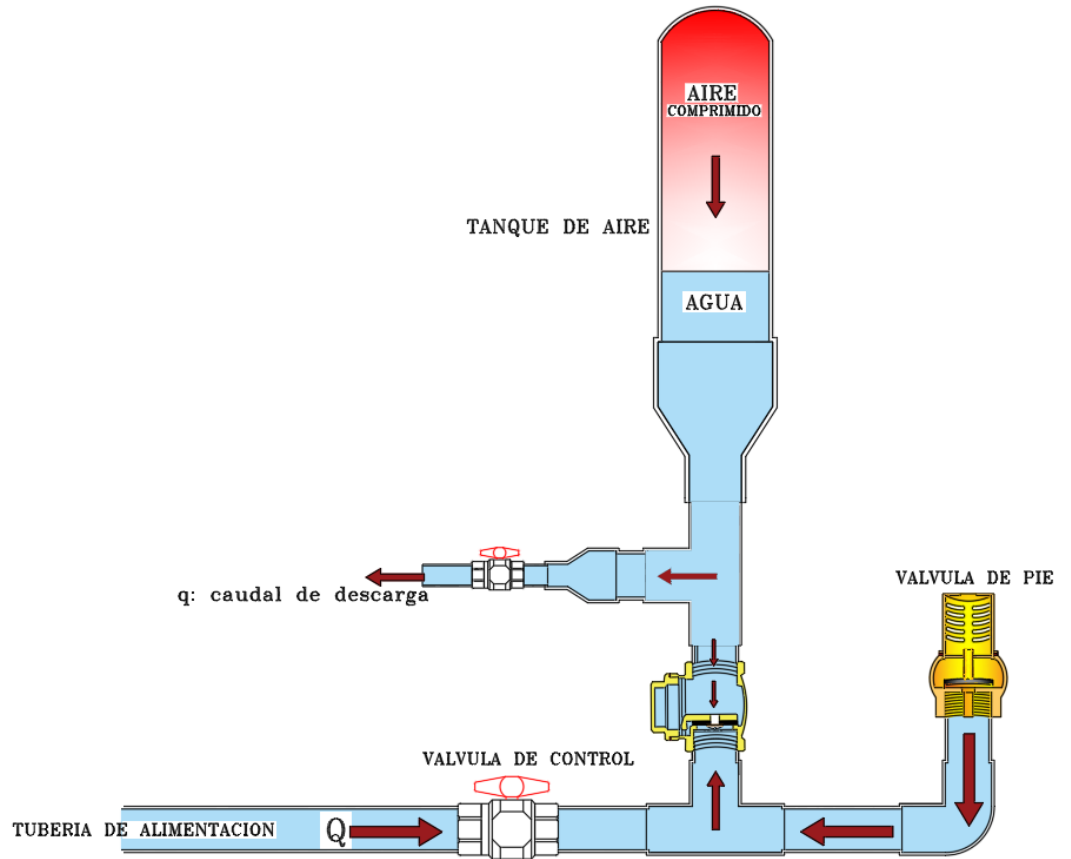


*Nota.* Elaboración propia.

- d. Se aprovechará esta sobrepresión para impulsar el líquido hacia el tanque de aire, derivándola mediante una TEE de F°G° y una válvula check antirretorno (válvula de descarga), de esta manera el líquido liberado que pasa hacia el tanque de aire no tenga opción de regresar hacia la tubería de alimentación, sino más bien será impulsado hacia el tanque de almacenamiento a través de la tubería de descarga. La derivación de la tubería de descarga será por medio de una TEE de F°G° ubicado entre el tanque de aire y la válvula check antirretorno, como se puede observar en la siguiente figura:

## Figura 65

### *Prototipo proyectado del ariete hidráulico.*



*Nota.* Elaboración propia.

- **Verificación de las características físicas de la válvula de impulsión (diámetro y espesor)**

(Nekrasov B, 1968), proporciona una relación entre el diámetro del obturador y el diámetro de la base de la válvula de impulsión, lo cual establece la siguiente ecuación:

$$d_v = (1.15 a 1.25 * d)$$

**Ecuación 34.** Relación entre el diámetro del obturador y la válvula de impulsión.

Donde:

$d_v$  : diámetro del obturador de la válvula.

$d$  : diámetro de la base de la válvula.

De la válvula de impulso que se usara, se tiene los siguientes datos de fábrica con respecto a sus características físicas:

- Diámetro de base de la válvula : 0.048m

**Figura 66**

*Diámetro de base de válvula de impulsión.*

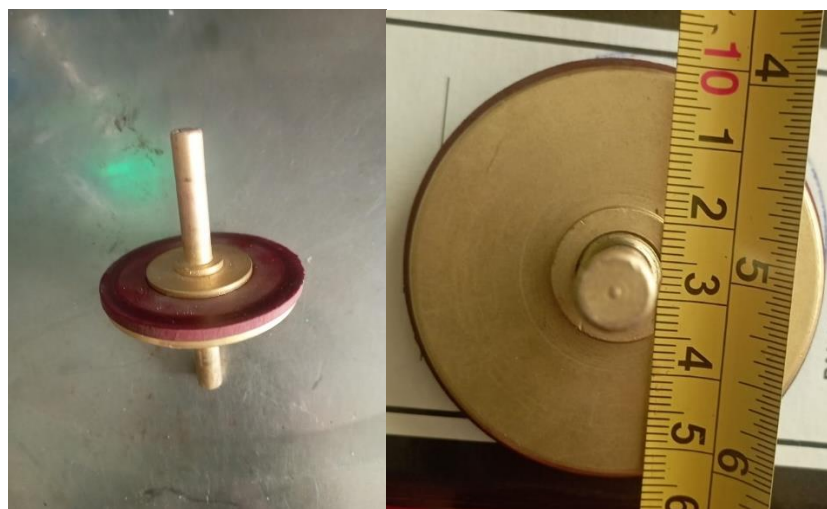


*Nota.* Elaboración propia.

- Diámetro del obturador : 0.055m

**Figura 67**

*Diámetro del obturador de la válvula de impulsión.*



*Nota.* Elaboración propia.

- Espesor del obturador : 0.007m

### Figura 68

*Espesor total del obturador de la válvula de impulsión.*



*Nota.* Elaboración propia.

Entonces, reemplazando los datos que se tiene en la ecuación anterior se tiene:

$$d_v(\text{minimo}) = 1.15 * 0.048 = 0.055 \text{ mm}$$

$$d_v(\text{maximo}) = 1.25 * 0.047 = 0.058 \text{ mm}$$

De acuerdo al resultado obtenido, se verifica que el diámetro prestablecido de fábrica cumple con el dimensionamiento según la ecuación de (Nekrasov B, 1968)

Asimismo, con respecto al espesor del obturador, (Nekrasov B, 1968), indica que se determina con la siguiente relación:

$$e = 0.14 * d$$

**Ecuación 35.** Espesor del obturador

Dónde:

$e$  = Espesor del obturado de la válvula de impulso (m)

$d$  = Diámetro de base de la válvula de impulso (m)

Reemplazando el valor de “d” se determinó:

$$e = 0.14 * 0.048$$

$$e = 0.0067$$

Lo mismo se verifica con el dato según fabrica, lo cual cumple el requerimiento del espesor mínimo.

▪ **verificación de la carrera preestablecida de fábrica de la válvula de impulsión.**

(Paredes, M, & Tuquinga, R., 2012) Nos mencionan que la carrera es uno de los componentes más importantes de la válvula de alimentación, para un adecuado y óptima operación, la válvula de impulsión debe cerrarse en lo posible de manera rápida, por ende, es mejor diseñar una válvula que presenta una carrera corta, sin embargo, se debe cuidar que sea demasiado corto, debido a que no abrirá suficiente tiempo para el ciclo normal del golpe de ariete, además si se tiene una carrera corto, no podría escapar suficientemente el líquido limitando la velocidad dentro de la tubería de alimentación y al mismo tiempo reduciendo la presión.

(Straneo, L, 1969) Menciona que, si la válvula es de asiento plano, entonces la carrera debe estar comprendido entre 25% a 33% del diámetro de la válvula de impulsión.

$$S = (25\%a30\%)d_v$$

**Ecuación 36.** Carrera de la válvula de impulsión

En dónde:



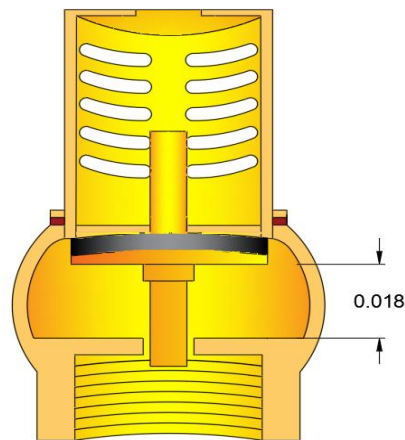
S : Carrera.

dv : Diámetro del obturador de la válvula.

De la válvula de impulsión que se usara, tenemos ya preestablecida desde la fábrica la longitud de carrera, cuya medida es de 18mm, y en este caso solo se procedió a realizar la verificación de acuerdo a la ecuación 32:

### Figura 69

*Carrera de la válvula*



*Nota.* Elaboración propia.

S mín. =  $0.25 \cdot 0.055$  metros = 0.014 m = 14 mm.

S máx. =  $0.33 \cdot 0.055$  metros = 0.018 m = 18 mm.

Se puede verificar que la medida de la carrera de la válvula de impulsión tiene un valor de 18 mm, y cumple con el límite máximo recomendado por (Straneo, L, 1969).

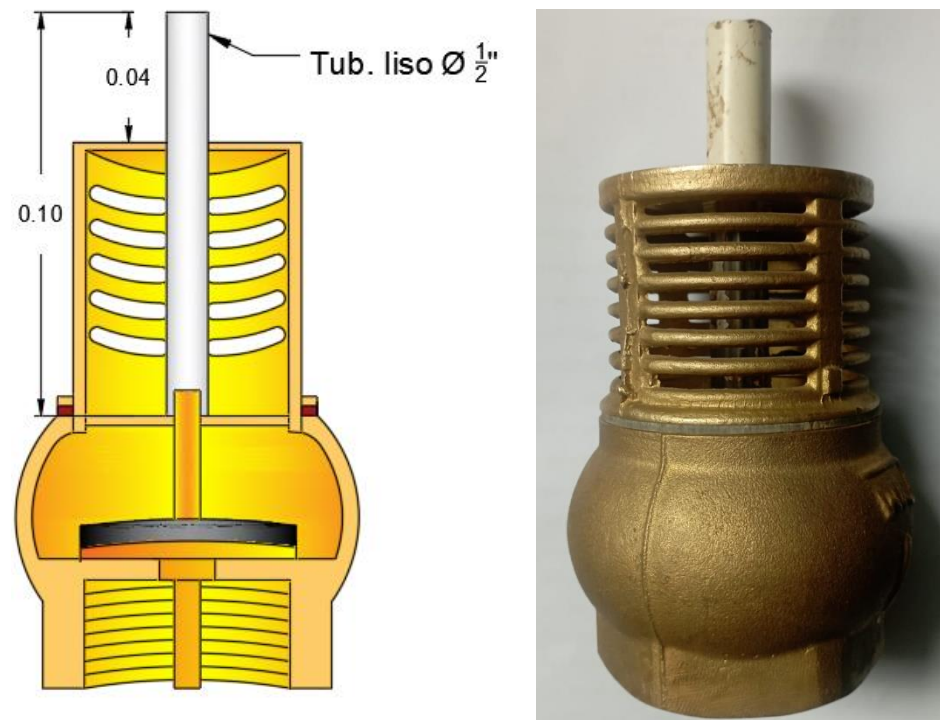
#### ▪ **Regulador de eficiencia de la válvula de impulsión**

La válvula será regulable mediante modificaciones de peso en el obturador, para ello se perforará la canastilla en la parte superior y se

colocará una tubería lisa de ½" diámetro, espesor 1 mm y de 10 cm longitud a lo largo de la canastilla.

### Figura 70

*Implementación de tubería lisa de ½ pulgada en la válvula.*

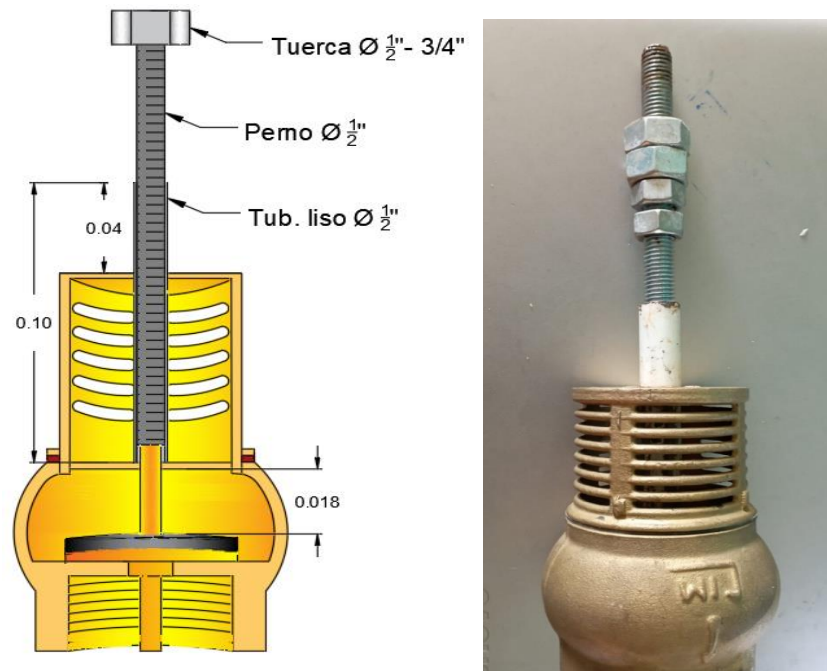


*Nota.* Elaboración propia.

En esta tubería se introducirá un perno cuyo diámetro es de ½" y 20 cm de largo con un peso de 130 gr, para luego mediante adiciones de tuercas con pesos variables de 14.5 gr y 30 gr se aumenta el peso al obturador y así mediante experimento en campo se podrá buscar la máxima eficiencia de trabajo de la válvula de impulsión, lo cual se considera como el motor de la bomba de ariete hidráulico.

**Figura 71**

*Perno de ajuste de la válvula de impulsión*



*Nota.* Elaboración propia.

▪ **Elección de la válvula de descarga**

La función principal de esta válvula será de no permitir el retorno del agua que llega al tanque de aire, para que luego este tanque de aire impulse al líquido por la tubería de descarga. Se plantea usar la válvula check anti – retorno de 2” de diámetro.

**Figura 72**

*Válvula de descarga*

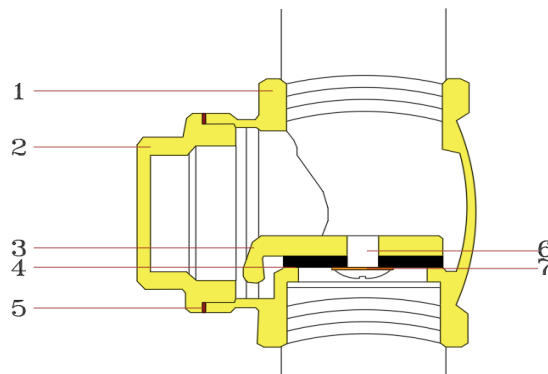


*Nota.* Fuente: Promart Homecenter

Los elementos que conforman esta válvula check anti – retorno son los siguientes: 1. Cuerpo, 2. Tapa, 3. Obturador, 4. Junta obturador, 5. Junta tapa, 6. Tornillo, 7. Arandela.

### **Figura 73**

*Componentes de la válvula check*

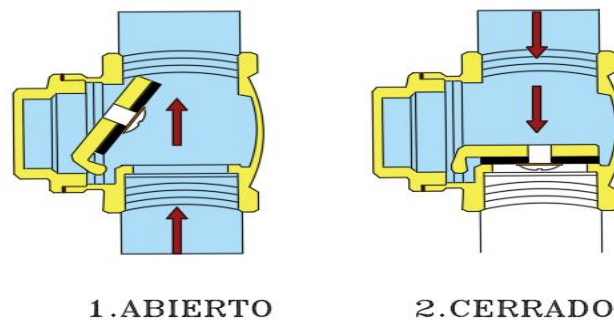


*Nota.* Elaboración propia.

La válvula check anti retorno estará abierto cuando el obturador gira sobre su eje en sentido horario permitiendo el ingreso del fluido, y se comenzara a cerrar cuando el flujo del agua se va reduciendo o retrocediendo.

### **Figura 74**

*Funcionamiento de la válvula check*



*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.1.4.2. Tanque de aire (7)

Este elemento se ubica inmediatamente superior de la válvula de entrega, dentro de este tanque se tendrá aire comprimido, lo cual permitirá que el agua sea impulsada hacia el tanque de almacenamiento mediante la tubería de descarga.

##### A. Dimensionamiento del volumen del tanque de aire

Según (Campaña, C. & Guamán, D., 2011) para poder determinar el volumen teórico del tanque de aire se puede usar la siguiente expresión matemática:

$$V_{T.A.} = \frac{(1 + x)Q_{max}(h + hr)}{10.33x}$$

**Ecuación 37.** Volumen del tanque de aire.

$$X = \frac{h}{h + hr}$$

**Ecuación 38.** Fracción de incremento de presión que permite el bombeo.

Donde:

- $V_{T.A.}$  : Volumen del tanque de aire (m<sup>3</sup>)
- $h$  : altura de descarga (m)
- $hr$  : Pérdida de carga durante el período de retardación (m)
- $Q_{max}$  : caudal elevado por el ariete en un ciclo (m<sup>3</sup>/ciclo)
- $x$  : Fracción de aumento de presión que permite el bombeo

Según (Paredes, M, & Tuquinga, R., 2012) mencionan que para hallar la pérdida de carga que se produce en el periodo de retardación (hr)

dentro de la tubería de alimentación, válvula de descarga y tubería de descarga, se usa la siguiente expresión matemática:

$$hr = 5.64 * \left(1 - \frac{h}{h_{max}}\right)$$

**Ecuación 39.** Pérdida de carga en el período de retardación.

hr : Pérdida de carga durante el período de retardación (m)

h : Altura de descarga (m).

hmáx : Sobrepresión (m.c.a.).

Según el manual técnico de Pavco Wavin, tener que cerrar una válvula, la sobrepresión máxima que se espera viene dado por la siguiente ecuación:

$$h_{max.} = \frac{aV}{g}$$

**Ecuación 40.** Sobrepresión máxima (m.c.a) al cerrar de manera repentina la válvula.

$$a = \frac{1420}{\sqrt{1 + \frac{K}{E} * (RDE - 2)}}$$

**Ecuación 41.** Velocidad de la onda

hmáx : Sobrepresión máxima al cerrar bruscamente una válvula (m.c.a.).

a : Velocidad de la onda (m/s)

V : Cambio de velocidad del agua (m/s)

g : Gravedad = 9.81 m/s<sup>2</sup>

K : Módulo de compresión del agua = 2.06 x 10<sup>4</sup> Kg/cm<sup>2</sup>

E : Módulo de elasticidad de la tubería (2.81 x 10<sup>4</sup> Kg/cm<sup>2</sup> para PVC Tipo 1 Grado 1)

RDE : división entre diámetro exterior y espesor mínimo.

(Martínez, D, 2012) Menciona, para generar el cierre de la válvula de impulsión, es necesario tener una velocidad del agua necesaria, lo cual calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_c = 0.5 * \sqrt{\frac{2gH}{Hr}}$$

**Ecuación 42.** Velocidad necesaria para generar el cierre de la válvula de impulso

V<sub>c</sub> : Velocidad necesaria para cerrar la válvula de impulso

(m/s) = Cambio de velocidad del agua (m/s)

H : Altura de alimentación (m)

H<sub>r</sub> : coeficiente total de pérdidas

g : gravedad = 9.81 m/s<sup>2</sup>

(Paredes, M, & Tuquinga, R., 2012). Mencionan que el coeficiente total de pérdidas (H<sub>r</sub>), se calcula mediante la expresión:

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

**Ecuación 43.** Coeficiente total de pérdidas

H<sub>r</sub> : Coeficiente total de pérdidas (m)

λ : Coeficiente de fricción o resistencia de la tubería.

∑K : Sumatoria de coeficiente de resistencia por accesorios y válvula de impulsión.

L : Longitud de la tubería de alimentación.

D<sub>i</sub> : Diámetro interno de la tubería de alimentación.

según (Swamee, P. & Jain, K., 1976), para poder calcular el coeficiente de fricción se debe usar la siguiente expresión.

$$\lambda = \frac{0.25}{[\log(\frac{\varepsilon}{3.71} + \frac{5.74}{Re^{0.9}})]^2}$$

**Ecuación 44.** Coeficiente de fricción de tubería

En donde:

Re : Número de Reynolds

$\varepsilon$  : Rugosidad relativa

$$Re = \frac{V_0 D_i}{\gamma}$$

**Ecuación 45.** Número de Reynolds

Re : Número de Reynolds

$V_0$  : Velocidad del agua disponible (m/s).

$D_i$  : Diámetro interno de la tubería de alimentación (m)

$\gamma$  : Viscosidad cinemática del agua a 15 °C.

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

**Ecuación 46.** Rugosidad relativa.

$\varepsilon$  : Rugosidad relativa.

$e$  : Rugosidad absoluta

$D_i$  : diámetro interno la tubería de alimentación (m)

$$q' = \frac{q}{T}$$

**Ecuación 47.** caudal descargado por ciclo de bombeo.

$q'$  : caudal que descarga en un ciclo (l/s)



q : caudal de descarga (l/s)

T : tiempo de desarrollo un ciclo del golpe de ariete  
(seg/ciclo)

$$T = 4 \frac{L}{a}$$

**Ecuación 48. Periodo en que se produce el golpe de ariete.**

L : longitud de la tubería de alimentación (m)

T : periodo (s)

a : velocidad de propagación de la onda de presión (m/s)

**Tabla 14**

*Tabla de proceso de cálculos para determinar el volumen del tanque de aire.*

VARIABLE	FORMULA	DESCRIPCION DE VARIABLES	DATOS	VALOR OBTENIDO
Volumen del tanque de aire	$V_{t.a.} = \frac{(1+x)Q_{max}(h+hr)}{10.33x}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vt.a. = Volumen del tanque de aire (m<sup>3</sup>)</li> <li>h = altura de descarga (m)</li> <li>hr = Pérdida de carga en el período de retardación (m)</li> <li>Qmax = caudal bombeado por el ariete en un ciclo (m<sup>3</sup>/ciclo)</li> <li>x = Fracción de incremento de presión que permite el bombeo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>h = 17.10 m</li> <li>hr = 3.346 m</li> <li>Qmax = q' = 0.000283m<sup>3</sup>/seg</li> <li>x = 0.836</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vc.a. = 0.00123 m<sup>3</sup></li> <li>1.23 litros</li> </ul>
Fracción de aumento de presión que permite el bombeo	$X = \frac{h}{h+hr}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>hr = Pérdida de carga en el período de retardación (m)</li> <li>h = altura de descarga (m)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>h = 17.10 m</li> <li>hr = 3.346 m</li> </ul>	X = 0.836
Pérdida de carga durante el período de retardación (m)	$hr = 5.64 * \left(1 - \frac{h}{h_{max}}\right)$	<ul style="list-style-type: none"> <li>h = Altura de descarga (m).</li> <li>h<sub>máx</sub> = Sobrepresión "ha" (m.c.a.).</li> <li>hr = Pérdida de carga en el período de retardación (m)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>h = 17.10 m</li> <li>h<sub>max</sub> = 42.043 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>hr = 3.346 m</li> </ul>
Sobrepresión "h max" (m.c.a.).	$h_{max} = \frac{aV}{g}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>h<sub>max</sub>: Sobrepresión (m.c.a.) al cerrar de manera repentina una válvula.</li> <li>a : Velocidad de la onda (m/s)</li> <li>V : Cambio de velocidad del agua (m/s)</li> <li>g : Gravedad = 9.81 m/s<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a : 415.357 m/s</li> <li>V<sub>c</sub> = 0.993 m/s</li> <li>g = 9.81 m/s<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>h<sub>max</sub>: 42.043 m</li> </ul>

Velocidad de la onda (m/s)	$a = \frac{1420}{\sqrt{1 + \frac{K}{E} * (RDE - 2)}}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• K : Módulo de compresión del agua = <math>2.06 \times 10^4</math> Kg/cm<sup>2</sup></li> <li>• E : Módulo de elasticidad de la tubería (<math>2.81 \times 10^4</math> Kg/cm<sup>2</sup> (asumiendo según Pavco wavin)</li> <li>• RDE : división entre diámetro exterior y espesor mínimo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diámetro exterior tub. HDPE -según catalogo Pavco Wavin = 63mm y espesor = 3.8 mm</li> <li>• RDE=63/3.8=16.579</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• a= 415.357 m/s</li> </ul>
Cambio de velocidad del agua (m/s)	$V_c = 0.5 * \sqrt{\frac{2gH}{Hr}}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vc = Velocidad de cierre de válvula de impulso (m/s) = Cambio de velocidad del agua (m/s)</li> <li>• H = Altura de alimentación (m)</li> <li>• Hr = coeficiente total de perdidas</li> <li>• g : Gravedad = 9.81 m/s<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• g = 9,81 m/seg<sup>2</sup></li> <li>• H= 5.70m</li> <li>• Hr=28.358m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vc = 0.993 m/s</li> </ul>
coeficiente total de perdidas	$Hr = 1 + \lambda$ $\frac{L}{Di} + \sum K =$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hr = Coeficiente total de perdidas (m)</li> <li>• <math>\lambda</math> = Coeficiente de fricción o resistencia de la tubería.</li> <li>• <math>\sum K</math> = Sumatoria de coeficiente de resistencia por accesorios y válvula de impulso.</li> <li>• L = Long. de la tubería de alimentación.</li> <li>• Di = Diámetro interno de la tubería de alimentación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L = 50.30m</li> <li>• Di= 55.40mm</li> <li>• <math>\lambda = 0.025</math></li> <li>• <math>\sum K = 4.659</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 28.358 m</li> </ul>
El coeficiente de fricción o resistencia ( $\lambda$ ),	$\lambda = \frac{0.25}{[\log(\frac{\epsilon}{3.71} + \frac{5.74}{Re^{0.9}})]^2}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Re = Número de Reynolds</li> <li>• <math>\epsilon</math> = Rugosidad relativa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Re = <math>2.216 \times 10^4</math></li> <li>• <math>\epsilon = 0.000027</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\lambda = 0.025</math></li> </ul>
número de Reynolds (Re)	$Re = \frac{V_o Di}{\gamma}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Re = Número de Reynolds</li> <li>• Vo = Velocidad del agua disponible (m/s).</li> <li>• Di = Diámetro interno de la tubería de alimentación (m)</li> <li>• <math>\gamma</math> = Viscosidad cinemática del agua a 15 °C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vo = 0.46 m/s</li> <li>• Di = Diámetro interno de la tubería de alimentación (m).</li> <li>• Di= 55.40mm</li> <li>• <math>\gamma = 1.15 \times 10^{-6}</math> m<sup>2</sup>/s</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Re=2.216x 10<sup>4</sup></li> <li>• Se puede observar que Re &gt; 4000, lo cual indica que el flujo</li> </ul>

				es turbulento.
Rugosidad relativa ( $\varepsilon$ )	$\varepsilon = \frac{e}{D_i}$	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>\varepsilon</math> = Rugosidad relativa.</li> <li><math>e</math> = Rugosidad absoluta</li> <li><math>D_i</math> = diámetro interno de tubería de alimentación (m)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>e = 1.5 \times 10^{-6}</math> m. (asumiendo según manual Pavco).</li> <li><math>D_i = 55.40</math> mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>\varepsilon = 0.000027</math></li> </ul>
caudal bombeado por el ariete en un ciclo (m <sup>3</sup> /ciclo)	$q' = \frac{q}{T}$	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>q'</math> = caudal que descarga en un ciclo de bombeo (l.p.s.)</li> <li><math>q</math> = caudal de descarga (l.p.s.)</li> <li><math>T</math> = tiempo de desarrollo del ciclo del golpe de ariete (seg/ciclo)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>q = 0.177</math> lps</li> <li><math>T = 0.626</math> seg./ciclo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>q' = 0.283</math> lt/ciclo</li> <li><math>q' = 0.000283</math> m<sup>3</sup>/ciclo</li> </ul>
tiempo de desarrollo del ciclo del golpe de ariete (seg/ciclo)	$T = 4 \frac{L}{a}$	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>L</math> = long. de la tubería de alimentación (m)</li> <li><math>T</math> = periodo (seg.)</li> <li><math>a</math> = velocidad de propagación de la onda de presión (m/s)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>L = 50.30</math> m</li> <li><math>a = 321.34</math> m/s</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>T = 0.626</math> seg.</li> </ul>

*Nota.* Elaboración propia.

- $\sum K$  = Sumatoria de coeficiente de resistencia por accesorios y válvula de impulso.

**Tabla 15***Coefficiente de resistencia por accesorios y válvula de impulso*

<b>ACCESORIOS</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>K</b>	<b>TOTAL</b>	<b>fuelle</b>
Salida de depósito	1	0.05	0.05	(Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2018)
Válvula de bola	1	3	3	(Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2018)
Niple	1	0.15	0.15	(Pavco, 2020)
Tee	1	0.3	0.3	(Pavco, 2020)
Codo 90°	1	1.15	1.15	(Pavco, 2020)
			4.65	

*Nota.* Elaboración propia.

(Zurita, J., 1976) Indica que el coeficiente de paso (K) de la válvula de impulsión se puede calcular mediante la siguiente expresión matemática:

$$K = \left(1.645 \frac{A_c}{A_p} - 1\right)^2 ; A_p = \pi * D_0 S$$

**Ecuación 49.** Coeficiente de paso de válvula de impulsión.

En dónde:

$A_c$  : Área del diámetro del ariete hidráulico (m<sup>2</sup>).

$A_p$  : Área de paso de la válvula de impulso (m<sup>2</sup>).

$D_0$  : Diámetro de la base de la válvula de impulso (m).

$S$  : Carrera de la válvula de impulso, (m).

$$A_c = 0.002 \text{ m}^2.$$

$$D_0 = 0.05 \text{ m}.$$

$$S = 0.018 \text{ m}.$$

$$A_p = 0.003 \text{ m}^2$$

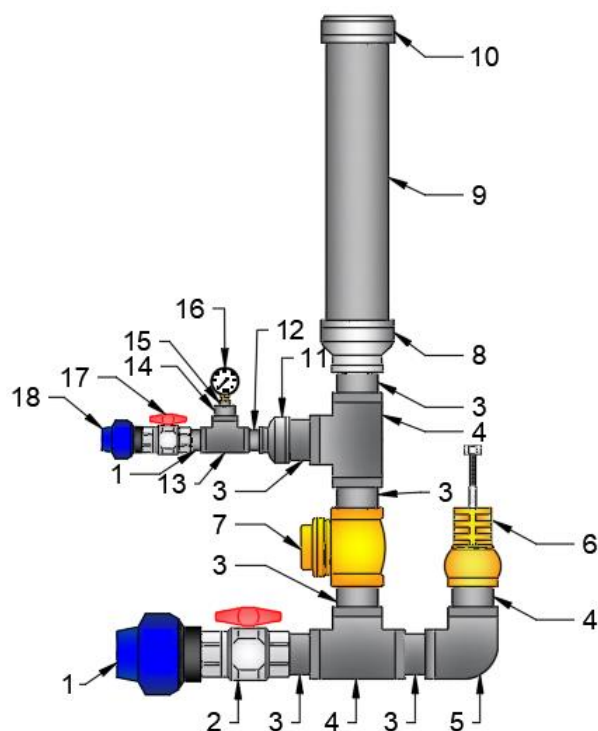
$$K = 0.009$$

$$\text{Entonces; } K_{\text{Total}} = 0.009 + 4.65 = 4.659$$

De acuerdo a la ecuación según (Campaña, C. & Guamán, D., 2011), se pudo calcular el volumen que debe tener el tanque de aire, lo cual tiene un valor de 1.23 litros, para el presente proyecto se plantea usar para el tanque de aire: un niple de F°G° de 3” de diámetro y 14” de longitud, finalmente la bomba de ariete hidráulico quedara compuesto y ensamblado del siguiente modo:

**Figura 75**

*Accesorios de la Bomba de Ariete hidraulico*



**CUADRO DE ACCESORIOS**

N°	DESCRIPCION	CANT.	DIAMETRO
1	ADAPTADOR HDPE R/MACHO	01	63mmx2"
2	VALVULA BOLA DE PVC	01	2"
3	NIPLE DE F°G° DE 2"X2"	07	2"
4	TEE DE F°G°	02	2"
5	CODO 90° DE F°G°	01	2"
6	VALVULA CHECK MODIFICADO C/CANASTILLA BRONCE	01	2"
7	VALVULA CHECK DE BRONCE	01	2"
8	REDUCCION CAMPANA DE F°G° DE 3"X2"	01	3"X2"
9	NIPLE DE F°G° DE 3"X14"	01	3"
10	TAPON HEMBRA DE F°G°	01	3"
11	REDUCCION CAMPANA DE F°G° DE 2"X1"	01	2"X1"
12	NIPLE DE F°G° DE 1"X3"	02	1"
13	TEE DE F°G°	01	1"
14	REDUC. BUSHING DE F°G° DE 1"X1/2"	01	1"X1/2"
15	REDUC. BUSHING DE F°G° DE 1/2"X1/4"	01	1/2"X1/4"
16	MANOMETRO DE GLICERINA 10 BAR	01	
17	VALVULA BOLA DE PVC	01	1"
18	ADAPTADOR HDPE R/MACHO	01	32mmx1"

*Nota.* Elaboración propia.

Cabe señalar, que el volumen total del tanque de aire considera a la vez los accesorios que conecta a la válvula check vertical (válvula de descarga), siendo el volumen total:

V1 : Volumen del niple de 3"x14"

V2 : Volumen que conforman los accesorios 3,4 y 8

$$V1 = \pi * \frac{0.076^2}{4} * 0.356 = 0.001615 \text{ m}^3 = 1.615 \text{ l}$$

$$V2 = \pi * \frac{0.025^2}{4} * 0.15 = 0.000074 \text{ m}^3 = 0.074 \text{ l}$$

Siendo el volumen total de 1.689 litros.

#### 4.1.5. Adquisición de materiales y traslado al lugar de estudio

##### 4.1.5.1. Para línea de alimentación y de descarga:

Para la línea de alimentación se adquirió una válvula de pie con filtro de 2" de diámetro, un adaptador HDPE macho con rosca de 63mm x 2" de diámetro, estos dos accesorios mencionados es para colocar a la salida de la línea de alimentación dentro de la fuente de alimentación, para evitar el ingreso de elementos que afectarían al adecuado funcionamiento de la bomba de ariete.

Así mismo, se adquirió tubería de polietileno de alta densidad tipo PE 80 SDR 17 (HDPE) de 63mm de diámetro y de 50.30 m de longitud.

**Tabla 16**

*Materiales para la línea de alimentación.*

Item	Descripción	Und	Metrado
1	TUBERIA HDPE DE 63 mm PE 80 SDR 17	m	50.30
2	VALVULA DE PIE CON FILTRO DE 2" DE DIAMETRO ADAPTADOR MACHO HDPE DE 63mmx2" DE DIAMETRO	UND	1.00
3		UND	1.00

*Nota.* Elaboración propia.



**Figura 76**

*Materiales para la línea de alimentación*



*Nota.* Elaboración propia.

Para la línea de descarga se adquirió tubo de polietileno de alta densidad (HDPE) tipo PE 80 SDR 17 de 32mm de diámetro y de 100 m de longitud.

**Tabla 17**

*Materiales para la línea de descarga*

Item	Descripción	Und	Metrado
1	Tubería HDPE de 32 mm PE 80 SDR 17	m	90

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 77**

*Tubería HDPE DE 32 mm PE 80 SDR 17*



*Nota.* Elaboración propia.

**4.1.5.2. Para el cuerpo de la bomba de ariete hidráulico**

La adquisición de todos los accesorios, los cuales conforman el cuerpo de la bomba de ariete, se recurrió en las ferreterías locales de la Provincia de Cerro de Pasco, todos los materiales adquiridos son las que se muestran en la siguiente Figura y tabla adjunto:

**Figura 78**

*Presentación de los accesorios que forman parte del cuerpo de la Bomba de Ariete de Ariete*



*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 18**

*lista de los accesorios que son parte del cuerpo de la Bomba de Ariete*

N°	ACCESORIOS	UNIDAD	CANTIDAD
<b>1.00</b>	<b>BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO</b>		
1.01	VALVULA CHECK CON CANASTILLS BRONCE 2"	UND	1
1.02	VALVULA CHECK SWING DE BRONCE 2"	UND	1
1.03	ADAPTADOR HDPE R/MACHO 63MMX2"	UND	2
1.04	VALVULA DE BOLA PVC 2"	UND	1
1.05	NIPLE DE F°G° 2"X2"	UND	7
1.06	TEE DE F°G° 2"	UND	2
1.07	CODO 90° DE F°G° DE 2"	UND	1
1.08	REDUCCION CAMPANA DE F°G° 3" A 2"	UND	1
1.09	NIPLE DE F°G° 1"X3"	UND	2
1.10	TEE DE F°G° 1"	UND	1
1.11	VALVULA DE BOLA DE PVC 1"	UND	1
1.12	ADAPTADOR HDPE R/MACHO 1"	UND	1
1.13	REDUCCION CAMPANA DE F°G° DE 2" A 1"	UND	1
1.14	NIPLE DE F°G° 3"X14"	UND	1
1.15	MANOMETRO DE GLISERINA 10 BR	UND	1
1.16	TAPON HEMBRA DE F°G° 3"	UND	1
1.17	REDUCCION BUSHING DE F°G° DE 1"X1/2"	UND	1
1.18	REDUCCION BUSHING DE F°G° DE 1/2"X1/4"	UND	1
1.18	TUERCAS DE 3/4"	UND	3
1.19	TUERCAS DE 1/2"	UND	3



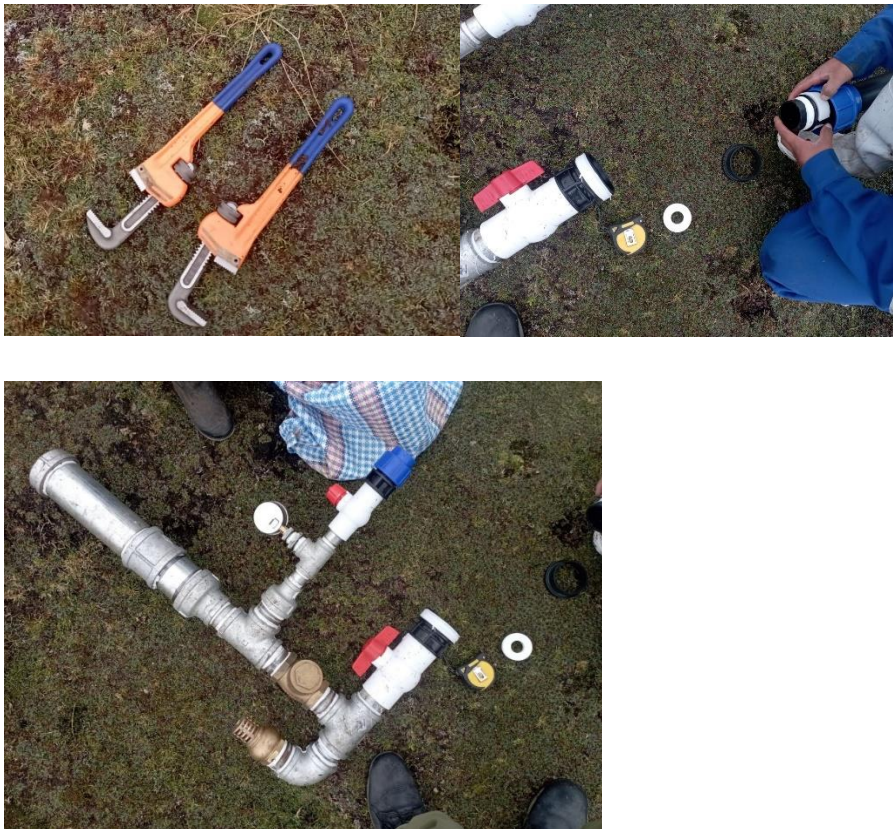
*Nota.* Elaboración propia

#### 4.1.6. Ensamblaje de la bomba de ariete hidráulico

El ensamblaje de la bomba de ariete fue sencillo, y se realizó in situ, lo cual consistió únicamente en unir todos los accesorios, con la ayuda de herramientas manuales, principalmente haciendo el uso de llaves stilson, además usando cinta teflón en las roscas y juntas de unión para obtener un sellado hermético entre los accesorios, y así prever pérdidas de presión por fugas.

#### Figura 79

*Ensamblaje de la bomba de ariete hidráulico*



*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.1.7. Instalación del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico

- a. La instalación se realizó cuando la fuente de alimentación se encontraba vacía, para así tener la facilidad de instalar la línea de alimentación y luego

proceder a conectar mediante el adaptador macho HDPE de 2”x63mm a la bomba de ariete.

### **Figura 80**

*Instalación del sistema de bombeo hidráulico*



*Nota.* Elaboración propia.

- b.** Se usó dos listones de madera de 2”x3” de sección como apoyos de la bomba de ariete, en donde se sujetó con alambre recocido N° 16, luego se procedió al tendido de la línea de descarga, lo cual fue tubería de alta densidad (HDPE) tipo PE 80 SDR 17 de 32mm de diámetro nominal con una longitud de 90 m.

## Figura 81

*Tendido de la línea de descarga*



*Nota.* Elaboración propia.

- c. Con fines de análisis del desempeño en el trabajo de la bomba de ariete, en la parte alta donde se ubicará el tanque de almacenamiento, se colocó una estaca para sujetar la tubería de descarga a 1.00 m desde el nivel de terreno natural, para poder realizar la prueba de campo, y analizar la efectividad de la bomba de ariete hidráulico.

## Figura 82

*Aseguramiento de la línea de descarga a 1.00 metros desde el nivel de terreno natural.*





*Nota.* Elaboración propia.

#### **4.1.8. Puesta en marcha de la bomba de ariete**

El sistema de bombeo mediante ariete hidráulico se diseñó para bombear la cantidad de agua necesaria de acuerdo a la demanda del cultivo Rye Grass que requiere en tiempo de estiaje, siendo el área del Rye Grass cultivado de 0.217 hectáreas. Teniendo ya instalado todos los elementos que forman parte del sistema de bombeo, se siguió los siguientes pasos para poner marcha la bomba de ariete:

- 1.** Se dejó llenar la cantidad de agua suficiente en la fuente de alimentación para poder suministrar con un caudal de alimentación constante a la bomba de ariete, mediante la tubería de alimentación, a fin de que la bomba de ariete tenga un funcionamiento sin interrupciones.

### **Figura 83**

*Fuente de alimentación artesanal*



*Nota.* Elaboración propia.

2. Se debe cerrar las válvulas esféricas que se encuentran en el cuerpo de la bomba de ariete, los cuales se ubican en la línea de alimentación y línea de descarga.

### **Figura 84**

*Cerrado de las válvulas esféricas*



*Nota.* Elaboración propia.



3. Se abre únicamente la válvula esférica que permite el ingreso del caudal de alimentación, y en este instante la bomba de ariete hidráulico se pondrá a trabajar, pero todavía no empezará a impulsar el agua hacia el tanque de almacenamiento, ya que la válvula esférica, lo cual permite la salida del caudal de descarga permanecerá cerrada mientras se acumula presión en el tanque de aire hasta que las manecillas del manómetro se estabilicen.

**Figura 85**

*Vista de puesta en marcha del ariete hidráulico.*



*Nota.* Elaboración propia.

4. Se verifica la estabilidad de las manecillas de medición del manómetro, lo cual en el presente proyecto fue de 2.2 bares y en ese instante se abrió de manera progresiva la válvula esférica de 1" de diámetro que permite el paso del caudal de descarga.

### **Figura 86**

*Verificación de la presión de trabajo*



*Nota. Elaboración propia.*

### **Figura 87**

*Apertura de la válvula esférica que permite el paso del caudal de descarga*



*Nota. Elaboración propia.*

5. Mientras que la bomba de ariete se encuentra trabajando, se procedió a realizar las evaluaciones correspondientes, calibrando la válvula de impulsión en su máxima eficacia de trabajo.

**Figura 88**

*Vista de llegada de caudal de descarga*



*Nota.* Elaboración propia

**4.1.9. Prueba in situ**

Mientras la bomba de ariete hidráulico estaba en funcionamiento, con la ayuda de un recipiente de 22.40 litros y un cronometro se procedió a medir el caudal de descarga que llega hasta la ubicación donde se proyecta el tanque de almacenamiento, en donde las características del sistema de bombeo y del ariete hidráulico fueron los siguientes:

- Longitud de tubería de alimentación : 50.30 m
- Diámetro de tubería de alimentación : 63 mm
- Altura de alimentación : 5.70 m
- Longitud de tubería de descarga : 90.00 m

- Altura de descarga : 17.10 m
- Diámetro de tubería de descarga : 32 mm
- Carrera (S) de la válvula de impulsión : 18 mm

con la finalidad de buscar la máxima eficiencia de la válvula de impulso, se realizó modificaciones en el peso del obturador, generando así variaciones en número de golpes por un tiempo determinado, lo cual los resultados se evaluaron en los siguientes escenarios.

#### 4.1.9.1. Primer escenario.

En este primer escenario, el ariete hidráulico se puso en funcionamiento únicamente con el peso de fábrica que tiene el obturador de la válvula de impulso, lo cual es de 0.130 kg. Generando así 40 golpes de ariete en un minuto.

#### Figura 89

*A la izquierda se observa el obturador de la valvula de impulsion y a la derecha la bomba de ariete en funcionamiento (primer escenario).*



*Nota.* Elaboración propia

a. **Aforo del caudal de descarga**



Teniendo un valde de volumen conocido de 22.40 litros y un cronometro, se procedió a aforar el caudal de descarga, lo cual la bomba de ariete eleva a 17.10 metros de altura de descarga, previamente conociendo la calibración de la válvula de impulsión con un peso de 0.130 kg de peso del obturador.

### Figura 90

*Medicion del caudal de descarga a un ritmo de 40 golpes de ariete en un minuto*



*Nota.* Elaboración propia.

### Tabla 19

*Aforo de caudal de descarga a 40 golpes de ariete por minuto*

Peso del obturado de la válvula de impulsión	:	0.130 kg	
Velocidad de golpes de la válvula de impulsión	:	40 golpes/min	
altura de alimentación	:	5.70 m	
Long. Tub. de alimentación	:	50.30 m	
Diámetro de tub. De alimentación	:	63 mm	
Altura de descarga	:	17.10 m	
Diámetro de tub. De descarga	:	32 mm	
Long. Tub. de descarga	:	90.00 m	
<b>N°</b>	<b>Volumen</b>	<b>Tiempo</b>	<b>CAUDAL</b>
	V (l)	(S)	(l/s)
1	22.40	308.000	0.073

2	22.40	307.850	0.073
3	22.40	307.900	0.073
4	22.40	307.900	0.073
5	22.40	307.880	0.073
PROMEDIO=			0.073

*Nota.* Elaboración propia

#### **b. Cálculo del Caudal de alimentación**

Para hallar el caudal de alimentación previamente de realizo el aforo del caudal desechado, usando un plástico de mayor dimensión para cubrir la válvula de impulsión, de tal manera no se pierda el agua que es expulsado hacia el exterior, y luego se recogió en un recipiente para ser medido el volumen. El caudal de alimentación será la suma del caudal de entrega más el caudal desechado.

#### **Tabla 20**

*Aforo del caudal de desechado (primer escenario)*

N°	Volumen V (l)	Tiempo (S)	Caudal
			Desechado (Qp) (l/s)
1	3.20	10.000	0.320
2	3.00	10.000	0.300
3	3.00	10.000	0.300
PROMEDIO=			0.307

*Nota.* Elaboración propia.

$$Q=Qp+q$$

#### **Ecuación 50.** Caudal desechado

Donde:

- Q : caudal de alimentación (l/s)
- Qp : caudal desechado (l/s)
- q : caudal de descarga (l/s)

$$Q=0.307+0.073=0.380 \text{ l/s}$$

#### 4.1.9.2. Segundo escenario.

En este segundo escenario, el ariete hidráulico se puso hacer funcionar adicionando un perno que tienen un peso de 130 gr, 3 unidades de tuercas de 1/2" de diámetro con peso de 14.5 gr cada uno y 2 unidades de tuercas de 3/4" de diámetro con peso de 30 gr cada uno, haciendo un total de 233.5 gr que se adiciono al peso propio del obturador de la válvula de impulsión, siendo un total de 363.5 gr de peso. Esta configuración genero 30 golpes de ariete por minuto.

#### Figura 91

*A la izquierda se observa el peso adicionado al obturador de la válvula de impulsión y a la derecha la bomba de ariete en funcionamiento (segundo escenario).*



*Nota.* Elaboración propia.

#### a. Medición del caudal de descarga

Teniendo un valde de volumen conocido de 22.40 litros y un cronometro, se procedió a aforar el caudal de descarga, lo cual la bomba de ariete eleva a 17.10 metros de altura de descarga, previamente conociendo la calibración de la válvula de impulsión con un peso de 363.5 gr de peso del obturador.

**Figura 92**

*Medición del caudal de descarga a un ritmo de 30 golpes de ariete en un minuto*



*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 21**

*Aforo de caudal de descarga a 30 golpes de ariete por minuto*

Peso del obturado de la válvula de impulsión	:	0.3635 kg	
Velocidad de golpes de la válvula de impulsión	:	30 golpes/min	
altura de alimentación	:	5.70 m	
Long. Tub. de alimentación	:	50.30 m	
Diámetro de tub. De alimentación	:	63 mm	
Altura de descarga	:	17.10 m	
Diámetro de tub. De descarga	:	32 mm	
Long. Tub de descarga	:	90.00 m	
<b>N°</b>	<b>Volumen</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Caudal</b>



	V (l)	(S)	(l/s)
1	22.40	160.000	0.140
2	22.40	161.530	0.139
3	22.40	159.980	0.140
4	22.40	160.010	0.140
5	22.40	159.950	0.140
		PROMEDIO=	0.140

*Nota.* Elaboración propia.

#### b. Cálculo del Caudal de alimentación

Para hallar el caudal de alimentación previamente de realizo el aforo del caudal desechado, usando un plástico de mayor dimensión para cubrir la válvula de impulsión, de tal manera no se pierda el agua que es expulsado hacia el exterior, y luego se recogió en un recipiente para ser medido el volumen. El caudal de alimentación será la suma del caudal de entrega más el caudal desechado.

**Tabla 22**

*Aforo del caudal de desechado (segundo escenario)*

N°	Volumen	Tiempo	Caudal Desechado (Qp)
	V (l)	(S)	(l/s)
1	6.70	10.000	0.670
2	6.80	10.000	0.680
3	6.70	10.000	0.670
		PROMEDIO=	0.673

*Nota.* Elaboración propia.

$$Q=Qp+q$$

#### **Ecuación 51.** Caudal desechado

Donde:

- Q : caudal de alimentación (l/s)
- Qp : caudal desechado (l/s)
- q : caudal de descarga (l/s)

$$Q=0.673+0.140=0.813 \text{ l/s}$$

#### 4.1.9.3. Tercer escenario

En este tercer escenario, el ariete hidráulico se puso en funcionamiento adicionando una de tuerca de 3/4" de diámetro y 30 gr, al peso del segundo escenario, haciendo un total de 393.5 gr. Esta configuración generó 27 golpes de ariete por minuto.

#### Figura 93

*A la izquierda se observa el peso adicionado al obturador de la válvula de impulsión y a la derecha la bomba de ariete en funcionamiento (tercer escenario).*



*Nota.* Elaboración propia.

#### a. Medición del caudal de descarga

Teniendo un valde de volumen conocido de 22.40 litros y un cronometro, se procedió a aforar el caudal de descarga, lo cual la bomba de ariete eleva a 17.10 metros de altura de descarga, previamente conociendo

la calibración de la válvula de impulsión con un peso de 393.5 gr de peso del obturador.

**Figura 94**

*Medición del caudal de descarga a un ritmo de 27 golpes de ariete en un minuto*



*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 23**

*Aforo de caudal de descarga a un ritmo de 27 golpes de ariete por minuto*

---

Peso del obturado de la válvula de impulsión	: 0.3935 kg
Velocidad de golpes de la válvula de impulsión	: 27 golpes/min
altura de alimentación	: 5.70 m
Longitud de la tubería de alimentación	: 50.30 m
Diámetro de tubo de descarga	: 63 mm
Altura de descarga	: 17.10 m
Diámetro de tubo de descarga	: 32 mm
Longitud del Tubo de descarga	: 90.00 m

---

N°	Volumen	Tiempo	CAUDAL
	V (l)	(S)	(l/s)
1	22.40	123.000	0.182
2	22.40	123.400	0.182
3	22.40	123.700	0.181
4	22.40	123.300	0.182
5	22.40	123.200	0.182
PROMEDIO=			0.182

*Nota.* Elaboración propia.

### b. Cálculo del Caudal de alimentación

Para hallar el caudal de alimentación previamente de realizo el aforo del caudal desechado, usando un plástico de mayor dimensión para cubrir la válvula de impulsión, de tal manera no se pierda el agua que es expulsada hacia el exterior, y luego se recogió en un recipiente para ser medido el volumen. El caudal de alimentación será la suma del caudal de entrega más el caudal desechado.

#### **Tabla 24**

*Aforo del caudal de desechado (tercer escenario)*

N°	Volumen	Tiempo	Caudal Desechado (Qp)
	V (l)	(S)	(l/s)
1	9.10	10.000	0.910
2	9.30	10.000	0.930
3	9.40	10.000	0.940
PROMEDIO=			0.927

*Nota.* Elaboración propia.

$$Q=Q_p+q$$

### **Ecuación 52.** Caudal desechado

Donde:

- Q : Caudal de alimentación (l/s)
- Q<sub>p</sub> : Caudal desechado (l/s)

- $q$  : Caudal de descarga (l/s)

$$Q=0.927+0.182=1.109 \text{ l/s}$$

#### 4.1.9.4. Cuarto escenario

En este cuarto escenario, se añadió una tuerca de 3/4" de 30 gr, al peso total del tercer escenario, haciendo un total de 423.5 gr. Esta configuración generó deficiencias en el funcionamiento normal de la bomba de ariete, ya que el obturador de la válvula de impulsión se quedaba abierto debido a que el peso total del obturador era mayor que a la presión del caudal de alimentación, por lo cual no se pudo realizar las mediciones de caudal de descarga.

#### Figura 95

*A la izquierda se observa el peso adicional al obturador de la válvula de impulsión y a la derecha la bomba de ariete (cuarto escenario).*



*Nota.* Elaboración propia.

## 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

El sistema de bombeo mediante ariete hidráulico se diseñó para una demanda hídrica neta de 0.177 l/s para riego del cultivo de Rye Grass sembrados en un área de



0.217 hectáreas, así mismo se planteó usar insumos y accesorios que son comerciales en las ferreterías cercanas a la zona de estudio y que además son fáciles de instalar sin requerir mano de obra calificada.

Las características del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico para todos los escenarios de prueba fueron las siguientes:

- Long. de la tubería de alimentación : 50.30 m
- Diámetro de la tubería de alimentación : 63 mm
- Altura de alimentación : 5.70 m
- Long. de tubería de descarga : 90.00 m
- Altura de descarga : 17.10 m
- Diámetro de tubería de descarga : 32 mm
- Carrera (S) de la válvula de impulsión : 18 mm

Con la regulación de peso en el obturador de la válvula de impulsión se creó tres escenarios de funcionamiento del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, y en cada caso se calculó la eficiencia de la bomba de ariete.

#### **4.2.1. Eficiencia de la bomba de ariete hidráulico**

##### **4.2.1.1. Primer escenario.**

En el primer escenario, se procedió a medir el caudal desechado y el caudal elevado hacia el tanque de almacenamiento, cuando la bomba de ariete hidráulico estaba en pleno funcionamiento a un ritmo de 40 golpes/minuto, generado en la válvula de impulsión, en donde la eficiencia se pudo determinar mediante la siguiente expresión matemática:

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

**Ecuación 53.** Eficiencia para el primer escenario.

De las pruebas realizadas in situ se tienen:

$$q = 0.073 \text{ l/s}$$

$$H_d = 17.10 \text{ m}$$

$$Q = 0.380 \text{ l/s}$$

$$H_a = 5.70 \text{ m}$$

$$\eta = \frac{0.073 * 17.10}{0.380 * 5.70} * 100$$

$$\eta = 57.632\%$$

#### 4.2.1.2. Segundo escenario.

En el segundo escenario, se procedió a medir el caudal desechado y el caudal que eleva hacia el tanque de almacenamiento cuando la bomba de ariete hidráulico estaba en pleno funcionamiento, en donde la válvula de impulsión trabajaba a un ritmo de 30 golpes/minuto, y la eficiencia se determinó aplicando la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{q * H_d}{Q * H_a} * 100$$

**Ecuación 54.** Eficiencia para el segundo escenario.

De las pruebas realizadas in situ se tienen:

$$q = 0.140 \text{ l/s}$$

$$H_d = 17.10 \text{ m}$$

$$Q = 0.813 \text{ l/s}$$

$$H_a = 5.70 \text{ m}$$

$$\eta = \frac{0.140 * 17.10}{0.813 * 5.70} * 100$$

$$\eta = 51.661\%$$

#### 4.2.1.3. Tercer escenario.

En el tercer escenario, se procedió a medir el caudal desechado y el caudal que eleva hacia el tanque de almacenamiento cuando la bomba de ariete hidráulico estaba en pleno funcionamiento, en donde la válvula de impulsión trabajaba a un ritmo de 27 golpes/minuto, y la eficiencia se determinó aplicando la siguiente ecuación:

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

**Ecuación 55.** Eficiencia para el tercer escenario.

De las pruebas realizadas in situ se tienen:

$$q = 0.182 \text{ l/s}$$

$$Hd = 17.10 \text{ m}$$

$$Q = 1.109 \text{ l/s}$$

$$Ha = 5.70 \text{ m}$$

$$\eta = \frac{0.182 * 17.10}{1.109 * 5.70} * 100$$

$$\eta = 49.234\%$$

#### 4.2.2. Curvas principales de funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico

A continuación, se tiene la tabla adjunta, en donde se presenta el resumen de los datos obtenidos en la prueba de campo. Se enlista los caudales de alimentación, caudales de descarga y eficiencias en los tres escenarios evaluados.

##### **Tabla 25**

*Resumen de datos conseguidos de la prueba insitu.*



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)
3	27.000	1.109	0.182	5.700	17.100
2	30.000	0.813	0.140	5.700	17.100
1	40.000	0.380	0.073	5.700	17.100

*Nota.* Elaboración propia.

Una vez obtenido los datos que se muestran en la tabla 25 (datos de campo), se procedió a determinar la eficiencia como también la eficacia que muestra la bomba de ariete, la eficacia viene a ser el caudal de descarga que se logró elevar hacia el tanque de almacenamiento. Los datos obtenidos de presentan a continuación.

**Tabla 26**

*Presentación de la eficiencia y eficacia mostrada por la bomba de ariete.*

N° de escenario	Golpes/minuto	Eficiencia (%)	Eficacia (l/s)
1	40.000	57.632	0.073
2	30.000	51.661	0.140
3	27.000	49.234	0.182

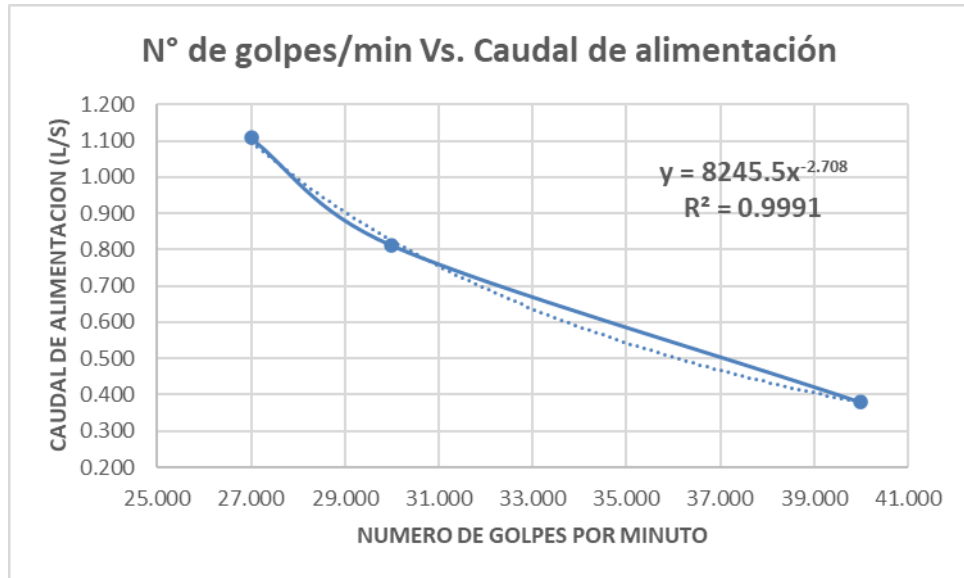
*Nota.* Elaboración propia.

Contando con estos datos obtenidos en campo, se procedió a realizar los gráficos de dispersión más importantes en el funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico, para luego ser evaluados o analizadas.

#### 4.2.2.1. Curva N° 01: Número de golpes/min. vs. caudal de alimentación

Figura 96

Curva N° 01: N° de golpes/min Vs. Caudal de alimentación.



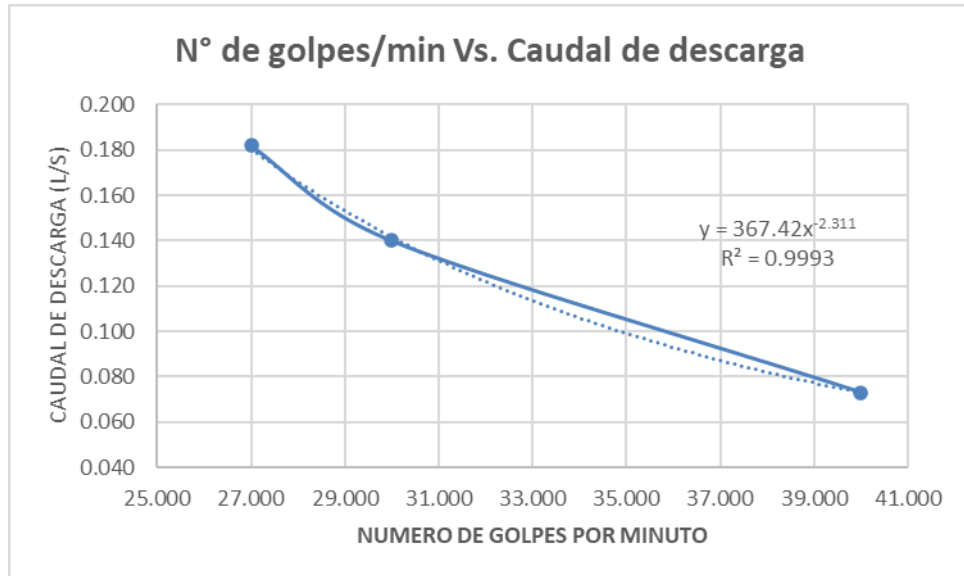
Nota. Elaboración propia.

La curva mostrada en la Figura 96, nos indica que, a mayor número de golpes de ariete en un minuto, la bomba requiere menor cantidad de agua para el caudal de alimentación.

#### 4.2.2.2. Curva N° 02: Número de golpes/min. vs. caudal de descarga

Figura 97

Curva N°02: N° de golpes/min Vs. Caudal de descarga.



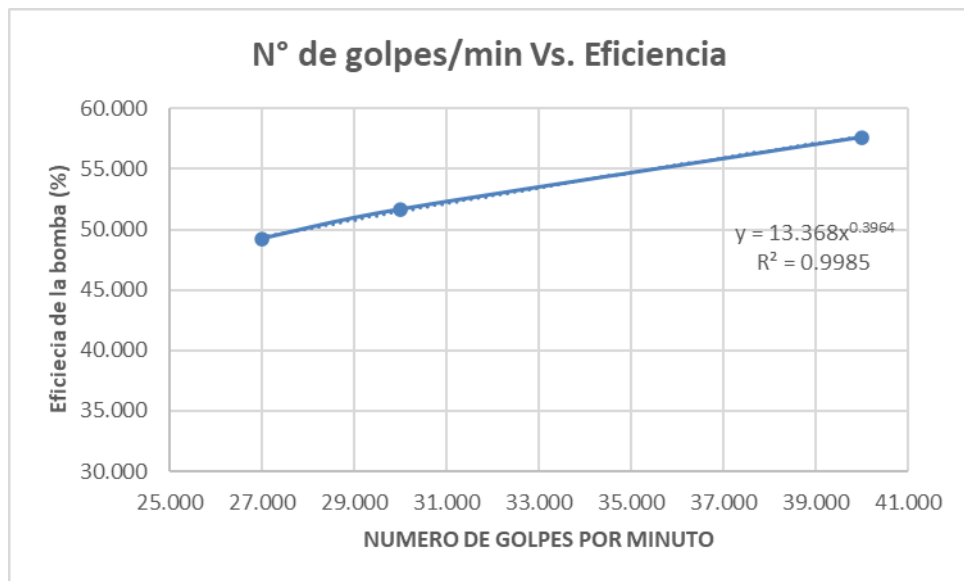
Nota. Elaboración propia.

La curva mostrada en la Figura 97, nos puede mostrar que, a mayor número de golpes de ariete en un minuto, la bomba elevara menor caudal de descarga, y por otro lado, cuando se tiene menor cantidad de golpes de ariete por minuto puede elevar mayor cantidad de caudal de descarga.

#### 4.2.2.3. Curva N° 03: Número de golpes /min. vs. eficiencia de la bomba

### Figura 98

Curva N°03: N° de golpes/min Vs. Eficiencia de la Bomba de ariete.



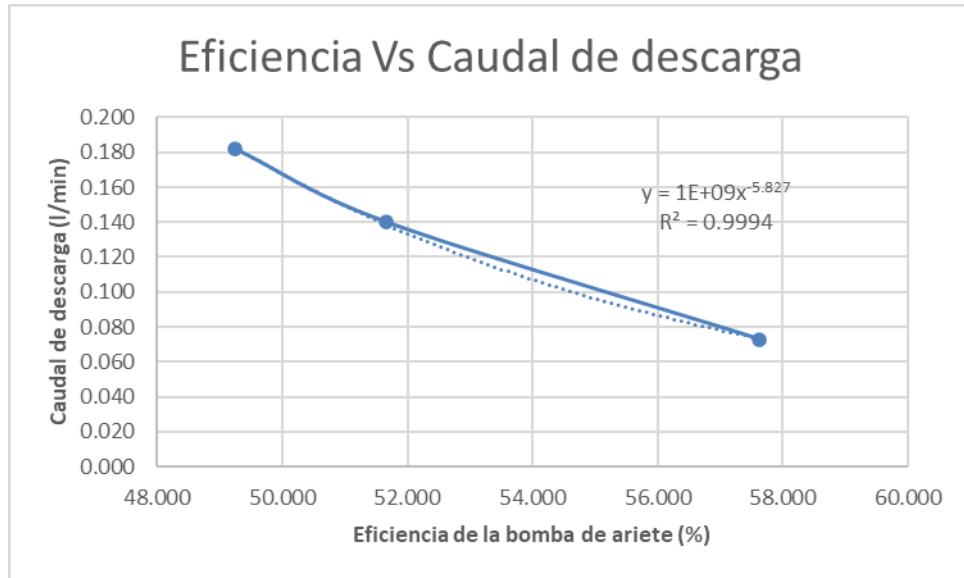
Nota. Elaboración propia.

La curva mostrada en la Figura 98, nos indica que la bomba de ariete muestra mayor eficiencia cuando trabaja a mayor cantidad de numero de golpes por minuto.

#### 4.2.2.4. Curva N° 04: eficiencia vs. caudal de descarga

### Figura 99

Curva N°04: Eficiencia de la Bomba de ariete Vs. Caudal de descarga.



*Nota.* Elaboración propia

La curva nos muestra que la bomba de ariete, presenta menor eficaz (eleva menos caudal de descarga) a mayor eficiencia, y adquiere mayor eficiencia a mayor número de golpes/minuto, entonces se deduce que a menor cantidad de numero de golpes/minuto elevara mayor cantidad de caudal de descarga, pero a vez presentara menor eficiencia.

#### 4.2.3. Configuración final de la bomba de ariete hidráulico

El sistema de bombeo mediante ariete hidráulico fue diseñado e instalado dentro de la parcela de terreno del señor Gaspar Torres Pardave, para cubrir la demanda de agua para riego del Rye Grass sembrado en un área de 0.217 hectáreas, cuyo caudal de demanda es de 0.177 l/s en el periodo de mayor estiaje (agosto).

La configuración efectiva de la velocidad del golpe de ariete generada por la válvula de impulsión es de 27 golpes/minuto, lo cual se llegó calibrando la válvula de impulsión con un peso del obturador de 393.5 gr, impulsando así un caudal de descarga de 0.182 l/s, cubriendo de esta manera la demanda de agua que se requiere en el mes de mayor estiaje.

#### **4.2.4. Costo de diseño e instalación del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico.**

##### **4.2.4.1. Costo de estudio topográfico.**

En vista de que, es muy necesario e importante conocer la topografía del lugar de estudio en donde se instalara la bomba de ariete, ya que, en base a las características del terreno (nivel de ubicación de fuente alimentación, nivel de ubicación de tanque de almacenamiento, ubicación adecuada de la bomba de ariete, etc.) se diseña el sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, por tal razón se alquiló equipos topográficos para dicho fin, los cuales fueron los siguientes:

- Estación total
- Prismas
- GPS diferencial

Estos equipos fueron alquilados a un precio de S/. 200.00 soles por un día.

##### **4.2.4.2. Costo de accesorios e insumos**

Los costos de accesorios e insumos utilizados para la instalación del sistema de bombeo diseñado, han sido adquiridos en las ferreterías cercanas al lugar de estudio, específicamente en las ferreterías de la provincia de Cerro de Pasco.

El costo total gastado en la adquisición de accesorios e insumos para la instalación del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico es de S/ 989.40 soles.

**Tabla 27***Costos de materiales e insumos*

N°	INSUMO	UNIDAD	CANT.	P.U.	PARCIAL
<b>1.00</b>	<b>BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO</b>				
1.01	VALVULA CHECK CON CANASTILLS BRONCE 2"	UND	1	S/ 95.00	S/ 95.00
1.02	VALVULA CHECK SWING DE BRONCE 2"	UND	1	S/ 113.00	S/ 113.00
1.03	ADAPTADOR HDPE R/MACHO 63MMX2"	UND	2	S/ 16.00	S/ 32.00
1.04	VALVULA DE BOLA PVC 2"	UND	1	S/ 69.00	S/ 69.00
1.05	NIPLE DE F°G° 2"X2"	UND	7	S/ 4.20	S/ 29.40
1.06	TEE DE F°G° 2"	UND	2	S/ 11.50	S/ 23.00
1.07	CODO 90° DE F°G° DE 2"	UND	1	S/ 8.90	S/ 8.90
1.08	REDUCCION CAMPANA DE F°G° 3" A 2"	UND	1	S/ 35.00	S/ 35.00
1.09	NIPLE DE F°G° 1"X3"	UND	2	S/ 3.50	S/ 7.00
1.10	TEE DE F°G° 1"	UND	1	S/ 8.50	S/ 8.50
1.11	VALVULA DE BOLA DE PVC 1"	UND	1	S/ 10.50	S/ 10.50
1.12	ADAPTADOR HDPE R/MACHO 1"	UND	1	S/ 8.50	S/ 8.50
1.13	REDUCCION CAMPANA DE F°G° DE 2" A 1"	UND	1	S/ 17.50	S/ 17.50
1.14	NIPLE DE F°G° 3"X14"	UND	1	S/ 50.00	S/ 50.00
1.15	MANOMETRO DE GLISERINA 10 BR	UND	1	S/ 32.00	S/ 32.00
1.16	TAPON HEMBRA DE F°G° 3"	UND	1	S/ 34.00	S/ 34.00
1.17	REDUCCION BUSHING DE F°G° DE 1"X1/2"	UND	1	S/ 2.50	S/ 2.50
1.18	REDUCCION BUSHING DE F°G° DE 1/2"X1/4"	UND	1	S/ 2.00	S/ 2.00
1.19	CINTA TEFLON 1/2"	UND	5	S/ 3.50	S/ 17.50
1.20	TUERCAS DE 3/4"	UND	3	S/ 0.40	S/ 1.20
1.21	TUERCAS DE 1/2"	UND	3	S/ 0.30	S/ 0.90
1.22	PERNO DE 1/2"X6"	UND	1	S/ 4.00	S/ 4.00
<b>2.00</b>	<b>LINEA DE ALIMENTACION</b>				
2.01	MANGUERA HDPE 63 MM	M	50	S/ 4.50	S/ 225.00
2.02	ADAPTADOR HDPE R/MACHO 63MMX2"	UND	1	S/ 16.00	S/ 16.00
2.03	FILTRO DE ALUMINIO 2"	UND	1	S/ 84.00	S/ 84.00
<b>3.00</b>	<b>LINEA DE DESCARGA</b>				
3.01	MANGUERA HDPE 32 MM	M	90	S/ 0.70	S/ 63.00
				<b>TOTAL</b>	<b>S/ 989.40</b>

*Nota.* Elaboración propia.

**4.2.4.3. Costo de mano de obra**

En el costo de mano de obra se consideró los trabajos realizados por mi persona en el ensamblaje de la bomba de ariete hidráulico, en la limpieza y perfilado de la fuente de alimentación, estos trabajos fueron realizados en un solo jornal de 8 horas, además se consideró el uso de herramientas manuales siendo el 3.00 % del costo de mano de obra, estos

herramientas manuales son los que comúnmente se tiene en casa, y más aún cualquier poblador del campo como del caserío de Callhuan tienen estos herramientas como lampa, pico, alicate, llave stilson, etc.

#### **Tabla 28**

*Costos de mano de obra en la instalación del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico.*

<b>MONTAJE E INTALACION DEL SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE ARIETE HIDRAULICO</b>					
<b>4.00</b>					
4.02	BACHILLER EN ING. CIVIL	HH	8	S/ 7.50	S/ 60.00
4.01	HERRAMIENTAS MANUALES (3%MO)	%	3	S/ 60.00	S/ 1.80
				<b>TOTAL</b>	<b>S/ 61.80</b>

*Nota.* Elaboración propia.

#### **4.2.4.4. Costo de flete terrestre**

Para el traslado al lugar de estudio de las mangueras HDPE fue necesario contratar una movilidad, lo cual el flete de dicho traslado costo la suma de S/. 60.00 soles

#### **4.2.4.5. Costo total**

El gasto total de generado para poder realizar la instalación del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, fue como se detalla en la siguiente tabla:

#### **Tabla 29**

*Costos totales de inversión en la instalación del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico*

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>COSTO</b>
1	COSTO DE ESTUDIO TOPOGRAFICO	S/ 200.00
2	COSTO DE MATERIALES E INSUMOS	S/ 989.40
3	COSTO DE MANO DE OBRA	S/ 61.80
4	COSTO DE FLETE TERRESTRE	S/ 60.00
<b>TOTA</b>		<b>S/ 1,311.20</b>

*Nota.* Elaboración propia.



#### 4.2.5. Costo de mantenimiento anual

Se define que el mantenimiento de la bomba de ariete hidráulico se realizara 2 veces al año (cada 6 meses), y para estimar el costo de mantenimiento de la bomba de ariete hidráulico se va considerar los siguientes aspectos:

**Tabla 30**

*Costos de mantenimiento de la bomba de ariete hidráulico.*

ITEM	DESCRIPCION	N° VECES	COSTO	PARCIAL
1	MANTENIMIENTO EN UNIONES DE ACCESORIOS	2	S/ 5.00	S/ 10.00
2	LIMPIEZA DE ACCESORIOS	2	S/ 3.00	S/ 6.00
3	OTROS GASTOS	2	S/ 10.00	S/ 20.00
			<b>TOTAL</b>	<b>S/ 36.00</b>

*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.2.6. Beneficios (Ingresos)

El beneficio o ingresos que se evaluara al sistema de bombeo mediante ariete hidráulico consistirá en el ahorro por lo que no se pagara el combustible ni el mantenimiento al utilizar una AUTOCEBANTE MOTOBOMBA HONDA 0.9 Hp 25Cc, lo cual es la motobomba más pequeña de la familia Honda que sería adecuado para abastecer el caudal necesario que requiere el cultivo Rye Grass según las condiciones topográficas del lugar de estudio, las características de la motobomba según la ficha técnica adjuntado en anexos son las siguientes:

## Figura 100

*Autocebante motobomba honda 0.9 hp 25 Cc*



*Nota.* Fuente: [www.hondafuerza.com.uy](http://www.hondafuerza.com.uy)

- Motor : GX25, OHV 4 tiempos, refrigerado por aire, de 25 cc y 0.9 HP de potencia.
- Puesta en marcha : manual retráctil
- Tipo : centrífuga autocebante.
- Tiempo de cebado : 80 seg a 5 mts.
- Caudal de descarga : 120 lts/min.
- Diámetro de succión y descarga : 1".
- Altura máxima de bombeo : 31mts.
- Altura máxima de succión : 7.5 mts.
- Presión máxima : 3.58 bar.
- Autonomía de la motobomba : 0.9 hrs a máxima descarga.
- Peso de la motobomba : 6 kg.
- Deposito Combustible : 0.63 litros

- Costo de la bomba : S/. 1,280.00 nuevos soles (según cotización adjuntado en anexos)

El costo del beneficio se hallará de acuerdo al costo de combustible y de mantenimiento correspondiente que la motobomba requiere durante su funcionamiento y vida útil para elevar el caudal de descarga según la demanda del cultivo.

Según la demanda del Rye Grass, se requiere abastecer un tanque de 8.00 m<sup>3</sup> o 8,000 litros de agua al día, y según la ficha técnica de la motobomba, el caudal de descarga es de 120 lts/min, por lo que en 67 minutos se terminaría de llenar el tanque de almacenamiento. Asimismo, según la ficha técnica de la motobomba en mención tiene un depósito de combustible de 0.63 litros o 0.17 galones, y con el depósito lleno estará en funcionamiento 0.9 horas o 54 minutos, entonces, para abastecer al tanque de almacenamiento se requiere que esta motobomba trabaje 67 minutos con un gasto de 0.21 galones de combustible por día. La motobomba estaría en funcionamiento únicamente en los meses en donde se tiene demanda de agua por el Rye Grass, desde abril hasta octubre, haciendo un total de 214 días, por lo tanto, lo que se gastaría en combustible es 0.21 galones por 214 días, teniendo un costo actual de S/. 21.95 soles del combustible por galón (según orden de compra adjuntado en ANEXOS), por lo que en un año se gastaría un total de S/.986.43 soles.

#### **4.2.7. Vida útil de la bomba de ariete hidráulico**

Mamani, R. (2015). Menciona que la vida útil de máquinas y equipos mecánicas es de 20 años, este dato nos servirá para poder realizar la caja de flujo del proyecto por el mismo periodo de la vida útil de la bomba de ariete hidráulico.

Siendo la vida útil de la bomba de ariete hidráulico un periodo de 20 años, se considerará un valor residual de salvamento un monto de S/. 0.00 soles.

#### **4.2.8. Depreciación del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico**

Se considerará que la bomba de ariete hidráulico ira perdiendo su valor cada año de manera uniforme, de su valor inicial del año en que fue instalada hasta un valor cero en el último año de su vida útil.

La depreciación se hallará de la siguiente manera, aplicando la fórmula de depreciación lineal:

$$\text{Depreciacion anual} = \frac{\text{VALOR INICIAL} - \text{VALOR RESIDUAL}}{\text{AÑOS DE VIDA UTIL}}$$

**Ecuación 56.** Depreciación anual

$$\text{Depresiacion anual} = \frac{1311.20 - 0.00}{20}$$

$$\text{Depresiacion anual} = \text{S}/.65.56$$

## 4.2.9. Evaluación financiera del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico

### 4.2.9.1. Flujo de caja del proyecto de inversión

Para poder hallar el flujo de caja interno, se asumirá que el costo de mantenimiento de la motobomba es de S/. 100.00 soles (requiriendo lubricantes, las piezas de repuesto, reparaciones, etc.) incrementándose en un 2% cada año, se considera también el alza del precio de la gasolina durante dicho tiempo en 2%, así mismo, Mamani, R. (2015). Considera que estas bombas deben cambiarse cada 5 años, lo cual se asume que el incremento del precio de dicha motobomba será en un 5%.

**Tabla 31**

*Flujo De Caja Interna de la Autocebante Motobomba Honda 0.9 HP 25Cc.*

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19	AÑO 20
<b>BENEFICIOS</b>																					
Costo de motobomba	S/ 1,280.00					S/ 1,344.00					S/ 1,411.20					S/ 1,481.76					S/ 1,555.85
Costo de Mantenimiento		S/ 100.00	S/ 102.00	S/ 104.04	S/ 106.12	S/ 108.24	S/ 110.41	S/ 112.62	S/ 114.87	S/ 117.17	S/ 119.51	S/ 121.90	S/ 124.34	S/ 126.82	S/ 129.36	S/ 131.95	S/ 134.59	S/ 137.28	S/ 140.02	S/ 142.82	S/ 145.68
Costo de Combustible		S/ 986.43	S/ 1,006.16	S/ 1,026.28	S/ 1,046.81	S/ 1,067.74	S/ 1,089.10	S/ 1,110.88	S/ 1,133.10	S/ 1,155.76	S/ 1,178.88	S/ 1,202.45	S/ 1,226.50	S/ 1,251.03	S/ 1,276.05	S/ 1,301.57	S/ 1,327.60	S/ 1,354.16	S/ 1,381.24	S/ 1,408.86	S/ 1,437.04
<b>beneficio total</b>	<b>S/ 1,280.00</b>	<b>S/ 1,086.43</b>	<b>S/ 1,108.16</b>	<b>S/ 1,130.32</b>	<b>S/ 1,152.93</b>	<b>S/ 2,519.99</b>	<b>S/ 1,199.51</b>	<b>S/ 1,223.50</b>	<b>S/ 1,247.97</b>	<b>S/ 1,272.93</b>	<b>S/ 2,709.58</b>	<b>S/ 1,324.35</b>	<b>S/ 1,350.84</b>	<b>S/ 1,377.86</b>	<b>S/ 1,405.41</b>	<b>S/ 2,915.28</b>	<b>S/ 1,462.19</b>	<b>S/ 1,491.44</b>	<b>S/ 1,521.26</b>	<b>S/ 1,551.69</b>	<b>S/ 3,138.57</b>

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 32**

*Flujo De Caja Interna de la Bomba de Ariete.*

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19	AÑO 20
<b>COSTOS</b>																					
Inversion del proyecto	S/ 1,311.20																				
Costo de mantenimiento		S/ 36.00	S/ 36.72	S/ 37.45	S/ 38.20	S/ 38.97	S/ 39.75	S/ 40.54	S/ 41.35	S/ 42.18	S/ 43.02	S/ 43.88	S/ 44.76	S/ 45.66	S/ 46.57	S/ 47.50	S/ 48.45	S/ 49.42	S/ 50.41	S/ 51.42	S/ 52.45
Depreciacion del proyecto		S/ 65.56	S/ 65.56	S/ 65.56	S/ 65.56	S/ 65.56	S/ 65.56	S/ 65.56	S/ 65.56	S/ 65.56	S/ 65.56	S/ 65.56	S/ 65.56	S/ 65.56	S/ 65.56	S/ 65.56	S/ 65.56	S/ 65.56	S/ 65.56	S/ 65.56	S/ 65.56
<b>costo total</b>	<b>S/ 1,311.20</b>	<b>S/ 101.56</b>	<b>S/ 102.28</b>	<b>S/ 103.01</b>	<b>S/ 103.76</b>	<b>S/ 104.53</b>	<b>S/ 105.31</b>	<b>S/ 106.10</b>	<b>S/ 106.91</b>	<b>S/ 107.74</b>	<b>S/ 108.58</b>	<b>S/ 109.44</b>	<b>S/ 110.32</b>	<b>S/ 111.22</b>	<b>S/ 112.13</b>	<b>S/ 113.06</b>	<b>S/ 114.01</b>	<b>S/ 114.98</b>	<b>S/ 115.97</b>	<b>S/ 116.98</b>	<b>S/ 118.01</b>

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se procederá a calcular el flujo neto, que será la diferencia entre beneficio total y el costo total

**Tabla 33**

*Flujo De Caja Interna de la Bomba de Ariete.*

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19	AÑO 20
flujo neto	-S/31.20	S/984.87	S/1,005.88	S/1,027.31	S/1,049.16	S/2,415.46	S/1,094.20	S/1,117.39	S/1,141.05	S/1,165.19	S/2,601.00	S/1,214.91	S/1,240.52	S/1,266.64	S/1,293.28	S/2,802.22	S/1,348.18	S/1,376.46	S/1,405.30	S/1,434.71	S/3,020.57

Nota. Elaboración propia.

#### 4.2.9.2. Valor presente neto (VPN)

Para el presente análisis se considerarán diez distintos escenarios utilizando las siguientes tasas de interés de descuento: 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, y 90%. Y con ayuda del software Microsoft Excel se calculará el valor de VPN para cada caso.

**Tabla 34**

*Valor Presente Neto*

TASA	VPN
0.00%	S/ 29,973.09
10.00%	S/ 11,605.42
20.00%	S/ 6,163.88
30.00%	S/ 3,975.10
40.00%	S/ 2,874.54
50.00%	S/ 2,230.45
60.00%	S/ 1,812.83
70.00%	S/ 1,522.05
80.00%	S/ 1,308.85
90.00%	S/ 1,146.30

*Nota.* Elaboración propia.

Se puede observar en la tabla 34, que para todos los escenarios considerados según la tasa de interés de descuento siendo el mínimo 0.00% y el máximo 90.00%, el Valor Presente Neto (VPN) es mayor que cero, y de acuerdo al criterio de Mendez, R. (2014). se deduce que el proyecto es rentable y se debe aceptar la inversión.

#### 4.2.9.3. Tasa interna de rendimiento (TIR)

Con los datos del flujo interno de caja del proyecto, se calculará la Tasa interna de rendimiento (TIR) con ayuda del software Microsoft Excel, lo cual nos arroja como resultado el siguiente valor:

$$\text{TIR} = 3158.77\%$$

Se puede observar que el valor de la TIR es mayor que los diez casos de tasas de retorno considerado, y según el criterio de evaluación de Mendez, R. (2014). se deduce que el proyecto es rentable y aceptable.

#### 4.2.9.4. Relación Beneficio – Costo (B/C)

Para poder calcular la relación B/C, previamente debemos conocer el Valor Presente de los ingresos o beneficios netos (VPI), y también el Valor Presente de los costos o de la inversión realizada (VPC), luego B/C será la relación entre VPI y VPC. Para el caso del VPC en cualquier tasa de interés de descuento, será la inversión del proyecto cuyo valor es de S/. 31.20 soles. Luego con ayuda del software Microsoft Excel procederemos a calcular el VPI para las tasas de interés de descuento: 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, y 90%.

**Tabla 35**

*Relación B/C para diferentes tasas de interés de descuento*

TASA	VPN	VPC	B/C
0.00%	30004.294	31.200	961.676
10.00%	11636.618	31.200	372.969
20.00%	6195.080	31.200	198.560
30.00%	4006.299	31.200	128.407
40.00%	2905.744	31.200	93.133
50.00%	2261.649	31.200	72.489
60.00%	1844.029	31.200	59.103
70.00%	1553.252	31.200	49.784
80.00%	1340.052	31.200	42.950
90.00%	1177.504	31.200	37.741

*Nota.* Elaboración propia.

#### **Interpretación de los resultados:**



- De acuerdo a los resultados arrojados (tabla 35), existe una relación tendencial donde si la tasa de interés de descuento aumenta, la razón B/C disminuye.
- Cuando la tasa de interés de descuento es del 0%, la razón B/C es mayor que 1 y aprueba el proyecto. Por cada S/. 1.00 sol de inversión, se generan un beneficio de S/. 961.676 soles.
- Cuando la tasa de interés de descuento es del 10%, la razón B/C es mayor que 1 y aprueba el proyecto. Por cada S/. 1.00 sol de inversión, se generan un beneficio de S/. 372.969 soles.
- Cuando la tasa de interés de descuento es del 20%, la razón B/C es mayor que 1 y aprueba el proyecto. Por cada S/. 1.00 sol de inversión, se generan un beneficio de S/. 198.560 soles.
- Cuando la tasa de interés de descuento es del 30%, la razón B/C es mayor que 1 y aprueba el proyecto. Por cada S/. 1.00 sol de inversión, se generan un beneficio de S/. 128.407 soles.
- Cuando la tasa de interés de descuento es del 40%, la razón B/C es mayor que 1 y aprueba el proyecto. Por cada S/. 1.00 sol de inversión, se generan un beneficio de S/. 93.133 soles.
- Cuando la tasa de interés de descuento es del 50%, la razón B/C es mayor que 1 y aprueba el proyecto. Por cada S/. 1.00 sol de inversión, se generan un beneficio de S/. 72.489 soles.
- Cuando la tasa de interés de descuento es del 60%, la razón B/C es mayor que 1 y aprueba el proyecto. Por cada S/. 1.00 sol de inversión, se generan un beneficio de S/. 59.103 soles.

- Cuando la tasa de interés de descuento es del 70%, la razón B/C es mayor que 1 y aprueba el proyecto. Por cada S/. 1.00 sol de inversión, se generan un beneficio de S/. 49.784 soles.
- Cuando la tasa de interés de descuento es del 80%, la razón B/C es mayor que 1 y aprueba el proyecto. Por cada S/. 1.00 sol de inversión, se generan un beneficio de S/. 42.950 soles.
- Cuando la tasa de interés de descuento es del 90%, la razón B/C es mayor que 1 y aprueba el proyecto. Por cada S/. 1.00 sol de inversión, se generan un beneficio de S/. 37.741 soles.

Luego, según el criterio de evaluación económica por Méndez, R. (2014). Se deduce que para todos los casos del valor de interés de descuento  $B/C > 1$ ; y en consecuencia proyecto se debe aceptar, debido a que el valor presente de los beneficios es mayor que el de los costos.

#### **4.2.10. Evaluación Ambiental**

La evaluación ambiental consistirá en conocer la cantidad de CO<sub>2</sub> que emite la motobomba a combustible por un mes, ya que, por ser un equipo de combustión interna, genera residuos gaseosos que se expande a la atmosfera a causa de la combustión de la gasolina.

Almirón, R. (2018). Menciona que una motobomba que emplea gasolina como carburante, emite 2.32 Kg de CO<sub>2</sub>/litro de gasolina que combustiona, y de acuerdo a las características técnicas de operación de la motobomba Honda 0.9HP 25 cc quien reemplazaría a la bomba de ariete, por un día de trabajo gastaría 0.21 galones de combustible, equivalente a 0.795 litros, y la cantidad de emisión de CO<sub>2</sub> sería como se calcula a continuación:

$$\text{Cantidad de } CO_2 = \frac{0.795 \text{ litros}}{\text{dia}} * \frac{2.32 \text{ kg de } CO_2}{\text{litro}}$$

$$\text{Cantidad de } CO_2 = \frac{1.844 \text{ kg de } CO_2}{\text{dia}}$$

$$\text{Cantidad de } CO_2 = \frac{1.844 \text{ kg de } CO_2}{\text{dia}} * 30 \text{ dias (1 mes)}$$

$$\text{Cantidad de } CO_2 = 55.332 \frac{\text{kg de } CO_2}{\text{mes}}$$

Por lo tanto, si se utiliza una motobomba a combustible emitirá  $55.332 \frac{\text{kg de } CO_2}{\text{mes}}$ , para las condiciones de trabajo según la presente investigación, además, en muchos de los casos estos tipos de máquinas son alquiladas para seguir trabajando en otros lugares, y, por ende, continuara emitiendo gran cantidad de CO<sub>2</sub> a la atmosfera, mientras tanto, al usar una bomba de ariete hidráulico no habría emisiones de CO<sub>2</sub>.

### 4.3. Prueba de Hipótesis

#### 4.3.1. Prueba de Hipótesis general

La efectividad del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en la zona rural del caserío de Callhuán es la más optima según las condiciones analizadas, puesto que la eficiencia del equipo es de 49.234 %, logrando elevar 2.82 % más que el caudal de descarga requerido. Desde el punto de vista económico es rentable con respecto a una motobomba a combustible, ya que no presenta mayores gastos para su operatividad y mantenimiento, además el equipo presenta la virtud de ser ecológico. Por lo tanto, es más conveniente el uso y aplicación del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico.

#### 4.3.2. Prueba de Hipótesis Específicas

- **La hipótesis 01:** Según se realizó el aforo volumétrico para hallar el caudal que oferta el manantial subterráneo en el mes de mayor estiaje (mes de agosto),

se tuvo un valor de 0.293 l/s, y el caudal de descarga demandado por el Rye Grass cultivado en 0.217 hectáreas es de 0.177 l/s. Cabe señalar que la bomba de ariete hidráulico instalado en campo, requiere un caudal de alimentación de 1.109 l/s, siendo mayor a la oferta hídrica.

- **La hipótesis 02:** Los parámetros de diseño y operación del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico son las siguientes: Diámetro del cuerpo de la bomba 2", altura de alimentación ( $H_a$ ) = 5.70 m, altura de descarga ( $H_d$ ) = 17.10 m, caudal de alimentación ( $Q$ ) = 1.109 l/s y el caudal de descarga ( $q$ ) = 0.182 l/s.
- **La hipótesis 03:** De acuerdo al análisis de los datos de pruebas en campo, la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico disminuye cuando se tiene menor cantidad de número de golpe de ariete en un minuto, ya que, al tener un ciclo lento de golpes de ariete, la válvula de impulso demora en cerrarse, obteniendo mayor cantidad de caudal desechado y por ende requiere mayor cantidad de caudal de alimentación.
- **La hipótesis 04:** La configuración efectiva de la bomba de ariete para la impulsión de agua para riego, en el Caserío de Callhuán, Distrito de Santa Ana de Tusi, Provincia Daniel Alcides Carrión y región Pasco, es a través del ensamblaje de accesorios y materiales que se encuentran al alcance del poblador rural, y además, se obtuvo la óptima velocidad de número de golpes de ariete por minuto con peso de 393.5 gr. del obturador de la válvula de impulsión, lográndose así obtener 27 golpes de ariete en un minuto. Con esta configuración se alcanzó elevar un caudal de descarga ( $q$ ) de 0.182 l/s, lo cual cubre al caudal de descarga requerido.
- **La hipótesis 05:** Si bien es cierto que la inversión inicial para la instalación de la bomba de ariete hidráulico es mayor que al adquirir una motobomba a

combustible, lo cual el precio difiere en un monto de S/. 31.20 soles, este monto se recupera antes del primer año según el flujo neto de caja del proyecto, ya que los gastos en combustible y mantenimiento son mayores al usar una motobomba. Del análisis financiero del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, se concluye que la inversión en el proyecto es rentable económicamente en la operación y mantenimiento de acuerdo a la relación Beneficio – Costo (B/C) realizado en diez distintos escenarios, considerando la tasa de interés de descuento más baja que es del 0 % y la mayor de 90%, en todos los escenarios analizados se cumple de que la relación B/C es mayor que 1.

#### **4.4. Discusión de resultados**

##### **4.4.1. Sobre del diseño general del sistema de bombeo**

El diseño del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico depende de la topografía del terreno y del caudal de demanda que se quiere elevar. Por ende, para poder diseñar e instalar la bomba de ariete hidráulico fue importante la visita a campo para ubicar el área de cultivo, el tipo de cultivo, así como también ubicar la fuente hídrica cercana al área cultivada, para luego continuar con el estudio topográfico del terreno, usando equipos como: estación total, prismas, GPS y wincha. El estudio topográfico me ayudó establecer lo siguiente: ubicación de la fuente de alimentación, alineamiento de línea de alimentación, ubicación de la bomba de ariete hidráulica, alineamiento de la línea de descarga, y ubicación del tanque de almacenamiento. Así mismo, cabe señalar que, para establecer la ubicación de la bomba de ariete hidráulico previamente se pudo conocer el desnivel de 10.40 m entre el nivel de terreno natural de la ubicación del tanque de almacenamiento y el nivel del espejo de agua de la fuente de alimentación. Se

consideró que el ingreso de la tubería de descarga al tanque de almacenamiento sea a un 1.00 m por encima del nivel de terreno natural, por lo que el nuevo desnivel ya sería 11.40 m, este último dato nos permitió determinar la altura de alimentación ( $H_a$ ), cuyo valor es de 5.70m, luego con ello se determinó la altura total de descarga, cuyo valor es de 17.10 m, también se calculó la longitud al ras del terreno natural de la línea de alimentación y de la línea de descarga, siendo 50.30 m y 90m, respectivamente.

La altura de alimentación ( $H_a$ ) cumple con el criterio según (Watt, S. B., 1975), quien plantea que ( $H_a$ ) debe comprender entre los valores de 1 a 12 m, y además debe tener una relación de uno a tres entre la altura de alimentación y altura de descarga.

Después de realizar el planteamiento general en campo, estableciendo las ubicaciones de los componentes principales del sistema de bombeo, se inició con el diseño de cada elemento que forman parte de este sistema de bombeo, como punto de partida fue conocer el caudal de descarga ( $q$ ), que es igual a la demanda de agua de riego del pastizal Rye Grass cultivado en 0.217 hectáreas, realizado el cálculo correspondiente se obtuvo una demanda hidria máxima de 0.177 l/s correspondiente al mes de agosto, seguido de ello, se continuo con el cálculo del caudal de alimentación ( $Q$ ), para ello se tuvo que asumir una eficiencia de 50% que teóricamente muestra la bomba de ariete, y como resultado se obtuvo como caudal de alimentación requiriendo un valor de 1.062 l/s, entendiéndose que este caudal será lo que consume este prototipo de bomba de ariete hidráulico para desarrollar un funcionamiento adecuado, para luego impulsar el caudal de descarga. Ya teniendo hallado el valor del caudal de alimentación, se calculó el diámetro de la tubería de alimentación, mediante la formula establecido según Bondschu, y

verificado según la fórmula de Hazen y Williams, definiendo que el diámetro nominal de la tubería de alimentación será de 63 mm.

Para elegir las características del tipo de material a usarse en la línea de alimentación fue muy importante conocer la función que ejercerá dentro del sistema de bombeo, ya que será por donde transportara el caudal de alimentación desde la fuente de alimentación hasta la bomba de ariete hidráulico, con una velocidad adecuada, de tal manera sea capaz de desplazar al obturador de la válvula de impulsión, lo cual produciendo el cierre repentino de esta válvula genere el fenómeno físico denominado golpe de ariete para luego generar la sobrepresión que la tubería debe soportar. Por lo tanto, debido a la función de la línea de alimentación se consideró un material resistente a la sobrepresión, que además sea económico, comercial en las ferreterías locales, así mismo puede tener la facilidad en su instalación. Teniendo dichas consideraciones se planteó usar tubería HDPE de 63mm de diámetro, tipo PE80 y SDR 17, ya que este tipo de tubería presenta la virtud de poseer resistencia a los factores climáticos como es la helada típica en el lugar de estudio, y aprovechando esta virtud se planteó instalar sobre la superficie del suelo, adaptándose al perfil longitudinal del terreno.

El diámetro calculado de la tubería de la línea de alimentación, nos permitió definir el diámetro de accesorios que conforma el cuerpo de la bomba de ariete hidráulico, lo cual es de 2", esto con el fin de evitar estrangulamientos o expansiones que generan pérdidas de cargas locales. Luego, el diámetro calculado de la tubería de la línea de alimentación me sirvió para calcular el diámetro de la tubería de descarga, ya que según (Rivadeneira & Silva, 2013), indica que el diámetro de la tubería de alimentación es el doble que el diámetro de la tubería de descarga, y finalmente eligió usar tubería HDPE de 32 mm de diámetro nominal.

#### **4.4.2. Sobre el diseño del cuerpo de la bomba de ariete hidráulico**

Conociendo ya los resultados del diseño de los elementos principales que forma parte el sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, se procedió a diseñar los elementos que conforma el cuerpo de la bomba de ariete, en base al diámetro de la tubería de alimentación se determinó el diámetro del cuerpo del ariete hidráulico, seguido de ello, se procedió a diseñar cada uno de los siguientes elementos: válvula de impulsión, válvula de descarga y tanque de aire. Así mismo, se eligió otros accesorios que conectara la tubería de alimentación con la bomba de ariete, y accesorios que conecta la tubería de descarga con la bomba de ariete.

Cabe señalar, que los accesorios que forman parte del cuerpo de la bomba de ariete, se eligieron de tal manera sean fáciles de adquirir en las ferreterías locales, que tengan precios módicos, y sobre todo, que sean resistentes según las condiciones en que trabajaran y así garantizar sobre el tiempo prolongado de vida útil.

Dentro de la bomba de arieten existen cuatro componentes principales, y son estos componentes quienes requieren el diseño correspondiente:

- **Cuerpo de la bomba**

El diámetro del cuerpo de la bomba de ariete se eligió de acuerdo al diámetro de la tubería de alimentación, con el fin de poder evitar contracciones o expansiones y que pueden generar pérdida de energía, es por ello, que el cuerpo de la bomba de ariete hidráulico tendrá un diámetro de 2 pulgadas, conformado por accesorios de F<sup>o</sup>G<sup>o</sup>, de bronce y de PVC, a fin de brindar mayor robustez y en consecuencia garantizar una vida útil prolongado. El cuerpo de la bomba inicia en la llegada de la tubería de alimentación, en donde se consideró una válvula de bola de PVC, cuyas funciones serán para poner en marcha la bomba de ariete, y para



suspender el funcionamiento debido a que solo trabajara en tiempos determinados o también para atender ante cualquier inconveniente de operación y en periodos de mantenimiento.

- **Válvula de impulsión**

Este componente, es prácticamente el motor de la bomba de ariete hidráulico, su diseño fue de tal manera se puede regular a través de variaciones de pesos en el obturador. Se opto por usar una válvula de pie con canastilla de 2" de diámetro (el mismo diámetro que el cuerpo del ariete hidráulico), cuyo material es de bronce. Se verifico sus dimensiones (diámetro, espesor del obturador, y la carrera) de acuerdo a las fórmulas establecidas por (Nekrasov B, 1968), teniendo las siguientes características de fábrica:

- Diámetro de base de la válvula : 0.048m
- Diámetro del obturador : 0.055m
- Espesor del obturador : 0.007m
- Longitud de carrera : 18 mm.

La modificación de la válvula, consistió en perforar la parte superior de la canastilla para colocar una tubería lisa de ½" diámetro, espesor 1 mm y de 10 cm longitud a lo largo de la canastilla, En esta tubería se introdujo un perno de ½ pulgada de diámetro y de 20 cm de largo, con un peso de 130 gr, para luego mediante prueba en campo y análisis de efectividad se pudo añadir 3 tuercas de 14.5 gr. y otras 3 tuercas de 30 gr. de peso, haciendo un total de 393.5 gr. de peso del obturador.

- **Válvula de descarga**

El diseño de la válvula de descarga consistió en elegir una válvula check horizontal de bronce, conocido también como válvula antirretorno. El diámetro de

este elemento es también de 2 pulgadas, el mismo diámetro del cuerpo de la bomba de ariete.

- **Tanque de aire**

El tanque de aire es quien bombea el líquido hacia el tanque de almacenamiento, en este tanque de aire se llena una sobrepresión a causa de la energía del golpe de ariete y por la altura estática, por tanto, fue necesario conocer estos parámetros para la elección del tipo de material con que se construirá el tanque de aire, según los cálculos realizados la sobrepresión es de 42.043 m.c.a. y la presión hidrodinámica de 5.46 m.c.a. lo cual viene a ser el desnivel de altura entre la fuente de alimentación y el nivel de la ubicación de la bomba de ariete afectado por las pérdidas de carga, haciendo un total de presión teórica de 47.503 m.c.a. que debe soportar el tanque de aire.

Para poder hallar el volumen del tanque de aire, se partió calculando el tiempo en que se desarrolla un ciclo del golpe de ariete (seg/ciclo), lo cual es de 0.626 segundos, seguido de ello conocer el caudal elevado por el ariete en un ciclo (m<sup>3</sup>/ciclo), siendo 0.283 litros/ciclo, con este valor y después de realizar cálculos matemáticos usando las fórmulas utilizadas según (Campaña, C. & Guamán, D., 2011), se logró calcular el volumen que debe tener el tanque de aire, cuyo valor es de 1.23 litros. En base al volumen calculado y a la sobrepresión total, se eligió usar niple de 3" de diámetro y 14" de longitud de fierro galvanizado, además se usó un tapón hembra del mismo diámetro y material. Para derivar hacia la tubería de descarga desde el cuerpo del ariete, se consideraron accesorios galvanizados, los cuales también serán parte del tanque de aire, haciendo un total de 1.689 litros de volumen.

Del diseño general de los componentes que conforman la bomba de ariete hidráulico, se puede mencionar que cumplen con los criterios técnicos según otros autores que realizaron investigaciones similares, por lo que se garantiza su funcionamiento adecuado y además el periodo prolongado de vida útil que tendrá.

#### **4.4.3. Sobre el ensamblaje de la bomba de ariete hidráulico**

El ensamblaje de la bomba de ariete hidráulico fue mediante accesorios de fierro galvanizado, bronce y PVC, los cuales son fáciles de adquirir en las ferreterías locales, todos los accesorios son del tipo roscado, debido a que presentara una facilidad de desmontaje para su mantenimiento. El ensamblaje fue de manera sencilla con ayuda de llaves stilson y de acuerdo al plano realizado, para unir los accesorios se usó teflón de tal manera se puede tener una adecuada hermeticidad y evitar pérdida de carga por fugas, lo cual puede afectar al funcionamiento adecuado y eficiencia de la bomba de ariete.

#### **4.4.4. Sobre la instalación del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico.**

El proyecto se realizó en el caserío de Callhuan, Distrito de Santa Ana de Tusi, Provincia Daniel Alcides Carrión, Región Pasco, específicamente en el terreno del Sr. Gaspar Torres Pardave, por lo tanto, fue en este lugar donde se realizó la instalación de los componentes necesarios del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico. Este sistema de bombeo está compuesto por los siguientes componentes:

- Para fines de estudio y análisis del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, se construyó una fuente de alimentación artesanal (pozo artificial) con dimensiones de 3 metros de largo, 2 metros de ancho y profundidad de 1.30 metros.

- Instalación de la línea de alimentación con tubería HDPE de diámetro nominal de 63mm tipo PE80 y SDR 17, cuya longitud fue de 50.30 metros. La instalación se realizó sobre la superficie del terreno, debido a que este tipo de tubería está diseñado para que se puede instalar a la intemperie. La tubería de alimentación cuenta con un filtro ubicado a la salida en la fuente de alimentación, esto con el fin de evitar el ingreso a la tubería de desechos sólidos y puede afectar al funcionamiento adecuado de la bomba de ariete hidráulico.
- Una vez ensamblada la bomba de ariete se procedió a instalar apoyándose sobre una base de listones de madera de 2"x3" y sujetado por un alambre negro recocido N° 16, conectado a la línea de alimentación a través de un adaptador HDPE macho con rosca de 2"x63mm de diámetros, de igual manera se conectó a la manguera de descarga por el mismo tipo de accesorio, que es un adaptador HDPE macho con rosca de 1"x32mm de diámetro.
- Para la línea de descarga se instaló una tubería HDPE, de 32 mm de diámetro y 90 m de longitud desde la bomba de ariete hasta el tanque de almacenamiento.

La bomba de ariete hidráulico está ubicado a un desnivel de 5.70 m desde la fuente de alimentación, lo cual aprovechara esta energía del agua para generar el fenómeno físico del golpe de ariete y luego elevar agua para fines de riego a 17.10 m de altura desde la ubicación del ariete hidráulico hasta el tanque de almacenamiento.

#### **4.4.5. Sobre la prueba en campo**

La prueba de campo se realizó una vez instalada in situ el sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, dicha prueba se realizó con el fin de evaluar la eficiencia y la efectividad de la bomba de ariete hidráulico, además la prueba en campo nos ayudara a comprobar los cálculos teóricos realizados en el presente proyecto.

Se dejo funcionar a la bomba de ariete hidráulico hasta verificar una máxima presión de 2.2 bares o 22.44 m.c.a. en el tanque de aire generado por la sobrepresión del fenómeno físico del golpe de ariete, trabajando en esta condición por un tiempo de 2 horas, se verifico también que todos los materiales usados en cada componente del sistema de bombeo, no sufrieron daños ni deficiencias en su funcionamiento, ya que estos materiales resistieron las presiones de agua a que estaban sometidas, en la línea de alimentación se usó tubería de HDPE tipo PE80 y SDR 17, y según la empresa (Pavco, 2020) quien fabrica esta clase de tubería, indica que soporta una presión de 8 Mpa, equivalente a 80 bares o 816 m.c.a, siendo más que suficiente para el presente proyecto. Con una altura de alimentación de 5.70m, 50.30 m de longitud de tubería de alimentación de 63 mm de diámetro e instalado a un ángulo de inclinación de 6.25° se generó una sobrepresión en el tanque de aire de 2.2 bares, equivalente a 22.44 m.c.a. de donde podemos deducir que el prototipo de bomba de ariete diseñado, puede elevar agua hasta 22.44 metros de altura desde el nivel de su ubicación, este valor representa 4.08 veces la altura de alimentación, dándonos a entender que elevara agua a una altura de descarga de 4.08 m por cada 1.00 m de altura de alimentación.

Así mismo, se verifico la eficiencia y efectividad de la bomba de ariete hidráulico, para ello se realizaron las pruebas en 3 diferentes escenarios, en cada uno de ellos varía el peso del obturador de la válvula de impulsión, buscando la

calibración óptima para abastecer agua al tanque de almacenamiento mínimamente de acuerdo al caudal demandada por el Rye Grass cultivado por el Sr. Gaspar Torres en un área de 0.217 hectáreas, alcanzando una eficiencia menor de 49.234 % con una velocidad de 27 golpes de ariete por minuto y una mayor eficiencia de 57.632 % con una velocidad de 40 golpes por minuto.

La configuración optima resulto en el tercer escenario, en donde la velocidad del ciclo del golpe de ariete es de 27 golpes/minuto, en lo cual el obturador de la válvula de impulsión tiene un peso de 393.5 gr. Esta calibración logro elevar un caudal de descarga de 0.182 l/s, siendo mayor a 0.177 l/s que es el caudal de demandada del Rye Grass cultivado en un área de 0.217 hectáreas.

De los datos obtenidos en campo, y de los resultados analizados en gabinete, resulta que la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico es mayor cuando el número de golpes de ariete por minuto también es mayor, pero eleva menor cantidad de caudal de descarga, y en consecuencia la efectividad es menor; mientras tanto, cuando se tiene menor número de golpes de ariete en minuto, eleva mayor cantidad de caudal de descarga, pero a la vez consume mayor cantidad de caudal de alimentación.

A continuación, se realiza una comparación entre los datos requeridos según diseño y datos obtenidos en campo:

**Tabla 36**

*Datos requeridos vs datos obtenidos*

ITEM	PARAMETROS	UNIDAD	DATOS	DATOS
			REQUERIDOS	OBTENIDOS
1	Altura de alimentación	m	5.70	5.70
2	Altura de descarga	m	17.10	17.10
3	Long. tubería de alimentación	m	50.30	50.30
4	Long. tubería de descarga	m	90.00	90.00

5	Caudal de alimentación	lt/s	1.062	1.109
6	Caudal de descarga	lt/s	0.177	0.182
7	Eficiencia	%	50.00	49.234

---

*Nota.* Elaboración propia.

❖ **Testimonio del presidente de la comunidad del caserío de Callhuan:**

En la prueba de campo se tuvo la presencia del Sr. Gaspar Torres Pardave, quien en la actualidad es el presidente de la comunidad campesina del caserío de Callhuan, en donde al observar el buen desempeño del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, se mostró muy satisfecho y convencido de que, este tipo de dispositivo de bombeo no le generará gastos en la operación y mantenimiento, más bien beneficiará económicamente, y a la vez tendrá suficiente agua para regar sus pastizales cultivados en tiempo de estiaje, para luego estos pastizales ser usado como alimento de sus ovinos y alpacas débiles, mitigando de esta manera la muerte de estos animales por falta de alimentación adecuada.

**Figura 101**

*Vista fotográfica del testimonio del presidente de la comunidad.*



*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.4.6. Sobre el costo de instalación del sistema de bombeo

Con el fin de economizar en la adquisición de materiales, se planteó usar accesorios prefabricados que son comerciales en las ferreterías locales, de hecho teniendo en cuenta la calidad de todos estos materiales para cuidar la vida útil prolongado, además se previó que los accesorios pueden tener una facilidad en el montaje y desmontaje para cualquier tipo de inspección y/o mantenimiento, los tipos de materiales con que se fabricaron los accesorios y materiales fueron de: Fierro galvanizado, bronce, HDPE y PVC.

El costo de inversión inicial se consideró los gastos en las siguientes partidas:

- **Costo de estudio topográfico;** ya que fue necesario conocer el área de cultivo de Rye Grass, los niveles de ubicación de la fuente de alimentación, de la bomba de ariete hidráulico, de la ubicación del tanque de almacenamiento, etc. lo cual el alquiler de equipos topográficos por un día fue de S/. 200.00 soles.
- **Costo de adquisición de accesorios e insumos;** considera la adquisición de componentes para la línea de alimentación, componentes para la línea de descarga, accesorios para el cuerpo de la bomba de ariete, y además de insumos para el ensamblaje correspondiente del mismo. Generando un costo total de S/. 989.40 soles.
- **Costo de mano de obra;** considera los gastos generados de uso de herramientas manuales para el ensamblaje de la bomba de ariete y para la instalación de los componentes que forman parte el sistema de bombeo, así mismo, el sueldo de un jornal de trabajo, lo cual en total fue de S/. 61.80 soles.



- **Costo de flete terrestre;** consistió en el pasaje gastado para trasladar los materiales desde la ciudad de Cerro de Pasco hasta el lugar de estudio, cuyo costo fue de S/. 60.00 soles.

Siendo la inversión total de S/. 1,311.20 soles, luego comparando con el costo de adquisición de una autocebante motobomba de la marca honda de 0.9HP 25 Cc de 1” de diámetro de impulsión, se tiene una diferencia en contra de S/. 31.20 soles, debido a que la motobomba tiene un precio de S/. 1,280.00 soles. Sin embargo, si bien es cierto que la inversión inicial para la instalación de la bomba de ariete hidráulico es mayor que al adquirir una motobomba a combustible, este monto de S/. 31.20 soles se recupera en menos del primer año según el flujo neto de caja del proyecto, ya que los gastos en combustible y mantenimiento son mayores al usar una motobomba. Además, de acuerdo a Méndez, R. (2014). Se evaluaron tres criterios básicos cuantificables en términos económicos, para conocer la viabilidad de instalar la bomba de ariete hidráulico, las cuales arrojaron los siguientes:

- Se calcularon el Valor Presente Neto (VPN) asumiendo diez tipos de tasas de interés siendo el mínimo 0.00% y el máximo 90.00%, y en cualquiera de los casos el Valor Presente Neto (VPN) es mayor que cero, por lo que se deduce que el proyecto es rentable y se debe aceptar la inversión.
- Se calculará la Tasa interna de rendimiento (TIR), siendo un valor de 3158.77%, lo cual es mayor que los diez casos de tasas de retorno considerado, por lo que se deduce que el proyecto es rentable y aceptable.
- De acuerdo a la relación Beneficio – Costo (B/C) realizado en diez distintos escenarios, considerando la tasa de interés de descuento más baja que es del 0

% y la mayor de 90%, en todos los escenarios analizados se cumple de que la relación B/C es mayor que 1.

#### **4.4.7. Sobre la evaluación ambiental**

Se calculo la cantidad de CO<sub>2</sub> que emitiría al mes una motobomba a combustible, en este caso al usar una autocebante motobomba de la marca Honda 0.9 Hp y 25 Cc. De 1” de tubería de impulsión, Al ser un equipo de combustión interna, genera residuos gaseosos, a causa de la combustión de la gasolina, según el criterio de Palau N. (2010). Se calculo que esta motobomba emitirá  $55.332 \frac{kg \text{ de } CO_2}{mes}$ , para las condiciones de trabajo según la presente investigación, además, en muchos de los casos estos tipos de máquinas son alquiladas para seguir trabajando en otros lugares, y, por ende, continuara emitiendo mayor cantidad de CO<sub>2</sub> a la atmosfera, mientras tanto, al usar una bomba de ariete hidráulico no habría emisiones de CO<sub>2</sub>.

## CONCLUSIONES

- a) Se dimensiono cada uno de los componentes que forman parte del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, aplicando las teorías existentes, y además teniendo en cuenta los criterios recomendados por otros investigadores que desarrollaron trabajos similares, luego se eligió accesorios y materiales comerciales en el medio local que nos garantizan su adecuado desempeño en su funcionalidad y durabilidad.
- b) Se realizó el diseño de un prototipo de bomba de ariete hidráulico para elevar un caudal mínimo de agua de 0.177 l/s de acuerdo a la demanda hídrica del Rye Grass cultivado en un área de 0.217 hectáreas por el Sr. Gaspar Torres Pardave, lo cual, desde el diseño hasta la instalación de todos los componentes que forman parte del sistema de bombeo, generó una inversión total de S/. 1,311.20 soles.
- c) El diseño de la válvula de impulsión, lo cual es el motor de la bomba de ariete, consistió en modificar una válvula de pie con canastilla de bronce y de 2" de diámetro de su estado de fábrica, lo cual se modificó perforando la parte superior de la canastilla para luego colocar una tubería lisa de ½" diámetro, espesor 1 mm y de 10 cm de longitud a lo largo de la canastilla, En esta tubería se añadió pesas al obturador, introduciendo un perno de ½ pulgada de diámetro y 20 cm de largo con un peso de 130 gr, para luego mediante prueba en campo y análisis de efectividad se añadió 3 tuercas de 14.5 gr y otros 3 tuercas de 30 gr, haciendo un total de 393.5 gr.

Esta configuración generó 27 golpes de ariete en un minuto, aprovechando la energía del caudal de alimentación cuyo valor es de 1.109 l/s, que llega mediante la tubería de alimentación de 63mm de diámetro y 50.30 m de

longitud y desnivel de 5.70 m, se pudo lograr elevar un caudal de descarga de 0.182 l/s a una altura de 17.10 m mediante una tubería de descarga de 32 mm de diámetro y 90.00 m de longitud hasta donde se ubica el tanque de almacenamiento proyectado.

- d) El ensamblaje de la bomba de ariete hidráulico fue a través de accesorios de fierro galvanizado de 3", 2" y de 1" de diámetro como: niples, codos 90°, tees, así mismo, reducciones de 3"x2" y 2"x1"; accesorios de bronce como: válvula check horizontal antirretorno y válvula de pie con canastilla; así mismo se usó válvulas de bola de PVC de 2" y 1" de diámetro.
- e) El prototipo de bomba diseñada, ensamblada e instalada en campo, tiene la ventaja de ser regulado para diferentes calibraciones, y podría ser usado según la oferta hídrica que se tiene en otros lugares donde se podría instalar, conociendo que regulada a 40 golpes de ariete por minuto presenta una eficiencia de 57.632% permitiendo elevar un caudal de descarga de 0.073 l/s; si es que se regula a 30 golpes de ariete por minuto presenta una eficiencia de 51.661% permitiendo elevar un caudal de descarga de 0.140 l/s; y si es que se regula a 27 golpes de ariete por minuto presenta una eficiencia de 49.234 % permitiendo elevar un caudal de descarga de 0.182 l/s. Y en el presente proyecto quedó calibrado a 27 golpes de ariete por minuto, lo cual satisface la demanda hídrica del Rye Grass cultiva en un área de 0.217 hectáreas.
- f) La inversión inicial es de S/. 1,311.20 soles hasta la instalación del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, luego comparando con el costo de adquisición de una autocebante motobomba de la marca Honda de 0.9HP 25 Cc, se tiene una diferencia en contra de S/. 31.20 soles, debido a que la motobomba

tiene un precio promedio de S/. 1,280.00 soles, sin embargo, si bien es cierto que la inversión inicial para la instalación de la bomba de ariete hidráulico es mayor que al adquirir una motobomba a combustible, esta diferencia de monto de S/. 31.20 soles se recupera en menos del primer año según el flujo neto de caja del proyecto, ya que los gastos en combustible y mantenimiento son mayores al usar una motobomba. Además, de acuerdo a Méndez, R. (2014). Se evaluaron tres criterios básicos cuantificables en términos económicos, para conocer la viabilidad de instalar la bomba de ariete hidráulico, cuyos criterios analizados fueron a través del cálculo del Valor Presente Neto (VPN); Tasa interna de rendimiento (TIR) y la relación Beneficio – Costo (B/C), estos criterios arrojaron que el proyecto es rentable y por ende se debe aceptar la inversión.

## RECOMENDACIONES

- a. Se recomienda realizar proyectos de sistemas de bombeo mediante ariete hidráulico a favor de las comunidades campesinas, quienes necesitan abastecimientos de agua mediante sistemas de bombeo para fines de riegos, para uso doméstico o hasta para consumo humano, debido a que esta tecnología aportara para una mejor calidad de vida del poblador rural, y la ventaja es que no requiere de gastos elevados desde su inversión hasta su operación y mantenimiento, y a pesar de que es una tecnología antigua, en las zonas rurales es desconocido, como es el caso del Caserío de Callhuan, y por ende es considerado como proyecto innovador autosostenible, que brindara beneficios a la población que no tienen recursos para adquirir y mantener a una motobomba a combustible.
- b. Se debe realizar el manejo adecuado de la bomba de ariete hidráulico al momento de poner en marcha, así mismo, se debe programar fechas para realizar su mantenimiento preventivo o correctivo, así poder lograr un buen desempeño en la operatividad y además para garantizar el tiempo prolongado de su vida útil.
- c. Se recomienda que la bomba de ariete hidráulico debe estar fijado de manera segura en su base, a fin de evitar pérdidas de energía producida por el golpe de ariete, y así poder garantizar el buen desempeño en su funcionamiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acitores Martinez, F. (2012). Estudio Teorico y Experimental de la Bomba de Ariete. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, Escuela Politecnica Superior.obtenido de <http://hdl.handle.net/10016/14685>.
- Almirón Quispe, R. (2018). Efectividad del Sistema de Bombeo con Ariete Hidráulico en la zona Rural de la provincia de San Pablo - Cajamarca. Tesis de postgrado: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2138>
- Arangurí, D. (2018). Efectividad del Sistema de Bombeo con Ariete Hidráulico en la Zona Rural de La Provincia de San Pablo. Tesis de postgrado: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2138>
- Bonilla, J. & Hidrobo, F. (2011). Diseño de un Sistema de Turbobombeo y Riego por aspersion en la comunidad de san Franciso de Cunuguachay. Tesis de pregrado: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de <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 lts/s. Tesis de pregrado., Ecuador: Escuela Politecnica Nacional. obtenido de <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. obtenido de <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. Catamarca. Ediciones INTA.
- Elioiqui, G. . (2017). Caracterización de un ariete hidráulico. Trabajo de diploma en opción al título de ingeniero mecánico. . Tesis de pregrado: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”.
- FAO. (2006). Estudio FAO Riego y Drenaje. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. España: FAO.
- Fernández Gómez, R. (2010). Manual de Riego para Agricultores, Módulo 1: Fundamentos del Riego. Sevilla: Signatura Ediciones de Andalucía, S.L.
- Mamani, R. (2015). “Aplicación De La Bomba De Ariete Hidralico En La Impulsion de Recursos Hidricos Para Riego en el Departamento de Puno. Tesis de pregrado: Universidad Nacional del Altiplano-Puno. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4601>
- Martínez, D. (2012). Arietes Alba. Obtenido de <http://arietesalba.es>.
- Mataix, C. (1986). Mecanica de Fluidos y Maquinas Hidraulicas. Madrid: Castillo S.A.
- Mendez, R. . (2014). Formulación y Evaluación de Proyectos Enfoque para emprendedores, . Sevilla: Octava edición, Icontec Internacional.
- MINAGRI. (2015). Manual de Calculo de Eficiencias para Riego. . Lima.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2018). Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural. Lima, Peru.
- Mott R. (1996). Mecánica de fluidos aplicada. México: Prentice Hall.
- Nekrasov B. (1968). Hidraulica. Moscú: Tercera Edición. Editorial MIR.



- Otí Isla, P. (2017). Ariete hidráulico para riego : diseño, construcción y montaje. Tesis de pregrado: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicacion. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10902/11460>.
- Paredes, M, & Tuquinga, R. (2012). Diseño e Instalación de un Sistema de Bombeo Mediante Ariete Hidráulico en la comunidad Airón Cruz Alto ubicada en la parroquia Cebadas. Tesis de pregrado: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/2403>
- Pauro Chavez, R. (2018). Diseño de bomba de ariete hidráulico, en la Asociación San Miguel - Yacango Distrito Torata Región Moquegua. Tesis de grado: Universidad José Carlos Mariátegui. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12819/327>
- Pavco. (2020). Manual Técnico Tubo sistemas Biaxial. Lima: Edición junio.
- Pavco. (2020). Tubos de Polietileno de Alta Densidad. Lima: Edición 2022.
- Piña Oclocho, A. (2021). Evaluación de un sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua, sector Punta de Doña - Moyobamba. . Tesis de pregrado: Universidad Nacional de San Martín.
- Potter, M. (2022). Mecánica de Fluidos. México: Thompson.
- Rengifo S, Gallego J. . (2016). Diseño Y Construcción de un Sistema de Ariete Hidraulico Para el Aprovechamiento de Aguas Lluvias. . Tesis de pregrado: Universidad Tecnológica de Pereira. Obtenido de <https://core.ac.uk/reader/71399710>
- 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 Politecnica Salesiana. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5989>.

Straneo, L. (1969). El Dibujo Técnico Mecánico. Barcelona: Monarer y Simón S.A.

Swamee, P, & Jain, K. (1976). Explicit equation for pipe flow problem. Journal of the  
Hydraulics Division, 657-664.

Watt, S. B. (1975). A Manual on the Hydraulic Ram for Pumping VWater. London,  
England: Intermediate Tecnology Development Group.

Zurita, J. (1976). Obras Hidráulicas. Barcelona: 2da.ed.

## ANEXOS

### 1. Instrumentos de Recolección de datos.

#### A. Aforo volumétrico de fuente hídrica

TESIS:	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			
BACHILLER:	BACH. ING. CIVIL Pettther Lincoln TORRES ORTEGA			
<b>1. DATOS GENERALES</b>				
LOCALIDAD:	Caserio de Callhuan	FECHA:	15 de agosto del 2021	
DISTRITO:	Santa Ana de Tusi	HORA:	10:15 a.m.	
PROVINCIA:	Daniel Alcides Carrion	CLIMA:	cielo despejado	
REGION:	Pasco			
<b>2. DESCRIPCION DE LA FUENTE</b>				
TIPO:	Manantial Subteraneo			
NOMBRE:	sin nombre			
UBICACIÓN:	Coord. UTM: N 8840539.266	E 356298.017	Z 4277.69	
TEMPORADA:	Epoca de estiaje	AFORO:	Volumetrico	
DESCRIPCION:	Fuente hidrica ubicado en el terreno del Sr. Gaspar TORRES PARDAVE			
<b>3. VISTA FOTOGRAFICA</b>				
				
<b>4. CALCULOS DE AFORO</b>				
	<b>N°</b>	<b>Volumen V (l)</b>	<b>Tiempo de Llenado T (s)</b>	<b>Caudal (lt/s) Q=V/T</b>
	1	2.5	8.8	0.284
	2	2.5	8.5	0.294
	3	2.5	8.52	0.293
	4	2.5	8.65	0.289
	5	2.5	8.27	0.302
			<b>PROMEDIO=</b>	<b>0.293</b>
<b>RESUMEN DE AFORO:</b>				
	CAUDAL PROMEDIO (lt/s)=		0.293	
<b>4. CONCLUSION</b>				
	Caudal promedio <b>0.293 lt/s</b>			

## B. Aforo de caudal de descarga

AFORO DE CAUDAL DE DESCARGA			
TESIS:	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		
BACHILLER:	BACH. ING. CIVIL Petther Lincoln TORRES ORTEGA		
<b>1. DATOS GENERALES</b>			
LOCALIDAD:	Caserio de Callhuan	FECHA:	15 de Noviembre del 2022
DISTRITO:	Santa Ana de Tusi	HORA:	09:30 a.m.
PROVINCIA:	Daniel Alcides Carrion	CLIMA:	cielo anublado
REGION:	Pasco		
<b>2. CALIBRACION DE VALVULA DE IMPULSION</b>			
PESO DEL OBTURADOR:	0.130 kg		
<b>3. VISTA FOTOGRAFICA</b>			
			
a la izquierda se observa el funcionamiento de la bomba de ariete y a la derecha el caudal de descarga			
<b>4. CALCULOS DE AFORO</b>			
	Velocidad de golpes de la válvula de impulsión	: 40 golpes/min	
	altura de alimentación	: 5.70 m	
	Long. Tub. de alimentacion	: 50.30 m	
	Altura de descarga	: 17.10 m	
	Diámetro de tubo De descarga	: 1 pulgada	
	Long. Tubo de descarga	: 90.00 m	
	<b>N°</b>	<b>Volumen</b>	<b>Tiempo</b>
		V (l)	(S)
	1	22.4	308
	2	22.4	307.85
	3	22.4	307.9
	4	22.4	307.9
	5	22.4	307.88
		<b>PROMEDIO=</b>	<b>0.073</b>
RESUMEN DE AFORO:	CAUDAL PROMEDIO (lt/s)=	0.073	
<b>5. CONCLUSION</b>			
	Caudal de descarga promedio 0.073 lt/s		

## AFORO DE CAUDAL DE DESCARGA

TESIS:	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
--------	---

BACHILLER:	BACH. ING. CIVIL Petther Lincoln TORRES ORTEGA
------------	--

<b>1. DATOS GENERALES</b>			
LOCALIDAD:	Caserio de Callhuan	FECHA:	15 de Noviembre del 2022
DISTRITO:	Santa Ana de Tusi	HORA:	09:55 a.m.
PROVINCIA:	Daniel Alcides Carrion	CLIMA:	cielo anublado
REGION:	Pasco		

<b>2. CALIBRACION DE VALVULA DE IMPULSION</b>			
PESO DEL OBTURADOR:	0.3635 kg		

### 3. VISTA FOTOGRAFICA



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

<b>4. CALCULOS DE AFORO</b>			
	Velocidad de golpes de la válvula de impulsión		: 30 golpes/min
	altura de alimentación		: 5.70 m
	Long. Tub. de alimentacion		: 50.30 m
	Altura de descarga		: 17.10 m
	Diámetro de tub. De descarga		: 1 pulgada
	Long. Tub de descarga		: 90.00 m

N°	Volumen	Tiempo	Caudal
	V (l)	(S)	(l/s)
1	22.4	160	0.14
2	22.4	161.53	0.139
3	22.4	159.98	0.14
4	22.4	160.01	0.14
5	22.4	159.95	0.14
		<b>PROMEDIO=</b>	<b>0.14</b>

<b>RESUMEN DE AFORO:</b>			
	CAUDAL PROMEDIO (lt/s)=	0.14	

<b>5. CONCLUSION</b>			
	Caudal de descarga promedio	0.14 lt/s	

## AFORO DE CAUDAL DE DESCARGA

TESIS: 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

BACHILLER: BACH. ING. CIVIL Petther Lincoln TORRES ORTEGA

### 1. DATOS GENERALES

LOCALIDAD:	Caserío de Callhuan	FECHA:	15 de Noviembre del 2022
DISTRITO:	Santa Ana de Tusi	HORA:	10:35 a.m.
PROVINCIA:	Daniel Alcides Carrion	CLIMA:	cielo anublado
REGION:	Pasco		

### 2. CALIBRACION DE VALVULA DE IMPULSION

PESO DEL OBTURADOR: **0.3935 kg**

### 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

Velocidad de golpes de la válvula de impulsión	: <b>27 golpes/min</b>
altura de alimentacion	: <b>5.70 m</b>
Long. De Tub. De alimentacion	: <b>50.30 m</b>
Altura de descarga	: <b>17.10 m</b>
Diámetro de tubo de descarga	: <b>1 pulgada</b>
Longitud del Tubo de descarga	: <b>90.00 m</b>

N°	Volumen	Tiempo	CAUDAL
	V (l)	(S)	(l/s)
1	22.4	123	0.182
2	22.4	123.4	0.182
3	22.4	123.7	0.181
4	22.4	123.3	0.182
5	22.4	123.2	0.182
<b>PROMEDIO=</b>			<b>0.182</b>

### RESUMEN DE AFORO:


CAUDAL PROPROMEDIO (lt/s)= 0.182

### 5. CONCLUSION

Caudal de descarga promedio 0.182 lt/s



### C. Aforo de caudal desechado

<b>AFORO DE CAUDAL DESECHADO</b>				
TESIS:	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			
BACHILLER:	BACH. ING. CIVIL Petther Lincoln TORRES ORTEGA			
<b>1. DATOS GENERALES</b>				
LOCALIDAD:	Caserio de Callhuan	FECHA:	15 de Noviembre del 2022	
DISTRITO:	Santa Ana de Tusi	HORA:	09:40 a.m.	
PROVINCIA:	Daniel Alcides Carrion	CLIMA:	cielo anublado	
REGION:	Pasco			
<b>2. CALIBRACION DE VALVULA DE IMPULSION</b>				
PESO DEL OBTURADOR:	<b>0.130 kg</b>			
<b>3. VISTA FOTOGRAFICA</b>				
		<p>Vista fotográfica de aforo volumétrico de caudal desechado</p>		
<b>4. CALCULOS DE AFORO</b>				
	<b>N°</b>	<b>Volumen</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Caudal Desechado (Qp)</b>
		V (l)	(S)	(l/s)
	1	3.2	10	0.32
	2	3	10	0.30
	3	3	10	0.30
			PROMEDIO=	0.307
<b>RESUMEN DE AFORO:</b>				
	CAUDAL PROMEDIO (lt/s)=		0.307	
<b>5. CONCLUSION</b>				
	Caudal desechado promedio 0.307 lt/s			

## AFORO DE CAUDAL DESECHADO

TESIS:	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
BACHILLER:	BACH. ING. CIVIL Petther Lincoln TORRES ORTEGA

### 1. DATOS GENERALES

LOCALIDAD:	Caserio de Callhuan	FECHA:	15 de Noviembre del 2022
DISTRITO:	Santa Ana de Tusi	HORA:	10:15 a.m.
PROVINCIA:	Daniel Alcides Carrion	CLIMA:	cielo anublado
REGION:	Pasco		

### 2. CALIBRACION DE VALVULA DE IMPULSION

PESO DEL OBTURADOR: **0.3635 kg**

### 3. VISTA FOTOGRAFICA



Vista fotográfica de aforo volumétrico de caudal desechado

### 4. CALCULOS DE AFORO

N°	Volumen	Tiempo	Caudal Desechado (Qp)
	V (l)	(S)	(l/s)
1	6.7	10	0.67
2	6.8	10	0.68
3	6.7	10	0.67
		PROMEDIO=	0.673

### RESUMEN DE AFORO:

CAUDAL PROMEDIO (lt/s)= 0.673

### 5. CONCLUSION

Caudal desechado promedio 0.673 lt/s



## AFORO DE CAUDAL DESECHADO

TESIS: 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

BACHILLER: BACH. ING. CIVIL Petther Lincoln TORRES ORTEGA

### 1. DATOS GENERALES

LOCALIDAD:	Caserio de Callhuan	FECHA:	15 de Noviembre del 2022
DISTRITO:	Santa Ana de Tusi	HORA:	11.00 a.m.
PROVINCIA:	Daniel Alcides Carrion	CLIMA:	cielo anublado
REGION:	Pasco		

### 2. CALIBRACION DE VALVULA DE IMPULSION

PESO DEL OBTURADOR: **0.3935 kg**

### 3. VISTA FOTOGRAFICA



Vista fotográfica de aforo volumétrico de caudal desechado

### 3. CALCULOS DE AFORO

N°	Volumen	Tiempo	Caudal Desechado (Qp)
	V (l)	(S)	(l/s)
1	9.1	10	0.91
2	9.3	10	0.93
3	9.4	10	0.94
		PROMEDIO=	0.927

### RESUMEN DE AFORO:

CAUDAL PROMEDIO (lt/s)= 0.927

### 4. CONCLUSION

Caudal desechado promedio 0.927 lt/s

## D. Ficha técnica de motobomba autocebante 0.9 hp 25 cc

# HONDA

**CORPORACION  
DE MAQUINARIA**

MÁS QUE UNA MARCA, TODO UN RESPALDO.

## MOTOBOMBA

AGUAS LIMPIAS - WX100



### FICHA TÉCNICA

Concebidas para trabajos con agua limpia, turbias, con productos químicos o alta presión, las motobombas portátiles Honda resultan la mejor opción.

Equipadas con los confiables motores Honda 4 tiempos, las motobombas Honda garantizan excelente performance, confiabilidad en el trabajo, mayor autonomía y menor costo de mantenimiento.

#### MOTOR

Tipo de Motor	GX25, OHV 4 tiempos, refrigerado por aire
Cilindrada	25 cc
Potencia Neta	0.9 HP de potencia

#### CAUDAL DE DESCARGA

Caudal de Descarga	120 lts/min
Tiempo de Cebado	80 seg a 5 mts
Diámetro de Succión y Descarga	1"
Altura Máxima de Succión	7.5 mts
Altura Máxima de Bombeo	31 mts
Presión Máxima	3.58 bar

#### OTRAS ESPECIFICACIONES

Tipo de Bomba	Centrífuga autocebante
Autonomía	0.9 hrs a máxima descarga
Peso	6 kg

## E. Cotización de precio de motobomba autocebante 0.9 hp 25 cc



# INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C.

CAL. PARAGSHA P.J. JOSE CARLOS MARITEGUI LOTE.  
09 PARTE ARRIBA DEL RESERVORIO DE PARAGSHA  
SIMON BOLIVAR - PASCO - PASCO

RUC 20608141589  
**COTIZACIÓN**  
000018

**CLIENTE** : Petther Lincoln TORRES ORTEGA  
**DNI** : 71447126  
**DIRECCION** : AA. HH. J.C.M SECOR 3 – SIMON  
BOLIVAR – PASCO - PASCO

**FECHA DE EMISION:** 22/08/2022  
**FECHA DE VENC.** : 22/09/2022  
**MONEDA** : SOLES

Ítem	Cant.	U. Med.	Descripción	P. Unitario	Parcial
1	1	UND	MOTOBOMBA HONDA MODELO WX10D 0.9 HP 25 CC	S/ 1,084.75	S/ 1,084.75

**SUB TOTAL** S/ 1,084.75  
**IGV (18%)** S/ 195.25  
**PRECIO TOTAL** S/ 1,280.00

**NOTA IMPORTANTE:** NO SE ACEPTAN CAMBIOS NI DEVOLCIONES

**Cuentas Bancarias:** CUENTA CORRIENTE BCP SOLES: 280-04691889-0-42

F. Comprobante de precio actual de combustible

MINISTERIO DE AGRICULTURA  
DIRECCION REGIONAL AGRARIA PASCO  
Cerro de Pasco

DIRECCION DE ADMINISTRACION  
DRA PASCO

DIRECCION REGIONAL AGRARIA  
PASCO

ORDEN DE COMBUSTIBLE

V.B. N° 11237

Se autoriza a: HOG. STEAR CASTRO BARRERA

Dirección: DIRECCION DE COOPERATIVAS - PROYECTO OUIYO

Documento que Autoriza: PROYECTO P 062 - 2023 - GPR-DEA - 06 / PROYECTO - OUIYOS - 5508 - 05

Fuente Financiamiento: \_\_\_\_\_

Para retirar: \_\_\_\_\_ N° Factura: E00-19565

CANT.	UNID. MED.	PRODUCTO	P. UNIT.	MONTO
04	GALONES	Gasolina 90 oct. Petróleo D-2 Otros	21.95	S/. 48.40 S/. 87.80
<b>TOTAL S/.</b>				

Del Grifo: T.M.

Para realizar trabajos de: SISTEMA TERCERA Y OBTENCION DE BOLEGAS

En el lugar de: SAPTO PUNO DE TOSI Y YANACAYO

Con Vehículo: EW-9798

Fecha: 27 01 21

OPC. ALMACEN D.R.A.P.  
OFICINA DE ATENCION AL CLIENTE  
SANTO DOMINGO DE BUSTAMANTE

ING. FRANCISCO BARRANTES  
OFICINA DE ADMINISTRACION  
SANTO DOMINGO DE BUSTAMANTE



## 2. Procedimiento de validación y confiabilidad



### UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

#### FICHA DE VALIDACION DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACION

##### I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y Nombres del Informante: Luis Enrique ENCISO FLORES

1.2. Grado académico: Ingeniero Titulado en Ingeniería Civil; Reg. CIP N°: 94305

1.3. Cargo o institución donde labora: .....

1.4. Título de Investigación: 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.

1.5. Autor del instrumento: Bach. Petther Lincoln TORRES ORTEGA

1.6. Nombre del instrumento: Metodología de recolección de datos de campo

##### II. ASPECTOS DE VALIDACION

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Buena 41 - 60%	Muy Buena 61-80%	Excelente 81-100%
1. CLARIDAD	Esta formulado con un lenguaje adecuado					X
2. OBJETIVIDAD	Esta 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. METODOLOGIA	la estrategia responde al propósito del estudio				X	
10. OPORTUNIDAD	el instrumento ha sido aplicado en el momento oportuno y más adecuado					X
<b>III. PROMEDIO DE VALIDACION</b>		<b>90%</b>				
<b>IV. OPINION DE APLICACIÓN</b>		Instrumento apropiado para la determinación de la efectividad del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico.				
Huancayo, 27/03/23	22510542				962916868	
<b>Lugar y fecha</b>	<b>N° DNI</b>	<b>Firma del Experto</b>			<b>N° Celular</b>	



# UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

## FICHA DE VALIDACION DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACION

### I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y Nombres del informante: Elvin TORRES DELGADO

1.2. Grado académico: Ingeniero Titulado en Ingeniería Civil; Reg. CIP N°: 250548

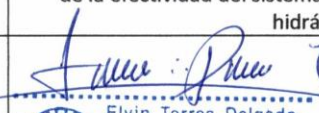

1.3. Cargo o institución donde labora: IOARR: REPARACION DE AMBIENTE DE GESTION ADMINISTRATIVA Y PEDAGOGICA, EN LA I.E. N°265-TOCACACHE DISTRITO DE TOCACHE-PROVINCIA DE TOCACHE, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN"CON CUI: 2574659.

1.4. Título de investigación: 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.

1.5. Autor del instrumento: Bach. Petther Lincoln TORRES ORTEGA

1.6. Nombre del instrumento: Metodología de recolección de datos de campo

### II. ASPECTOS DE VALIDACION

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Buena 41 - 60%	Muy Buena 61-80%	Excelente 81-100%
1. CLARIDAD	Esta formulado con un lenguaje adecuado					X
2. OBJETIVIDAD	Esta 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. METODOLOGIA	la estrategia responde al propósito del estudio					X
10. OPORTUNIDAD	el instrumento ha sido aplicado en el momento oportuno y más adecuado					X
<b>III. PROMEDIO DE VALIDACION</b>		<b>94%</b>				
<b>IV. OPINION DE APLICACIÓN</b>		El instrumento es apropiado para el estudio de la determinación de la efectividad del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico.				
TOCACACHE - SAN MARTIN	74639602	 			942064061	
Lugar y fecha	N° DNI	Firma del Experto			N° Celular	




# UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

## FICHA DE VALIDACION DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACION

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. **Apellidos y Nombres del informante:** Jimil Kenidy MIRANDA ANDRES  
 1.2. **Grado académico:** Ingeniero Titulado en Ingeniería Civil; Reg. CIP N°: 290167  
 1.3. **Cargo o institución donde labora:** jefe de proyectos - consultor de obras civiles  
 1.4. **Título de investigación:** 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.  
 1.5. **Autor del instrumento:** Bach. Petther Lincoln TORRES ORTEGA  
 1.6. **Nombre del instrumento:** Metodología de recolección de datos de campo

### II. ASPECTOS DE VALIDACION

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Buena 41 - 60%	Muy Buena 61-80%	Excelente 81-100%
1. CLARIDAD	Esta formulado con un lenguaje adecuado					X
2. OBJETIVIDAD	Esta 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. METODOLOGIA	la estrategia responde al propósito del estudio				X	
10. OPORTUNIDAD	el instrumento ha sido aplicado en el momento oportuno y más adecuado					X
<b>III. PROMEDIO DE VALIDACION</b>		<b>96%</b>				
<b>IV. OPINION DE APLICACIÓN</b>		Instrumento adecuado para determinar la efectividad del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, diseñado e instalado en el Caserío de Callhuan.				
Cerro de Pasco / 27-03-2023	71003015	 <b>Jimil K. MIRANDA ANDRES</b> <b>INGENIERO CIVIL</b> <b>CIP N° 290167</b>			982 929 472	
<b>Lugar y fecha</b>	<b>N° DNI</b>	<b>Firma del Experto</b>			<b>N° Celular</b>	





# UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

## FICHA DE VALIDACION DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACION

### I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y Nombres del informante: Guzmán Toribio, Edgar

1.2. Grado académico: Ingeniero Titulado en Ingeniería Civil; Reg. CIP N°: 186344

1.3. Cargo o institución donde labora: Consultor

1.4. Título de investigación: 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.

1.5. Autor del instrumento: Bach. Pettther Lincoln TORRES ORTEGA

1.6. Nombre del instrumento: Metodología de recolección de datos de campo

### II. ASPECTOS DE VALIDACION

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Buena 41 - 60%	Muy Buena 61-80%	Excelente 81-100%
1. CLARIDAD	Esta formulado con un lenguaje adecuado					X
2. OBJETIVIDAD	Esta 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. METODOLOGIA	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 VALIDACION

96%

### IV. OPINION DE APLICACIÓN

Instrumento adecuado para determinar la efectividad del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, diseñado e instalado en el Caserío de Callhuan.

<u>Cerro de Pasco</u> <u>28/03/23</u>	<u>04014385</u>		<u>969532469</u>
Lugar y fecha	N° DNI	Firma del Experto	N° Celular



### 3. Matriz de consistencia de la investigación

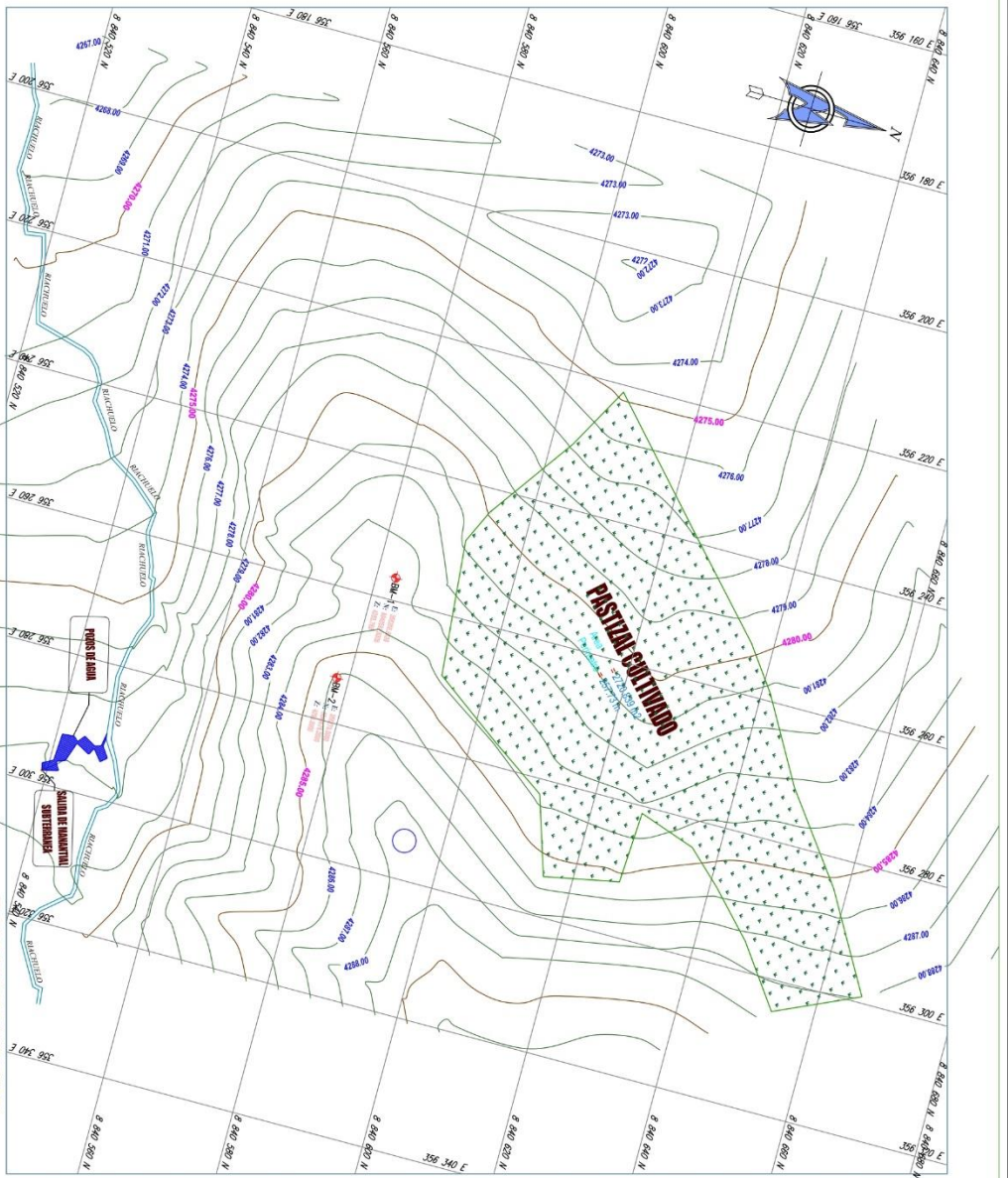
MATRIZ DE CONSISTENCIA								
TITULO		PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES Y=f(X)	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA
EFECTIVIDAD DEL SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE ARIETE HIDRÁULICO, EN LA IMPULSIÓN DE AGUA PARA RIEGO, EN EL CASERÍO DE CALLHUÁN, DISTRITO DE SANTA ANA DE TUSI, PROVINCIA DANIEL ALCIDES CARRIÓN Y REGIÓN PASCO, 2021	PRINCIPAL	¿Cuál es la efectividad del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, en la impulsión de agua para riego, en el Caserío de Callhuan, Distrito de Santa Ana de Tusi, Provincia Daniel Alcides Carrión y región Pasco?	Determinar la efectividad del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, en la impulsión de agua para riego, en el Caserío de Callhuan, Distrito de Santa Ana de Tusi, Provincia Daniel Alcides Carrión y región Pasco.	La efectividad del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en la zona rural del caserío de Callhuán es la más optima según las condiciones analizadas, puesto que la eficiencia del equipo es de 49.234 %, logrando elevar 2.82 % más que el caudal de descarga requerido. Desde el punto de vista económico es rentable con respecto a una motobomba a combustible, ya que no presenta mayores gastos para su operatividad y mantenimiento, además el equipo presenta la virtud de ser ecológico. Por lo tanto, es más conveniente el uso y aplicación del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico.	VARIABLE INDEPENDIENTE (X) Sistema de bombeo mediante ariete hidráulico	Diseño del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Volumen de Fuente de alimentación (m3)</li> <li>2. diámetro de Tubería de alimentación (mm)</li> <li>3. diámetro de Tubería de descarga (mm)</li> <li>4. volumen del tanque de aire (m)</li> <li>5. diámetro de válvula de impulso (mm)</li> <li>6. diámetro de valvula de descarga (mm)</li> <li>7. volumen de tanque de almacenamiento (m3)</li> </ol>	EXPERIMENTAL
	ESPECIFICOS	¿Cuál es la demanda y oferta del recurso hídrico para el 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?	Determinar la demanda y oferta del recurso hídrico para el 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.	Según se realizó el aforo volumétrico para hallar el caudal que oferta el manantial subterráneo en el mes de mayor estiaje (mes de agosto), se tuvo un valor de 0.293 l/s, y el caudal de descarga demandado por el Rye Grass cultivado en 0.217 hectáreas es de 0.177 l/s. Cabe señalar que la bomba de ariete hidráulico instalado en campo, requiere un caudal de alimentación de 1.109 l/s, siendo mayor a la oferta hídrica.		Especificaciones Técnicas del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tipos de Accesorios (roscados a presión)</li> <li>2. Tipo de material (PVC, F°G°, Bonce)</li> </ol>	
		¿Cuáles son los parámetros de diseño y operación 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?	Determinar los parámetros de diseño y operación 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.	Los parámetros de diseño y operación del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico son las siguientes: Diámetro del cuerpo de la bomba 2", altura de alimentación (Ha) = 5.70 m, altura de descarga (Hd) = 17.10 m, caudal de alimentación (Q) = 1.109 l/s y el caudal de descarga (q) = 0.182 l/s.	VARIABLE DEPENDIENTE (Y) EFECTIVIDAD EN LA IMPULSION DE AGUA PARA RIEGO	Eficiencia	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Rendimiento (%)</li> </ol>	

<p>EFFECTIVIDAD 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</p>	<p>ESPECIFICOS</p>	<p>¿Cómo influye la velocidad del ciclo del golpe de ariete en la eficiencia del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, en el Caserío de Callhuán, Distrito de Santa Ana de Tusi, Provincia Daniel Alcides Carrión y región Pasco?</p>	<p>Determinar la influencia de la velocidad del ciclo del golpe de ariete en la eficiencia del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, en el Caserío de Callhuán, Distrito de Santa Ana de Tusi, Provincia Daniel Alcides Carrión y región Pasco.</p>	<p>De acuerdo al análisis de los datos de pruebas en campo, la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico disminuye cuando se tiene menor cantidad de número de golpe de ariete en un minuto, ya que, al tener un ciclo lento de golpes de ariete, la válvula de impulso demora en cerrarse, obteniendo mayor cantidad de caudal desechado y por ende requiere mayor cantidad de caudal de alimentación.</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE (Y) EFFECTIVIDAD EN LA IMPULSION DE AGUA PARA RIEGO</p>	<p>Eficacia</p>	<p>1. Relación Costo - Beneficio (S/.) 2. Caudal de descarga (l/s) 3. Impacto ambiental (kg CO2/mes)</p>	<p>EXPERIMENTAL</p>
		<p>¿Cuál es la configuración efectiva de la bomba de 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?</p>	<p>Determinar la configuración efectiva de la bomba de 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.</p>	<p>La configuración efectiva de la bomba de ariete para la impulsión de agua para riego, en el Caserío de Callhuán, Distrito de Santa Ana de Tusi, Provincia Daniel Alcides Carrión y región Pasco, es a través del ensamblaje de accesorios y materiales que se encuentran al alcance del poblador rural, y además, se obtuvo la óptima velocidad de número de golpes de ariete por minuto con peso de 393.5 gr. del obturador de la válvula de impulsión, lográndose así obtener 27 golpes de ariete en un minuto. Con esta configuración se alcanzó elevar un caudal de descarga (q) de 0.182 l/s, lo cual cubre al caudal de descarga requerido.</p>				
		<p>¿Cuál es el costo – beneficio 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?</p>	<p>Analizar el costo – beneficio 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.</p>	<p>Si bien es cierto que la inversión inicial para la instalación de la bomba de ariete hidráulico es mayor que al adquirir una motobomba a combustible, lo cual el precio difiere en un monto de S/. 31.20 soles, este monto se recupera antes del primer año según el flujo neto de caja del proyecto, ya que los gastos en combustible y mantenimiento son mayores al usar una motobomba. Del análisis financiero del sistema de bombeo mediante ariete hidráulico, se concluye que la inversión en el proyecto es rentable económicamente en la operación y mantenimiento de acuerdo a la relación Beneficio – Costo (B/C) realizado en diez distintos escenarios, considerando la tasa de interés de descuento más baja que es del 0 % y la mayor de 90%, en todos los escenarios analizados se cumple de que la relación B/C es mayor que 1.</p>				

#### **4. Planos**

# PLANO TOPOGRAFICO

## ESCALA : 1/500



FOTOS DE AERIAL



SALIDA DE MANTANTAL SUBTERRANEO



PASTIZAL CULTIVADO REQUERIR

SALIDA DE MANTANTAL SUBTERRANEO				
PUNTOS	ELEVACION	NORTE	ESTE	DESCRIPCION
MS	4277.89m	8840539.266m	356298.017m	MANTANTAL

TABLA DE PUNTOS DE CONTROL ESTACION-BM's				
PUNTOS	ELEVACION	NORTE	ESTE	DESCRIPCION
01	4283.788	8840582.8305	356256.6439	BM-01
02	4286.0000	8840578.0000	356273.0000	BM-02

LEYENDA		SIMBOLO	
01	CURVAS DE NIVEL A CADA 1.00 m		
02	BENCH MARK		
06	PASTIZAL CULTIVADO		
06	RIACHUELO		
07	SALIDA DE MANTANTAL SUBTERRANEO		
15	NORTE MAGNETICO		
15	CIUDADICULA COORDENADAS		

- NOTAS:**
- 1.- EL DISEÑO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM MGS-84;
  - 2.- EL DATUM MGS-84 ES UN DATUM GEOIDICO;
  - 3.- LA ELDISTANCIAS ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE UN METRO.
  - 4.- LAS DIMENSIONES ESTAN EN METROS, SALVO INDICACION CONTRARIA.



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

INFORMACION DEL SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG) PARA LA SALIDA DE MANTANTAL SUBTERRANEO EN LA COMUNIDAD RURAL DE MANTANTAL

PROYECTO: PLANO TOPOGRAFICO

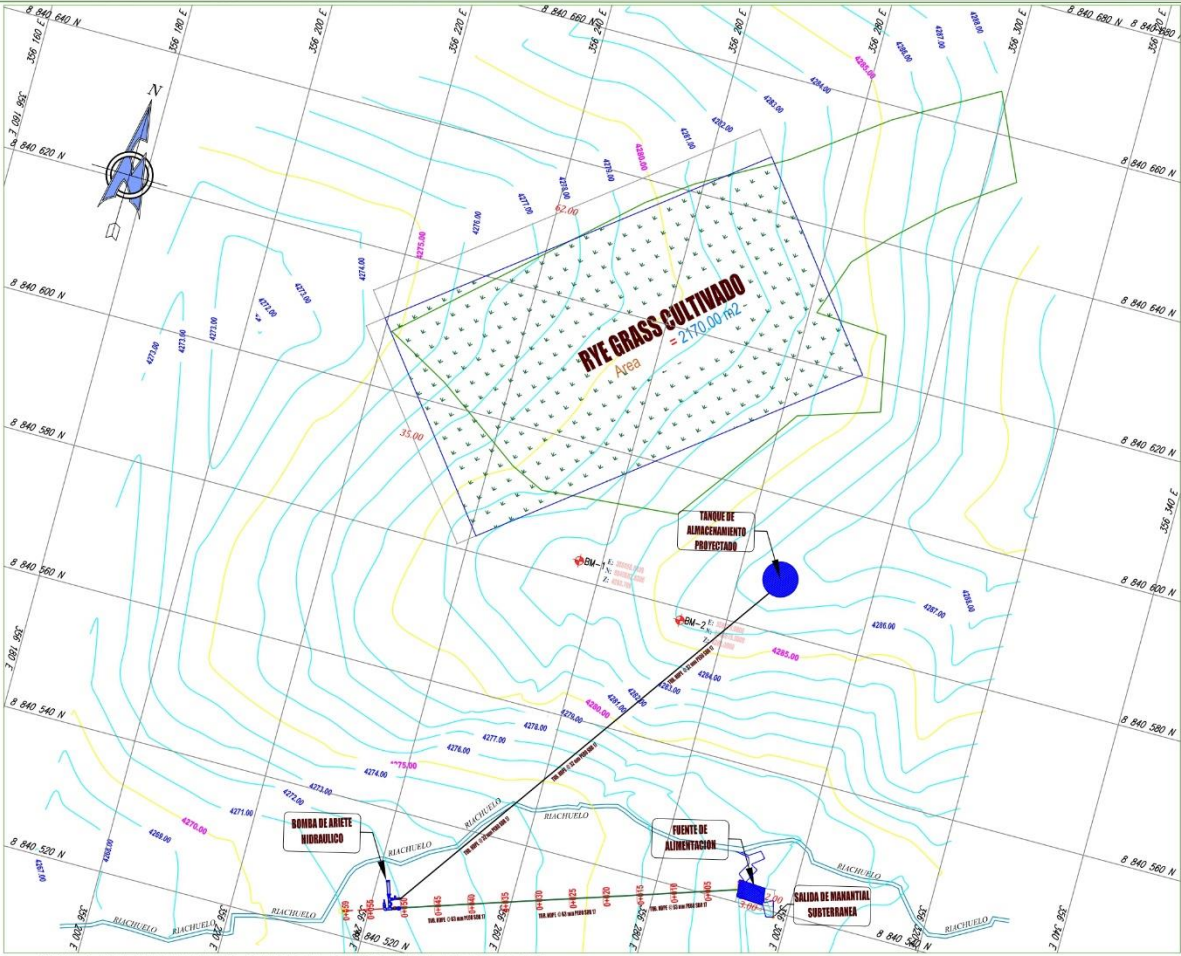
FECHA: 08/01/2023

PROYECTISTA: DANIEL ALCIDES CARRION

PROFESOR: DANIEL ALCIDES CARRION

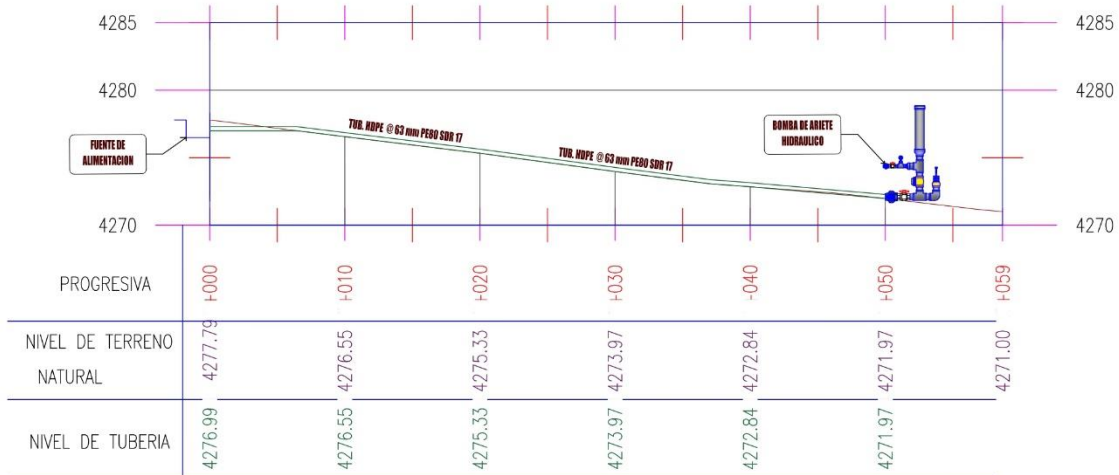
ESCUELA: ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TP-01



PLANO PLANTEAMIENTO GENERAL DE SISTEMA DE BOMBEO  
 ESCALA : 1/500

PERFIL LONGITUDINAL DE LA LINEA DE ALIMENTACION



ESCALA : 1/250

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

UNDAC  
PASCO

OBJ: EFECTIVIDAD DEL SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE ARRIETE HIDRAULICO EN LA IMPLANTACION DE AGUA PARA RIEGO EN EL CASERIO DE CALUMAY, DISTRITO DE SANTA ANA DE TULI, PROVINCIA DANIEL ALCIDES CARRION Y REGION PASCO, 2021

Plan: PASCO

Plan: PLANTEAMIENTO GENERAL DEL SISTEMA DE BOMBEO

Autor: BACH. TORRES ORTEGA, PETHER LINCOLM

Fecha: 16.04

PROI

ESCALA: 1/500

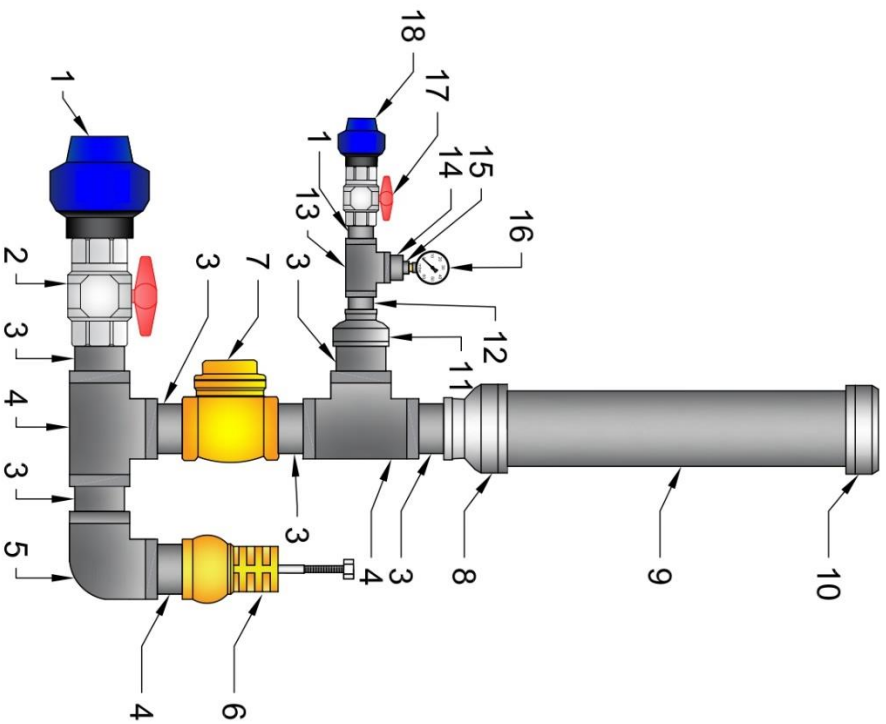
PROFESOR DE INVESTIGACION  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Fecha: Marzo 2023

Asesor: Mg. Luis Villar Requies Cardajal

ESCALA: 1/500



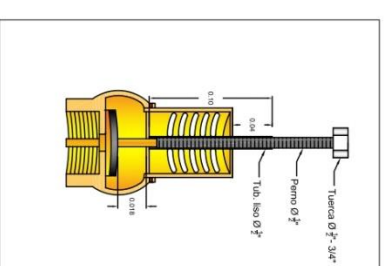


# BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO

## ESCALA: 1/5

### CUADRO DE ACCESORIOS

Nº	DESCRIPCION	CANT.	DIAMETRO
1	ADAPTADOR HDPE R/MACHO	01	63mmx2"
2	VALVULA BOLA DE PVC	01	2"
3	NIPLE DE F.G. DE 2"X2"	07	2"
4	TEE DE F.G.	02	2"
5	CODO 90° DE F.G.	01	2"
6	VALVULA CHECK MODIFICADO C/CANASTILLA BRONCE	01	2"
7	VALVULA CHECK DE BRONCE	01	2"
8	REDUCCION CAMPANA DE F.G. DE 3"X2"	01	3"X2"
9	NIPLE DE F.G. DE 3"X1/4"	01	3"
10	TAPON HEMBRA DE F.G.	01	2"X1"
11	REDUCCION CAMPANA DE F.G. DE 2"X1"	01	2"X1"
12	NIPLE DE F.G. DE 1"X3"	02	1"
13	TEE DE F.G.	01	1"
14	REDUC. BUSHING DE F.G. DE 1"X1/2"	01	1"X1/2"
15	REDUC. BUSHING DE F.G. DE 1/2"X1/4"	01	1/2"X1/4"
16	MANOMETRO DE GLUCERINA 10 BAR	01	1"
17	VALVULA BOLA DE PVC	01	1"
18	ADAPTADOR HDPE R/MACHO	01	32mmx1"



DETALLE DE VALVULA DE IMPULSION MODIFICADO  
ESCALA: 1/25

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

UNDAC  
UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION  
PASCO

PROYECTO: EFECTIVIDAD DEL SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE ARIETE HIDRAULICO EN LA IMPLANTACION DE AGUA PARA RIEGO EN EL CASERIO DE CALAYAL, DISTRITO DE SANTA ANA DE TILSA, PROVINCIA DANIEL ALCIDES CARRION Y REGION PASCO, 2023.

PLANO DE BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO

AUTORE: BACH. TORRES ORTEGA, FETHER LINCOLIN

REVISOR PASCO: MSc. GUSTAVO GONZALEZ  
REVISOR TILSA: DANIELA DE TILSA  
REVISOR PASCO: DANIELA DE TILSA

FECHA: Marzo 2023

ASESOR: Mg. Luis Villar Requius Carabalu

ESCUELA INGENIERIA CIVIL

ESCUELA INGENIERIA CIVIL

ESCUELA INGENIERIA CIVIL

BA-01