

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**PROPUESTA DE UNA BOMBA DE ARIETE PARA EL RIEGO DE
CULTIVO DE MAÍZ EN EL VALLE DEL RÍO PATIVILCA**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

Bach. RIMARI VILCA, EDSON MARTIN

Bach. VILLALOBOS ROMERO, GIANCARLOS

ASESOR: DR. ING. LÓPEZ SILVA, MAIQUEL

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, abuelos, hermanos y amigos quienes me apoyaron y aconsejaron a lo largo de mi vida universitaria.

Edson Martin Rimari Vilca

Dedico esta tesis a mis padres y hermano, quienes han sido la guía en el camino de este punto de mi carrera, que gracias a su dedicación y palabras de aliento forjaron en mi temple y perseverancia.

Giancarlos Villalobos Romero

AGRADECIMIENTO

A Dios, nuestras familias, seres queridos, compañeros, nuestro asesor Dr. Ing. Maiquel López Silva y nuestra metodóloga Dra. Ing. Dayma Sadami Carmenates Hernández, que estuvieron en todo momento apoyándonos y aconsejándonos en la elaboración de nuestra investigación

Edson Rimari y Giancarlos Villalobos

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos	1
1.1.1 Problema General.....	3
1.1.2 Problemas Específicos.....	3
1.2 Objetivo General y Específico	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Delimitación de la investigación: temporal espacial y temática	4
1.3.1 Delimitación temporal.....	4
1.3.2 Delimitación espacial	4
1.3.3 Delimitación de la Temática	5
1.4 Justificación e Importancia	5
1.4.1 Justificación.....	5
1.4.2 Importancia.....	6
1.4.3 Limitaciones de estudio.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1 Antecedentes del estudio de investigación.....	9
2.1.1 Investigaciones Internacionales	9
2.1.2 Investigaciones Nacionales	11
2.2 Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio	14
2.2.1 Topografía	14
2.2.2 Hidráulica Fluvial.....	22
2.2.3 Demanda hídrica del cultivo de maíz.....	29
2.2.4 Infiltración.....	31
2.2.5 Clasificación de bombas	45
2.2.6 Bomba de ariete.....	47
2.2.6.1 Definición de bomba de ariete.....	47

2.2.6.2	Características de la bomba de ariete	48
2.2.6.3	Golpe de ariete	49
2.2.6.4	Reseña histórica	61
2.2.6.5	Funcionamiento de la bomba de ariete	63
2.2.6.6	Configuración del ariete hidráulico y sus componentes	65
2.2.6.7	Aspectos técnicos de la bomba de ariete	88
2.2.6.8	Mantenimiento de la bomba de ariete.....	89
2.2.7	Hidráulica de canales	90
2.3	Definición de términos básicos	101
 CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS		104
3.1	Hipótesis	104
3.1.1	Hipótesis Principal	104
3.1.2	Hipótesis Secundarias	104
3.2	Variables	104
3.2.1	Definición conceptual de las variables.....	105
3.2.2	Operalización de las variables.....	105
 CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		106
4.1	Tipo y nivel	106
4.2	Diseño de Investigación	106
4.3	Población y muestra	107
4.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	108
4.4.1	Tipos de técnicas	108
4.4.2	Instrumentos	108
4.4.3	Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos	109
4.4.4	Procedimientos para la recolección de datos.....	109
4.5	Técnicas para el procesamiento y análisis de la información	110
 CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		111
5.1	Topografía y suelo de la zona de estudio	111
5.2	Parámetros para el diseño de la Bomba de ariete.....	135
5.2.1	Cálculos de diseño.....	135

5.2.2 Diseño del Cuerpo del Ariete	148
5.2.3 Cálculo de fenómenos físicos involucrados en la bomba de ariete.....	158
5.2.4 Cálculo de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo del ariete	159
5.2.5 Diseño de la válvula de aire	163
5.2.6 Diseño de la cámara de aire.....	164
5.2.7 Tabla resumen	168
5.2.8 Esquema de la bomba de ariete	170
5.2.9 Presupuesto de la bomba de ariete	171
5.3 Diseño del canal del riego	173
5.4 Riego de cultivo	175
5.5 Análisis de resultados.....	178
5.6 Contrastación de Hipótesis	182
CONCLUSIONES	184
RECOMENDACIONES	185
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	186
ANEXOS.....	190
Anexo 1: Cronograma de actividades	190
Anexo 2: Presupuesto	191
Anexo 3: Matriz de Consistencia.....	192
Anexo 4: Matriz de Operacionalización	193
Anexo 5: Plano de Ubicación	194
Anexo 6: Plano de Planta.....	195
Anexo 7: Plano de Perfil	196

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de C_e , coeficiente de permeabilidad	35
Tabla 2. Valores de K , coeficiente de permeabilidad	36
Tabla 3. Valores de C_d , coeficiente de permeabilidad	37
Tabla 4. Valores de C_p	38
Tabla 5. Valores de C_m , coeficiente de permeabilidad	39
Tabla 6. Valores de $k(\text{cm/s})$	43
Tabla 7. Comparación de la bomba de ariete con otras bombas.....	49
Tabla 8. Valores de K y a en función al material de la tubería.....	57
Tabla 9. Naturaleza del flujo en función al número de Reynolds.....	71
Tabla 10. Rugosidad en función al tipo de material	71
Tabla 11. Valores de n , coeficiente de Manning	94
Tabla 12. Velocidades máximas recomendadas en función a las características del suelo	96
Tabla 13. Pendientes máximas en función al tipo de suelo	97
Tabla 14 Talud en función al tipo de material	97
Tabla 15. Ancho de base en función al caudal	98
Tabla 16. Borde libre en función al caudal	100
Tabla 17. Borde libre en función al ancho de solera	100
Tabla 18. Mediciones en campo del Punto 1	113
Tabla 19. Mediciones en campo del Punto 2	114
Tabla 20. Mediciones en campo del Punto 3	114
Tabla 21. Mediciones en campo del Punto 4	115
Tabla 22. Mediciones en campo del Punto 5	116
Tabla 23. Mediciones en campo del Punto 6	117
Tabla 24. Mediciones en campo del Punto 7	117
Tabla 25. Mediciones en campo del Punto 8	118
Tabla 26. Mediciones en campo del Punto 9	119
Tabla 27. Mediciones en campo del Punto 10	119
Tabla 28. Mediciones en campo del Punto 11	120
Tabla 29. Mediciones en campo del Punto 12	121
Tabla 30. Mediciones en campo del Punto 13	122
Tabla 31. Mediciones en campo del Punto 14	122

Tabla 32. Mediciones en campo del Punto 15	123
Tabla 33. Mediciones en campo del Punto 16	124
Tabla 34. Promedio de la toma de datos	124
Tabla 35. Datos obtenidos en campo	133
Tabla 36. Datos obtenidos en campo	134
Tabla 37. Datos del Vertedero	137
Tabla 38. Mediciones obtenidas en campo	138
Tabla 39. Datos del recorrido de A hacia B.....	140
Tabla 40. Mediciones obtenidas en campo	141
Tabla 41. Datos medidos en campo	141
Tabla 42. Coeficiente de fricción en codos.....	152
Tabla 43. Rendimiento energético	157
Tabla 44. Presión máxima con respecto al número de golpes por minuto	166
Tabla 45. Comparación de diámetros de suministro y entrega.....	168
Tabla 46. Variación de caudales respecto a la altura de entrega	169
Tabla 47. Configuración de la propuesta de bomba de ariete.....	171
Tabla 48. Presupuesto de la propuesta de Bomba de Ariete.....	172
Tabla 49. Cronograma de actividades.....	190
Tabla 50. Presupuesto	191
Tabla 51. Matriz de consistencia	192
Tabla 52. Matriz de Operalización de variables	193

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la investigación.....	5
Figura 2. Mapa conceptual sobre la topografía.....	16
Figura 3. Poligonal cerrada.....	17
Figura 4. Poligonal abierta de enlace.....	17
Figura 5. Poligonal abierta de caminamiento.....	17
Figura 6. Teodolito mecánico marca Wild.....	18
Figura 7. Mira de metal.....	19
Figura 8. Trípode de teodolito.....	19
Figura 9. Teodolito electrónico South.....	20
Figura 10. Estación Total SOKKIA.....	21
Figura 11. Dron topográfico.....	22
Figura 12. Aforo por el método volumétrico.....	25
Figura 13. Medidor Parshal.....	25
Figura 14. Vertedero rectangular sin contracciones.....	26
Figura 15. Vertedero rectangular con dos contracciones.....	27
Figura 16. Vertedero triangular.....	27
Figura 17. Vertedero trapezoidal.....	28
Figura 18. Vertedero circular.....	29
Figura 19. Evapotranspiración.....	31
Figura 20. Infiltración en el suelo.....	32
Figura 21. Medición de infiltración por el método de vertederos.....	33
Figura 22. Medición de infiltración por el método de aislar un tramo.....	34
Figura 23. Curva de infiltración, velocidad vs tiempo.....	40
Figura 24. Tubería durante el ensayo.....	41
Figura 25. Clasificación de bombas.....	45
Figura 26. Bomba centrífuga.....	46
Figura 27. Bomba de energía combustible.....	46
Figura 28. Bomba de energía solar.....	47
Figura 29. Bomba de ariete hidráulico.....	48
Figura 30. Fenómeno del golpe de ariete.....	50
Figura 31. Onda de presión en el cierre instantáneo de una válvula.....	51
Figura 32. Tubería sin perturbación.....	52

Figura 33. Cierre instantáneo de la válvula	52
Figura 34. Propagación de la onda de presión	53
Figura 35. Llegada de la sobrepresión al embalse	53
Figura 36. Parte izquierda de la tubería contraída	54
Figura 37. Tubería con diámetro normal y fluido en dirección al embalse	54
Figura 38. Tubería con depresión en la parte derecha	54
Figura 39. Toda la tubería en depresión	55
Figura 40. Tubería con la parte izquierda en movimiento y derecha en reposo	55
Figura 41. Fluido en dirección al embalse y tubería con diámetro normal	56
Figura 42. Válvula de seguridad	60
Figura 43. Calderín	60
Figura 44. Válvula de retención.....	61
Figura 45. Esquema del ariete ideado por John Whitehurst	62
Figura 46. Esquema de ariete ideado por Joseph Montgolfier	63
Figura 47. Funcionamiento de la bomba de ariete	64
Figura 48. Graficas de funcionamiento del ariete hidráulico.....	65
Figura 49. Configuración típica de la bomba de ariete	66
Figura 50. Tipos de válvulas de impulso	75
Figura 51. Válvula de aire simple con pasador	82
Figura 52. Tipos de válvulas de retención	83
Figura 53. Cámara de aire.....	84
Figura 54. Explicación del caudal desechado	87
Figura 55. Pendientes de la línea de energía, piezometrica y fondo del canal	93
Figura 56. Elementos geométricos de la sección transversal de un canal	95
Figura 57. Sección transversal de un canal trapezoidal	99
Figura 58. Plano de ubicación geográfica de la zona de estudio	111
Figura 59. Plano de planta de la zona de estudio.....	112
Figura 60. Perfil longitudinal del terreno.....	125
Figura 61. Caracterización del suelo de la zona de estudio	126
Figura 62. Leptosol Lítico	127
Figura 63. Instrumentos utilizados para el ensayo de permeabilidad	128
Figura 64. Zona con recurso hídrico para el riego	129
Figura 65. Zona tentativa para el riego	129

Figura 66. Excavación para el ensayo de permeabilidad.....	130
Figura 67. Colocación del tubo para el ensayo de permeabilidad	131
Figura 68. Llenar el tubo con agua para el ensayo de permeabilidad.....	131
Figura 69. Primera medición y preparación para la segunda medición.....	132
Figura 70. Segunda medición y preparación para la tercera medición.....	132
Figura 71. Última medición y fin del ensayo.....	133
Figura 72. Instrumentos utilizados para el aforo por vertedero.....	136
Figura 73. Colocación del vertedero.....	136
Figura 74. Altura de cresta.....	137
Figura 75. Instrumentos utilizados para el aforo por método del flotador	139
Figura 76. Medición de la distancia recorrida	140
Figura 77. Medición del tiempo de llegada	140
Figura 78. Procedimiento de aforo en H Canales v 3.0	142
Figura 79. Perfil y ubicación de bomba, captación y almacenamiento	143
Figura 80. Sección transversal de la tubería.	145
Figura 81. Sección transversal de la tubería de Entrega.	146
Figura 82. Valores de k para los distintos accesorios	152
Figura 83. Fuerzas aplicadas a la válvula de impulso.....	160
Figura 84. Vista en planta y perfil del pie de la válvula de impulso	161
Figura 85. Vista en planta y perfil de las pesas de 5mm de espesor.....	163
Figura 86. Curva presión máxima en función de los golpes por minuto.....	168
Figura 87. Propuesta de bomba de ariete.....	170
Figura 88. Diseño de canal de riego sección triangular.....	175
Figura 89. Reservorio de almacenamiento de tubería de impulsión.....	176
Figura 90. Curva caudal elevado en función de la carga	179
Figura 91. Curva caudal de suministro en función de la carga.....	180
Figura 92. Curva caudal perdido en función de la carga	180
Figura 93. Curva rendimiento volumétrico en función de la carga	181

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal proponer una bomba de ariete para optimizar la actividad económica en la quebrada del Río Pativilca. Fue de tipo aplicada y nivel descriptivo - explicativo. Se propuso el diseño una bomba de ariete, es de fácil construcción, ya que los materiales se encuentran muy fácilmente en cualquier ferretería, además de ser una bomba auto sostenible. En esta tesis se aprovecha el fenómeno del golpe de ariete utilizando accesorios y válvulas calibradas.

Los principales resultados obtenidos fueron que el terreno tiene una pendiente de 13 %, el suelo es Leptosol lítico y de bajo índice de permeabilidad. Se determinó que las tuberías de suministro y de entrega son de 5,08 cm y 2,54 cm respectivamente, el cuerpo de la bomba es de 5,08 cm y de fierro galvanizado. El caudal de captación de la bomba de ariete fue de 0,520 l/s con una altura de suministro de 2,30 m y alcanzo a elevar un caudal 0,250 l/s a una altura de 4,30 m. Esta bomba funciona a 70 golpes por minuto, una potencia de 0,01347 HP para un rendimiento volumétrico de 48,171 %. El costo de construcción e instalación es de S/. 628,50 y el mantenimiento es sencillo y económico. El canal de riego traslada 2,23 l/s y tiene una sección triangular revestido con polietileno. Con esta bomba de ariete se logra regar 0,015 ha de maíz, en el caso de las hortalizas se irriga 8,120 ha. Se concluye que el diseño de esta bomba de ariete es óptimo para el riego de hortalizas.

Palabras Clave: Hidráulica, Golpe de ariete, Irrigación, Canal, Caudal

ABSTRACT

The main objective of this research was to propose a ram pump to optimize economic activity in the stream of the Pativilca River. It was of an applied type and descriptive - explanatory level. The design of a ram pump was proposed, it is easy to build, since the materials are very easily found in any hardware store, in addition to being a self-sustaining pump. This thesis takes advantage of the water hammer phenomenon using calibrated fittings and valves.

The main results obtained were that the land has a slope of 13%, the soil is lithic Leptosol and has a low permeability index. The supply and delivery pipes were determined to be 5.08 cm and 2.54 cm respectively, the pump body was 5.08 cm and made of galvanized iron. The uptake flow of the ram pump was 0.520 l / s with a supply head of 2.30 m and it managed to raise a flow rate of 0.250 l / s at a head of 4.30 m. This pump operates at 70 strokes per minute, a power of 0.01347 HP for a volumetric efficiency of 48.171%. The construction and installation cost is S /. 628.50 and maintenance is simple and inexpensive. The irrigation canal carries 2.23 l / s and has a triangular section lined with polyethylene. With this ram pump it is possible to irrigate 0.015 ha of corn, in the case of vegetables 8,120 ha are irrigated. It is concluded that the design of this ram pump is optimal for the irrigation of vegetables.

Keywords: Hydraulics, Water Hammer, Irrigation, Canal, Flow

INTRODUCCIÓN

En la quebrada del Río Pativilca se presenta el problema de falta de actividad económica en época de sequía y baja precipitación afectando a los pobladores y a la comunidad agrícola de la zona. La presente tesis ayudará a recuperar zonas agrícolas para así activar la economía y mejorar la calidad de vida de la población.

Para recuperar zonas agrícolas y poder regarlas eficientemente se propone una bomba de ariete y así optimizar la economía de la población. Se realizará esta propuesta caracterizando la topografía y el suelo del área de estudio, obteniendo los parámetros hidráulicos y estructurales de la bomba, diseñando el canal de riego y finalmente obteniendo el área de irrigación que brinda la bomba de ariete.

Respecto a la información no hay limitación alguna, ya que se puede acceder a la información fácilmente y los ensayos realizados son simples y no se necesitó de ningún laboratorio ni buscar permiso alguno.

En el Capítulo I se describe la problemática y se formula los objetivos, importancia, justificación y limitación del estudio.

En el Capítulo II se expone tesis nacionales e internacionales de acuerdo con el tema de investigación; se presenta la estructura teórica que sustenta el estudio y las definiciones de términos básicos.

En el Capítulo III se plantea la hipótesis general y las específicas, así como también se definió conceptualmente las variables dependiente e independiente. Se realiza la operacionalización de variables.

En el Capítulo IV se abarca el tipo, nivel y diseño de la investigación, definiendo a la población y mostrando el estudio y las técnicas e instrumentos usadas para el análisis de datos. Se demuestra la confiabilidad y validez de los procesos de análisis.

En el Capítulo V se expone los resultados y se realiza su análisis, se detalla las características topográficas y de suelo del suelo de estudio, los parámetros hidráulicos y estructurales de la investigación; el modelamiento del canal de riego en el software H CANALES V3.0 y se determina el área de riego. Esto servirá de base para cualquier otro trabajo de investigación y de referencia para futuros proyectos. Finalmente, se plantean conclusiones, recomendaciones y referencia bibliográficas.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos

El Perú en su inmensa extensión dispone de gran variedad de climas, por ello es denominado un país multiclímático. La región de lima posee recursos hídricos; los mismos que se encuentran en lagos, lagunas, ríos y aguas subterráneas; donde las disponibilidades en volumen son significativas. Franzini J. B. y Finnemore E. J. (1999) comparte que estos recursos pueden ser mejor aprovechados si se impulsan a mayores alturas y disfrutar del beneficio de contar con un sistema presurizado tanto para agua potable, como para el riego para así fomentar la agricultura mejorando la calidad de vida de la población.

Los efectos del calentamiento global son muy preocupantes, mientras el crecimiento de la población sigue una tendencia exponencial, la producción de alimentos la sigue pero de forma aritmética, esto traerá a mediano y a largo plazo un déficit en la producción de alimentos, la sobre explotación de los suelos y sobre todo la reducción de la cantidad del recurso hídrico siendo un elemento vital para vivir, es por ello que la humanidad se ve forzada a buscar maneras de mitigar el impacto del cambio climático en nuestras vidas.

Uno de los problemas del cambio climático que ya se sienten en la actualidad son los periodos inusuales de sequías e inundaciones y del aumento de la gradiente térmica entre las estaciones de verano a invierno alrededor del mundo. Salinas Maldonado (2021) nos comparte la situación México frente a la sequía que abrazo al país en abril del 2021 , presentando un situación anormalmente seca en 488 municipios y la presencia de temperaturas de 40 grados en estados principalmente corresponden a regiones normalmente húmedas, como varios sectores de la costa peruana por ejemplo al departamento de lima donde se puede llegar un 100% de humedad, un reflejo de un futuro incierto donde primará la optimización en la producción de alimentos y maneras de obtener al recurso hídrico para saciar la sed la nuestra sociedad.

El cambio de actividades económicas en el transcurso de los años va aumentando, más personas dejan el campo a buscar oportunidades a la ciudad. En tal sentido el proyecto de la bomba de ariete tiene como fin aumentar las oportunidades en el campo generando más empleo.

A pesar del impacto del cambio climático en el mundo, aún no se sabe con certeza cuales son los mecanismos (factores) que originan esto como en el caso del Perú. Nuestro territorio es multi climático y esto genera la presencia de la cordillera de los andes.

El mercado del pueblo tiene bajos ingresos debido a la escasa producción de alimentos esto es debido al bajo flujo de agua de la zona. Los campesinos producen sus cosechas principalmente durante la temporada de lluvias. Por eso se realizará esta solución para mejorar la alimentación de las personas y la economía de los productores.

En época de sequía lo que hacen los productores con lo que generan ventas es con la producción de trigo, ya que esto es una producción estacionaria y consume poco recurso hídrico. Lo que requiere más consumo de agua es la palta, algodón, caña de azúcar; siendo este último el que más se produce en el valle del río Pativilca. Este problema está sucediendo en el valle del río Pativilca.

MINEM (1998) sobre la cuenca del rio Pativilca afirma:

“La cuenca del río Pativilca, pertenece a la vertiente del Pacífico y drena un área total de 4,837km². Políticamente, se localiza en los departamentos de Ancash y Lima, comprendiendo las provincias de Recuay y Bolognesi en el Departamento de Ancash y Cajatambo y Barranca en el Departamento de Lima. Altitudinalmente, se extiende desde el nivel del mar hasta la línea de cumbres de la Cordillera Occidental de los Andes, cuyos puntos más elevados están sobre los 4000 m.s.n.m.” (p.6)

La bomba de ariete, también conocida como ariete hidráulico o *hydram* (*hidraulic ram*), inventada en 1775 por John Whitehurst y patentado por Joseph Montgolfier en 1796. Campaña y Guamán (2011) en su tesis para optar el título de ingeniero mecánico definen a la bomba de ariete como un sistema de impulsión que se caracteriza por aprovechar la energía potencial de un salto o desnivel de agua para elevar parte de su caudal a una altura superior, sin necesidad de energía eléctrica ni fósil.

Peralta Surco, H. (2015) sobre el uso de bombas de ariete en el Perú comenta lo siguiente:

“En el Perú no se cuenta con un registro de funcionamiento de los sistemas de ariete hidráulicos por lo que se ve la necesidad de elaborar una base de datos de cada uno

de los modelos existentes para que personas interesadas en el uso de dicha tecnología, tales como proveedores, profesionales, e incluso estudiantes de carreras afines a la ingeniería agrícola lleguen a obtener información de las características de operación de dichos modelos a evaluar y en un periodo futuro determinar la posibilidad de realizar mejoras a estos equipos en su estructura con recursos de nuestra zona.” (p.9)

La bomba de ariete es de bajo costo, no usa energía fósil ni eléctrica. esta solución ayudará a los pobladores de la zona. Esta bomba puede ser la solución a la falta de agua de los campesinos, de los ganaderos y de la población rural, que la utilizan para múltiples necesidades siendo la más importante la preservación de la vida humana. En la zona no existen proyectos de parte del estado que puedan abastecer a esta zona puntual de riesgo y sobre la cual no existen investigaciones suficientes a la fecha.

1.1.1 Problema General

¿Cuál es la propuesta de bomba de ariete para optimizar el riego de cultivo de maíz en el valle del río Pativilca?

1.1.2 Problemas Específicos

- a) ¿Cuáles serán las características de la topografía y del suelo del área de estudio?
- b) ¿Cuáles serán los parámetros hidráulicos y estructurales para el diseño de la bomba de ariete?
- c) ¿Cuáles serán las dimensiones óptimas del canal de riego para el cultivo de maíz?
- d) ¿Cuál será el área de riego para el cultivo de maíz?

1.2 Objetivo General y Específico

1.2.1 Objetivo General

Proponer una bomba de ariete para el riego de cultivo de maíz en el valle del río Pativilca.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar la topografía y el suelo del área de estudio.

- b) Determinar los parámetros hidráulicos y estructurales para el diseño de la bomba de ariete.
- c) Dimensionar el canal de riego para el cultivo de maíz.
- d) Proponer el área de riego en función de la bomba de ariete para el cultivo de maíz.

1.3 Delimitación de la investigación: temporal espacial y temática

1.3.1 Delimitación temporal

El desarrollo de esta tesis se llevará a cabo en los meses de mayo hasta Diciembre del año 2021

1.3.2 Delimitación espacial

El proyecto tiene aplicación práctica en:

- Departamento: Lima
- Distrito: Pativilca
- Lugar Específico: Quebrada del Río Pativilca

Esta ubicación corresponde al sistema de coordenadas UTM y es la siguiente:

224819.00 m E; 8822988.00 m S Zona 18 L.

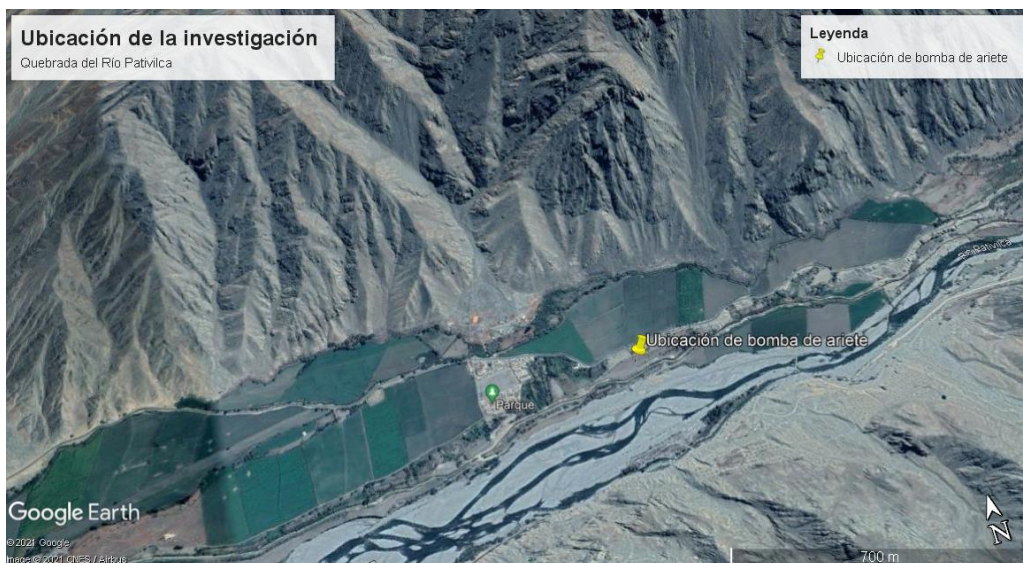


Figura 1. Ubicación de la investigación

Fuente: Elaboración propia usando el software Google Earth Pro

1.3.3 Delimitación de la Temática

La delimitación temática corresponde al diseño de una bomba de ariete para saber cuál es la más adecuada para satisfacer la necesidad hídrica del cultivo de maíz. La cual se generan en las épocas de sequía de la quebrada del río Pativilca.

1.4 Justificación e Importancia

1.4.1 Justificación

Justificación práctica

Al terminar esta investigación se entregará a los ganaderos, comunidad agrícola y comunidad rural una bomba con las dimensiones adecuadas para regar un área aproximada de 1ha establecida de cultivo de maíz. Además, se les brindará un instructivo manual donde indica cómo se debe dar mantenimiento y, que hacer en caso de que la bomba deje de funcionar; y como replicarla, especificando el diámetro de tubería relacionado con la altura de elevación de agua correspondiente de la bomba de ariete.

Para esta investigación se utilizarán los softwares tales como: Autocad Civil 3D, HCANALES V 3.0 y Google Earth Pro. Se tomarán los datos necesarios para el diseño de una bomba de ariete y modelamiento del canal para el riego de maíz en el valle del río Pativilca.

Justificación social

Al estar diseñada para abastecer de riego a 1 hectárea (equivalente a 1 parcela), beneficiará a una familia de 4 miembros teniendo en cuenta como media, que una familia es dueña de una parcela, mejorando sus condiciones de trabajo y la calidad de vida, sin olvidar que la bomba de ariete tiene la capacidad de llevar el recurso hídrico sobre el nivel de riego. Esta ventaja genera un equilibrio en los recursos hídricos, por consiguiente, la inversión de la comunidad puede ser aprovechada en más proyectos debido a que llega a zonas puntuales. Al ser de

bajo costo el proyecto puede llegar a más familias que pueden replicar este diseño mejorando así las condiciones de vida de la comunidad.

La perspectiva social ahora tiene un nuevo rumbo, debido al abuso que se hace de los recursos naturales que no son renovables y el daño al medio ambiente, la sociedad ha tomado conciencia de esta situación y se están empezando a utilizar fuentes de energías que no contribuyan al deterioro del planeta.

Justificación ambiental

La bomba de ariete tiene el beneficio de tener el uso sostenido de los recursos hídricos, aprovechando dos tipos de energía, una de ellas es la energía potencial gravitatoria y por otra parte la energía cinética, estas dos energías serán el combustible para el funcionamiento del proyecto en contraste a la bomba centrífuga que tienen un mayor rendimiento, pero son mucho más costosas, contaminantes y requiriendo un mayor mantenimiento. En cambio, este proyecto tiene un aporte de cero contaminaciones en su funcionamiento.

Es por ello por lo que en los últimos años ha habido un gran interés por los proyectos de energía renovable, teniendo en cuenta el siguiente criterio en la que muy aparte su nivel de contaminación y su impacto en el ambiente durante su funcionamiento sea cero, también se considera el precio del petróleo y de la electricidad han provocado un desuso de los sistemas de riego. Oti (2017) refiere que una gran cantidad de países incluido Perú carecen de fuentes hídricas para realizar sus necesidades básicas y no cuentan con mucha economía. Esta solución de construir una bomba de ariete es muy apropiada, ya que esta no necesita energía eléctrica ni combustible y esto hace que su valor económico sea muy bajo siendo una solución prácticamente auto sostenible, ya que es de fácil mantenimiento y esto resulta muy económico ante los distintos problemas que genera la carencia y distribución del recurso hídrico.

1.4.2 Importancia

Ante la problemática del cambio climático debido al calentamiento global que afecta directamente a la oferta existente de agua, haciendo que el clima sea muy cambiante con precipitaciones extensas y tiempo de sequía. Todo esto afecta a las reservas naturales de agua como: nevados, lagunas, riachuelos y ríos

presentado menos disponibilidad hídrica afectando de manera directa a las actividades domésticas y de agricultura de las personas.

El presente proyecto considera la captación y el almacenamiento del recurso hídrico para su óptima utilización, por la creciente demanda de agua existente en el Perú, para la cual se diseñará una bomba de ariete hidráulico con el fin de captar agua desde una fuente natural o creada como: manante, riachuelo, ríos y canales y mediante este sistema llevarlo por un desnivel hacia un reservorio o tanque elevado para su almacenamiento y distribuir el recurso hídrico mediante un canal para el riego de maíz.

La bomba de ariete es una bomba hidráulica que no necesita una fuente de combustible no renovable o el uso de la energía eléctrica para llevar a cabo su funcionamiento, haciendo que este tipo de bomba hidráulica sea económicamente viable aprovechando la conservación de energía específicamente de la energía cinética y la potencial gravitatoria. Además, que gracias a su bajo mantenimiento hace que esta propuesta, sea una gran solución para los pueblos alejados donde el estado no puede apoyar con proyectos hídricos debido a su costo y su difícil acceso.

1.4.3 Limitaciones de estudio

Limitación teórica

Existen diversas investigaciones acerca de la bomba de ariete, pero la gran mayoría no está en dirección a la ingeniería civil, si no a otras carreras universitarias, teniendo en cuenta que la dirección de esta investigación está en el diseño de la bomba de ariete y el rendimiento hídrico del maíz.

Limitación metodológica

Dada la dificultad de conseguir la topografía del terreno de estudio se optó por obtener información del satélite Bing, extensión del Autocad civil 3d, para elaborar el plano de ubicación, ante la ausencia de información catastral correcta, pues el perfil fue elaborado con un levantamiento topográfico con manguera y distanciómetro laser

Limitación de gestión

Dada la dificultad del transporte ya que la distancia que está ubicado el lugar de estudio de la bomba de ariete se encuentra a 240 km al sur de Chimbote y 189 km al norte de Lima, siendo estos los lugares de residencia.

Limitación del entorno

Dada la coyuntura actual, y la crisis mundial por la que la humanidad está pasando con la presencia del Virus SARS-COV2 y sus nuevas variantes, se dificulta la visita frecuente a la zona, teniendo en cuenta los siguientes criterios que la sociedad ha optado. Las disposiciones gubernamentales en la lucha de este virus que es el horario de toque de queda, la investigación de la bomba de ariete no está considerada como una actividad primordial para obtener un pase laboral, esto limita mucho a poder transportarse a esta provincia. En caso de llegar al lugar de estudio por medio de bus interprovincial este medio de transporte solicita una prueba negativa del Virus SARS-COV2, de una antigüedad no mayor a 3 días.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio de investigación

2.1.1 Investigaciones Internacionales

Fatahi-alkouhi et al., (2015). En la conferencia IAHR (Asociación Internacional de Ingeniería e Investigación Hidroambiental) “Determine The Efficiency of Hydraulic Ram-Pumps” en Holanda. Indicaron que la construcción de sistemas de suministro de agua en zonas rurales escasamente pobladas o rurales para el consumo, la agricultura y la cría de animales, son costosas y poco viables. Las bombas de ariete se utilizan para conducir agua a un desnivel más alto durante más de 200 años. Los objetivos de la investigación fueron la introducción de la bomba de ariete para superar los problemas del aprovisionamiento de agua en las zonas desfavorecidas de los países subdesarrollados y desarrollar una ecuación utilizando datos experimentales para determinar la vigencia de la bomba de ariete. Según los resultados, la ecuación propuesta es mejor que la de modelo para estimar la eficiencia de la bomba de ariete. Además, concluyen que el ariete hidráulico es un dispositivo sencillo y barato para el suministro de agua a las zonas rurales y desfavorecidas de los países del tercer mundo. Esta conferencia contribuye a comprender la importancia de la bomba de ariete para superar los problemas del aprovisionamiento de agua en las zonas desfavorables, tal como es el caso de esta investigación. Este artículo indica que se centró más en una ecuación para generar la estimación a partir de los modelo numéricos y una red neuronal, ejecutando más predicciones que cantidad de ensayos con diferentes diámetros, en su conclusión detalla que hay una gran diferencia en los ensayos experimentales de gran caudal con el modelo numérico, pero puede ser aplicado en las mediciones experimentales, además aparte de presentar un modelo numérico no detalla las modificaciones que puede tener el diseño general de construcción de la bomba de ariete para aumentar su eficiencia mientras analiza los resultados finales sin hondar en mejoras del diseño típico.

Rengifo y Gallego (2016). En su tesis para optar el grado de ingenieros mecánicos eléctricos titulado “Diseño y construcción de un sistema de ariete

hidráulico para el aprovechamiento de aguas de lluvias” en la universidad Tecnológica de Pereira en Colombia. El objetivo principal fue diseñar y construir un sistema de bombeo mediante la bomba de ariete hidráulico para aprovechar el agua de lluvia determinando su óptimo diseño, además de adquirir los componentes adecuados para el sistema para tener la máxima eficiencia en la fundación kyrios. Se realizaron estudios con el que se determinó el montaje del sistema, así obtuvieron el diseño del sistema de bombeo en función a la capacidad del lugar y buscando la mayor eficiencia posible. Las principales conclusiones fueron que la bomba de ariete permite elevar fluido sin la necesidad de energía como combustibles o energía eléctrica, la construcción de la bomba es simple y de bajo costo y finalmente, el caudal de desperdicio se puede dar uso con varios métodos de riego. El aporte que brinda esta tesis internacional es el aporte teórico para ejecutar un buen diseño de la bomba de ariete para obtener un óptimo desempeño. Se aprecia que esta tesis no ha proporcionado conclusiones relevantes, esta concluye indicando para que sirve una bomba de ariete, sus cálculos de medición de pérdida de caudal no son exacto, indica que el porcentaje de pérdida de caudal es de la mitad, no indica un porcentaje de pérdida exacto, ni tampoco onda a detalle en la sección de los costos o beneficios ya que sus estimaciones son generales.

Camacho y Meza (2017). En su tesis para optar el grado de ingeniero químico titulado “Diseño y construcción de un sistema de bombeo de ariete hidráulico multipulsor a escala de laboratorio” en la Universidad Central de Ecuador. Su objetivo fue diseñar y elaborar un método didáctico de la utilización de bombeo por ariete hidráulico, utilizando como población, a la diversidad de modelos de bombas existentes, y muestra, la fabricación de una bomba de ariete hidráulico multipulsor. Para satisfacer las necesidades didácticas se cumplió un estudio técnico en fases: diseño, simulación, construcción e inicio del sistema. Obteniendo como principales resultados 92.30 golpes por minutos en su fase experimental, 8.22 litros por minuto en lo que respecta al caudal de alimentación y 0.76 litros por minuto referido al caudal de descarga. La principal conclusión fue que se alcanzó la capacidad de diseño propuesta de 5 metros de altura de descarga, además la corroboración de datos experimentales

como la presión y el caudal de descarga diagnosticando un error de desviación de 10% en sus variables con lo experimental. Esta tesis recomienda hacer un estudio técnico de tres fases: diseño, simulación, construcción e inicio del sistema para tener un óptimo resultado. Se aprecia además que la tesis no ha entrado a detalle en los costos, indica que es una bomba económica, pero su estimación presupuestal presenta que los gastos ascienden a 1.200,67 €. No detalla la topografía, y no ha incluido la opción de un filtro en la etapa de captación, recomienda que debe aplicarse, ya que la bomba fue obstruida en varias oportunidades por hojas y ramas presentes en el cauce del río.

2.1.2 Investigaciones Nacionales

Aguilar y Ventura (2017). En su tesis para obtener el título profesional de ingeniero mecánico electricista, titulado “diseño y construcción de un módulo de laboratorio para el estudio experimental del comportamiento de bombas hidráulicas en serie y paralelo” en la Universidad Nacional del Altiplano en Puno. Su objetivo fue diseñar y construir un sistema en donde se hizo un estudio experimental de la bomba de ariete en serie y equivalente para el laboratorio de ingeniería mecánica, teniendo como población las bombas de ariete hidráulico y muestra las bombas en serie y paralelo planteado por los autores. Sus principales resultados fueron curvas donde comparan el caudal (l/m), velocidad (m/s) y altura (m) en sistemas de serie y paralelo. Concluyeron que a partir del planteamiento en el proyecto de investigación lograron construir las bombas para el laboratorio de mecánica y 10 hacer el análisis del estudio experimental. También lograron elaborar seis guías de laboratorio, que les permitió observar el comportamiento de las bombas en serie y paralelo, determinando su excelente funcionamiento tales como se graficaron en dicho proyecto de investigación. Este estudio recomienda realizar diferentes pruebas, ya que permite observar comportamientos de diferentes tipos de bomba y así escoger la óptima. A este estudio le faltó bastante teoría sobre la influencia de la topografía para el uso de bombas.

Aranguri (2018). En su tesis presentada para optar el grado de doctor en ciencias “Efectividad del Sistema de Bombeo con Ariete Hidráulico en la Zona

Rural de La Provincia de San Pablo – Cajamarca”. De la Universidad Nacional de Cajamarca. Su objetivo principal fue determinar la efectividad del sistema de bombeo con ariete hidráulico en la zona rural de la Provincia de San Pablo – Cajamarca. Además de determinar las necesidades de demanda y oferta del recurso hídrico de la zona en estudio, parámetros de diseño y operación del sistema de bombeo con ariete hidráulico, la configuración del sistema de bomba de ariete hidráulico más efectiva para el abastecimiento de agua de la zona en estudio. Los principales resultados fueron que la presión en la tubería de elevación (h), no influye, por lo que la cantidad de agua de alimentación por ciclo (Q_{ciclo}) deberá ser la misma para cualquier altura de elevación (h), y que el caudal de agua elevada (q), disminuye a medida que la altura de elevación es mayor. Sin embargo, el rendimiento es mayor cuanto más alta la altura de elevación, por lo que es más eficiente elevar menos agua a más altura. Además, comprobaron que el tiempo de ciclo disminuye a medida que aumenta la altura de alimentación, ya que el fluido se acelera mucho más rápidamente al haber más presión de alimentación, alcanzando más rápidamente la velocidad necesaria para cerrar la válvula de choque y comenzar un nuevo ciclo. En cuanto al caudal de elevación, aumenta linealmente con la altura de elevación, consiguiendo elevar cada vez una mayor cantidad de agua, sin embargo, a partir de una altura de alimentación mayor que 1,8 metros es cada vez energéticamente menos rentable, ya que ven que el rendimiento parece llegar a un valor máximo a esa altura. Concluye que una de las características que más resalta es la continuidad de trabajar durante todo el día, sin utilizar algún tipo de energía por lo que no hay emisiones de gases al ambiente. Y que desde el punto de vista económico es más rentable en comparación con una motobomba, el VAC de la bomba de ariete hidráulico es de S/. 1521.29 mientras que la motobomba es de S/. 3157.73, siendo la primera alternativa (bomba de ariete hidráulico) la de menor costo. Este estudio contribuye a comprender que la bomba de ariete es una buena alternativa de solución, ya que es económica y también no necesita energía fósil o eléctrica. A esta investigación le falta ahondar en el tema de la topografía y la clasificación de bombas hidráulicas, pero si realizo una breve descripción de los tipos de bombas de ariete y todas sus componentes.

Fernández y Salas (2018). En su tesis para optar el título profesional de ingenieros civiles, titulado “Diseño del sistema de abastecimiento de agua utilizando la bomba de ariete en la localidad Limabamba, Soritor, Moyobamba, 2018” en la Universidad César Vallejo. Su objetivo principal fue proponer el diseño del sistema de abastecimiento de agua para aprovechar el agua potable utilizando la bomba de ariete determinando su diseño y realizando el estudio de la fuente y el planteamiento de componentes del sistema de abasto en la localidad de Moyobamba. Considero como población y muestra el diseño del sistema de abastecimiento de agua utilizando la bomba de ariete en la localidad de Limabamba. Los principales resultados fueron el óptimo diseño de la bomba de ariete en el sistema de abastecimiento, también el estudio de la fuente para el sistema determina que el caudal cubre la demanda para ser captada sobre el estudio de la calidad de agua obtuvo que los límites máximos permisibles de parámetros de agua para el consumo humano son aprobados ya que permite prevenir los factores de riesgo sanitario, así como proteger la salud y bienestar de la población. Concluye que el sistema de abastecimiento de agua utilizando la bomba de ariete es la alternativa para mejorar la salud pública de los pobladores, también que la topografía influye en el diseño de la bomba de ariete. Esta investigación brinda una visión para poder revisar además del óptimo diseño de la bomba, también saber que la topografía influye en el diseño de la bomba de ariete y esta ayuda a mejorar la salud pública. A este estudio le falta bastante teoría sobre la bomba de ariete, el golpe de ariete y tampoco la clasificación de bombas hidráulicas. También se ve escaso de imágenes y no detalla cada parte de la bomba de ariete. Si bien este estudio es para el abastecimiento, le falta el diseño de la red de distribución y sus parámetros.

Gonzales (2020). En su tesis para optar el grado de ingeniero civil titulado “Diseño e instalación de una bomba de ariete hidráulico con partes de material reciclado para la captación y almacenamiento de agua Calango-Cañete”. En la universidad César Vallejo, Trujillo. El objetivo principal fue diseñar, instalar y analizar el comportamiento de una bomba de ariete hidráulico con partes de

material reciclado. Los principales resultados fueron una serie de caudales de abastecimiento, descarga y de desperdicio obtenidos por prueba de cada altura de descarga, esto también determina el número de golpes por minuto, y la eficiencia. Con los datos obtenidos realizar gráficas y con el análisis de resultados obtuvo la bomba óptima. Concluye que a mayor diámetro la bomba tendrá menos golpes por minuto, como también se concluyó que el caudal de desperdicio aumenta a medida que la altura de descarga aumenta. La presión será un factor único a la bomba de ariete, y que ésta también dependerá de los factores a los cuales se someta. El hacer la bomba de ariete con material reciclado hace que su costo sea más económico a diseñar con materiales de PVC entre otros. Esta investigación sugiere que se debe realizar diferentes pruebas, ya que algunos parámetros varían depende la altura de descarga. A esta investigación le faltó hablar un poco sobre la topografía del terreno donde se realizó el estudio y también no consideró la clasificación de bombas para el estudio de la bomba de ariete.

2.2 Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio

2.2.1 Topografía

Montes de Oca (1989) en su libro Topografía señala lo siguiente:

“Es la ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones de los puntos sobre la superficie de la tierra, por medio de medidas según los 3 elementos del espacio. Estos elementos pueden ser: dos distancias y una elevación, o una distancia, una dirección y una elevación.” (p.1)

Se le puede considerar como una de las herramientas básicas de la Ingeniería y la Arquitectura, además de utilizarse en otras en otras profesiones. Se pueden mencionar, dentro de sus aplicaciones, la de proyección de obras, trazar un fraccionamiento, proyectar presas, puentes, canales, carreteras, obras de agua potable y alcantarillado, construcción de vías de comunicación, acueductos, obras subterráneas, etc. (Fuentes Guzmán, 2012). Esta ciencia se puede dividir según las operaciones realizadas para representar un terreno. Fuentes Guzmán (2012) señala que se puede dividir la topografía según las operaciones que se ejecutan para representar el terreno en tres partes:

- Planimetría: Son los procedimientos para proyectar sobre una superficie, sensiblemente plana horizontal, la posición de los puntos del terreno.
- Altimetría: Determina las alturas de los diferentes puntos del terreno con respecto a una superficie de referencia; generalmente correspondiente al nivel medio del mar.
- Agrimensura: Trata de los procedimientos empleados para medir la superficie de los terrenos y para fraccionarlos.

Fuentes Guzmán (2012) señala que la topografía se puede dividir de acuerdo con su calidad de la siguiente manera:

- Precisa: Realizada por medio de triangulaciones o poligonales de precisión. Utilizadas para delimitar las fronteras entre las naciones o límites de estados y trazar ciudades.
- Regulares: Realizadas por medio de poligonales, son levantamientos con tránsito y cinta. Utilizadas para levantar linderos de propiedades, trazo de caminos, vías férreas, canales, ciudades pequeñas, etc.
- Taquimétricos: Donde las distancias se miden a través de procedimientos indirectos. Generalmente es utilizado el tránsito y la estación, se ocupan para trabajos topográficos previos al trazo de vías de comunicación, para trabajos de configuración.
- Expeditivos: Se realiza con equipo portátil poco preciso. Son utilizados para reconocer terreno o en exploraciones militares.

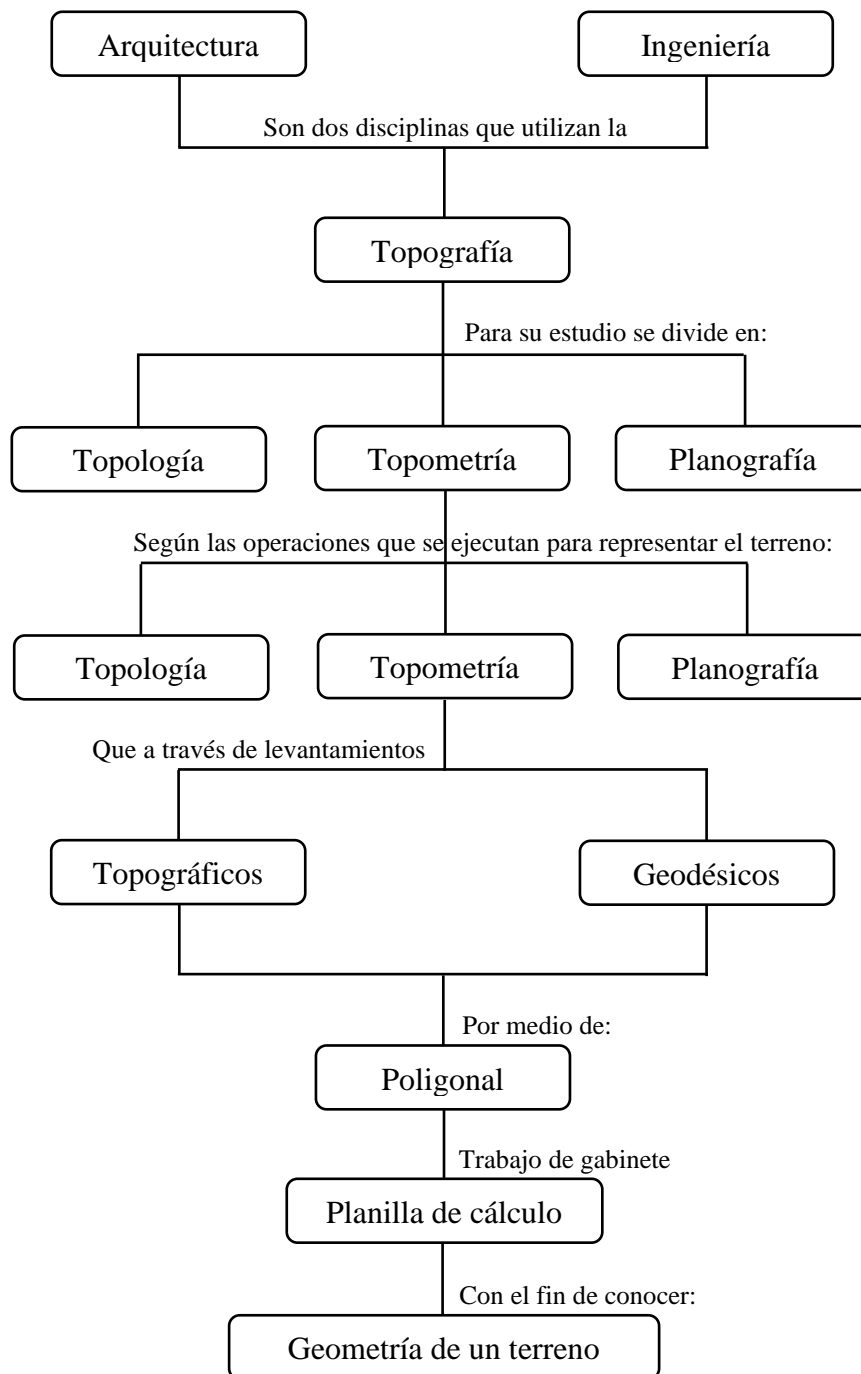


Figura 2. Mapa conceptual sobre la topografía

Fuente: FUENTES GUZMÁN (2012)

En la topografía a un polígono o línea quebrada de tres o más lados se le denomina poligonal. Se tienen dos clases de poligonales, abiertas y cerradas. La poligonal cerrada es aquella cuyos extremos inicial y final coinciden. En

cambio, la poligonal abierta es una línea quebrada de “n” lados, cuyos extremos no coinciden. Estas se dividen en poligonal de enlace, cuyos extremos son conocidos previamente esto quiere decir que pueden comprobarse y poligonal de caminamiento, en esta solo se conoce el punto inicial por este motivo no es posible comprobarse. (Fuentes Guzmán, 2012). Así se representan dichas poligonales

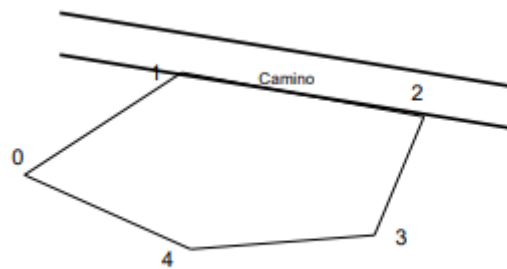


Figura 3. Poligonal cerrada

Fuente: FUENTES GUZMÁN (2012)

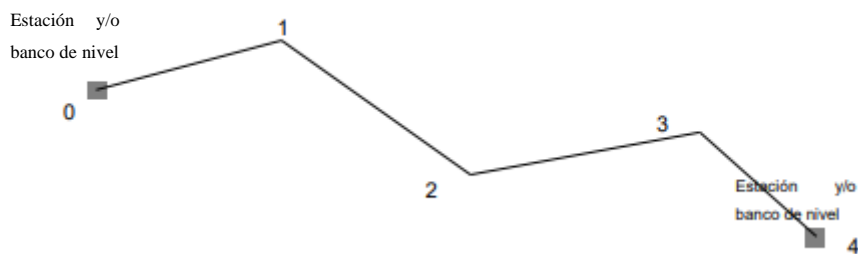


Figura 4. Poligonal abierta de enlace

Fuente: FUENTES GUZMÁN (2012)

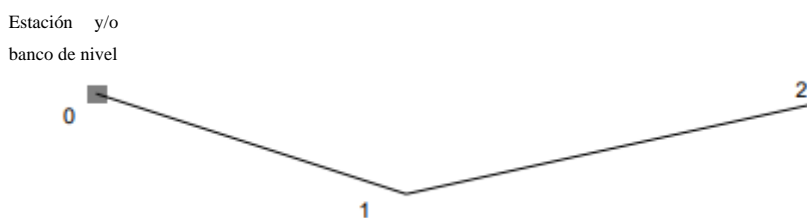


Figura 5. Poligonal abierta de caminamiento

Fuente: FUENTES GUZMÁN (2012)

Dentro de los equipos para realizar topografía se encuentran equipos como el teodolito mecánico, teodolito electrónico, estación total, etc. Para hacer el levantamiento topográfico se utilizará el teodolito mecánico, un trípode y una mira. Fuentes Guzmán (2012) señala que el teodolito mecánico está definido de la siguiente manera:

“El teodolito es un instrumento de precisión que sirve para medir y trazar ángulos horizontales o acimutales, y ángulos verticales o de altura, para lo cual dispone de ambos círculos graduados. El instrumento se emplea también en los trabajos de nivelación, para lo cual lleva un nivel fijo al anteojo. Con el tránsito se puede resolver la mayor parte de las prácticas topográficas y otras relativas a las ramas de la ingeniería y arquitectura, por lo cual, se le denomina instrumento universal.” (p.13).



Figura 6. Teodolito mecánico marca Wild

Fuente: FUENTES GUZMÁN (2012)

Fuentes Guzmán (2012) señala que la mira está definida de la siguiente manera:

“Las miras de metal, madera o fibra de vidrio, son de sección circular, tienen una longitud de 2.5 m y están pintadas de rojo y blanco, en tramos alternos de medio metro. Las balizas se emplean cuando el extremo al que se tiene que llegar con la medida no es visible desde el extremo inicial.” (p.11).



Figura 7. Mira de metal

Fuente: FUENTES GUZMÁN (2012)

Santamaría y Sanz (2005) señala que el trípode topográfico se define de la siguiente manera:

“Para manejar cómodamente los instrumentos durante un trabajo, han de situarse a la altura del operador y además han de quedar fijamente unidos al terreno. Esto normalmente se consigue con los trípodes. Los trípodes pueden ser de madera o metálicos, de patas telescópicas, terminadas en regatones de hierro para su fijación en el terreno, consiguiendo mayor estabilidad. La cabeza del trípode es una plataforma circular o triangular, sobre la que se coloca el instrumento. Esta plataforma tiene un gran orificio en el centro por la que pasa el elemento de unión (tornillo), que se puede desplazar, permitiendo ocupar al instrumento varias posiciones.” (pp. 23-24)



Figura 8. Trípode de teodolito

Fuente: FUENTES GUZMÁN (2012)

Fuentes Guzmán (2012) señala que los teodolitos electrónicos son definidos de la siguiente manera:

“La forma exterior de los equipos electrónicos no ha variado en relación con los teodolitos prismáticos. Un cambio apreciable es que debajo del telescopio hay una ventanilla donde aparecen digitalmente los ángulos horizontales, verticales y datos como las pendientes de las visuales. Los ángulos se dan en grados, minutos y segundos.” (p.23).



Figura 9. Teodolito electrónico South

Fuente: FUENTES GUZMÁN (2012)

Fuentes Guzmán (2012) señala que la estación total es definida de la siguiente manera:

“Las estaciones totales combinan un teodolito y un medidor electrónicos de distancias incluyen además un microprocesador. Con una estación total se puede determinar la longitud y la dirección de cada visual en forma muy exacta y rápida.

Las estaciones totales tienen uso en toda obra civil y arquitectónica. Las operaciones básicas que se realizan son el levantamiento o replanteo de poligonales, cálculo de área, líneas de referencia y altura remota.

El microprocesador sirve para calcular las componentes horizontal y vertical de la distancia, lo mismo que para hallar el azimut de la visual y, con ellos, las coordenadas horizontales y verticales del punto buscado.

Los resultados obtenidos se pueden almacenar o enviar a una impresora para hacer el dibujo.” (p.24).



Figura 10. Estación Total SOKKIA

Fuente: FUENTES GUZMÁN (2012)

Carrillo Gutiérrez (2015) comparte lo sucedido en el Segundo Congreso Iberoamericano de Ingeniería Topográfica, Geodésica y Geomática, que fue organizado por la Asociación de Colegios Mexicanos de Ingenieros Topógrafos en la Universidad de Colima donde se señaló que en la actualidad la topografía se ha visto beneficiado con las nuevas tecnologías, como el uso de escáneres láser y vehículos aéreos no tripulados (drones). Esto permite realizar estudios de la superficie con mayor velocidad y precisión. Ahora es más fácil representar la superficie terrestre, ya que existen equipos que miden millones de puntos en un segundo. También comenta que este congreso es importante para América latina, ya que participaron ponentes de Costa Rica, Argentina y Colombia, así como conferencistas de distintas ciudades de México. Se dieron a conocer la aplicación de sistemas GPS, uso de imágenes de satélite y la implementación de drones para realizar los estudios en el terreno. Este tipo de tecnología se acerca a Google Maps o Google Earth para localizar en el espacio sobre la superficie terrestre.



Figura 11. Dron topográfico

Fuente: CARRILLO GUTIÉRREZ (2015)

2.2.2 Hidráulica Fluvial

Según Cortes Arango (2016) sobre la hidráulica fluvial afirma lo siguiente:

“Las características morfológicas de un río aluvial son afectadas y determinadas por varios parámetros y variables, que se hallan relacionados entre sí. Los principales componentes que determinan la forma de un cauce aluvial son: los caudales líquidos, la pendiente, la carga de sedimentos, la geología y la resistencia al flujo. La forma y tamaño de la sección transversal del cauce dependen, entonces, de la magnitud y frecuencia de los caudales que por él transitan, el grado de resistencia a la erosión de los suelos y las orillas del cauce, la topografía del terreno y el tipo y cantidad de sedimentos presentes, debido que, para llevar a cabo una gestión integral de los ríos, es fundamental comprender su comportamiento hidráulico morfológico.” (p.11)

La geometría hidráulica de un río permite descubrir y entender sus características geométricas, hidráulicas y sedimentológicas. Estas se calculan mediante las relaciones entre el caudal y diferentes parámetros tales como, la profundidad y el ancho del cauce, el área mojada, la velocidad del flujo, el radio hidráulico, el factor de forma, el transporte de sedimentos, la rugosidad, etc. (Cortes Arango, 2016).

Hidrometría

El ICC (2017) sobre la hidrometría afirma: “La Hidrometría se encarga de medir, registrar, calcular y analizar los volúmenes de agua que circulan en una sección transversal de un río, canal o tubería en la unidad de tiempo” (p.2)

La hidrometría permite conocer los datos de caudales y volúmenes en forma oportuna y veraz. La información hidrométrica también permite lograr una mayor eficiencia en la programación, ejecución y evaluación del manejo integral del agua. (Organización Meteorológica Mundial, 2011). Según el ICC (2017) el uso de una información hidrométrica ordenada permite:

- Dotar de información para los pronósticos de la disponibilidad de agua, esta información es importante para elaborar el balance hídrico y planificar la distribución del agua de riego.
- Monitorear la ejecución de la distribución del agua. c. La información hidrométrica también permite determinar la eficiencia en el sistema de riego y de apoyo para la solución de conflictos.

Secciones de control de aforo

Las secciones deben de cumplir ciertas características como las siguientes: El ingreso debe ser de fácil acceso para realizar el estudio, el tramo de aforo debe ser estable para que no suceda sedimentación o erosión del mismo, la velocidad del flujo en el río debe tener valores entre 0.1 a 2.5 m/s, la sección debe de ser homogénea a lo largo del tramo, este tramo no debe ser turbulento y verificar que este sea libre de obstáculos, de la influencia de puentes, presas y cualquier otra construcción que pueda provocar imprecisiones y alteraciones en la medición. (ICC, 2017). Las secciones de aforo se dividen en varios tipos. Según el ICC (2017) se dividen de la siguiente manera:

- Sección de forma natural: Tienen la característica que su área es variable, teniendo el problema que en ella se produce mucha sedimentación o erosión, lo que impide la toma de caudales exactos principalmente en época lluviosa.

- Sección con tablonces: Este tipo de puntos de aforo, se caracteriza por poseer tablonces enterrados en las orillas del río, obteniéndose una figura o forma geométrica regular, donde se puede calcular el área de la sección y donde no se tendrán muchos problemas de sedimentación o erosión como en el caso anterior.
- Sección de concreto: Esta sección de aforo es la más ideal, debido a que nos expresa un área permanente o invariable en el tiempo, pero tiene el inconveniente de su elevado costo y trabajos en el cauce del río, así como su mantenimiento.

Métodos de aforo para un río

Los métodos más prácticos y utilizados son los siguientes:

Método volumétrico

Es un método muy exacto usado para corrientes pequeñas como los riachuelos, para esto el depósito debe ser bastante grande y que se pueda medir su capacidad de forma precisa. Consiste en llenar un depósito impermeable y medir el tiempo en el que se llena en su totalidad, el volumen del depósito ya es conocido (ICC, 2017). Así se obtiene la siguiente fórmula:

$$Q = V * T$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

V = Volumen (m³)

T = Tiempo (s)

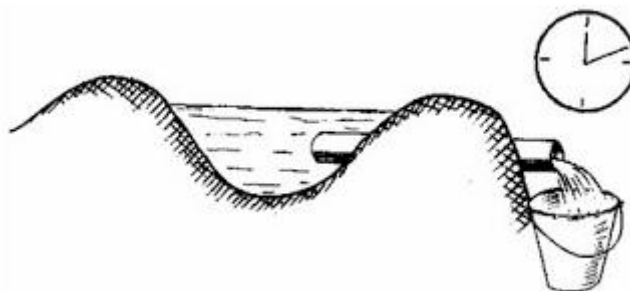


Figura 12. Aforo por el método volumétrico

Fuente: <https://www.cuevadelcivil.com>

Medidor Parshall

En 1920 Ralph Parshall ideó este método, se utiliza en canales y pequeños ríos, recomendado para canales de riego con baja pendiente, en drenes no conviene instalar vertederos que alteren el régimen del escurrimiento (ICC, 2017). Así se obtiene la siguiente fórmula:

$$Q = C * H^n$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

H = Altura de la lámina de agua (m)

C y n = Son coeficientes que dependen de las dimensionales del canal.

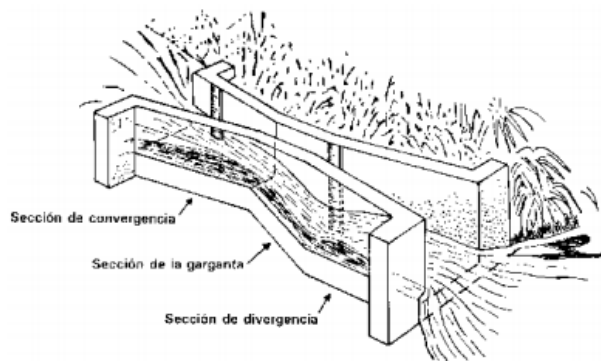


Figura 13. Medidor Parshal

Fuente: <http://www.hidrojing.com>

Método de vertederos y orificios

Consiste en interponer un objeto ante una corriente de manera que se logre una caída de agua que pase a través de una sección predeterminada. Conociendo las características del vertedero, la sección de la lámina de agua que pasa por

ellos y la velocidad teórica de caída. (ICC, 2017). Según el ICC (2017) los diferentes tipos de vertederos son los siguientes:

- Vertedero rectangular sin contracciones: Es sencillo de construir, por eso es el más utilizado.

$$Q = 1.84 * L * H^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

L = Ancho de la cresta (m)

H = Carga del vertedero (m)

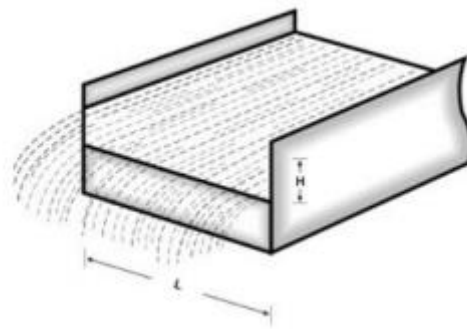


Figura 14. Vertedero rectangular sin contracciones

Fuente: ICC (2017)

- Vertedero rectangular con dos contracciones: También es fácil de construir. (p.6)

$$Q = 1.84(L - 0.2H) * H^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

L = Ancho de la cresta (m)

H = Carga del vertedero (m)

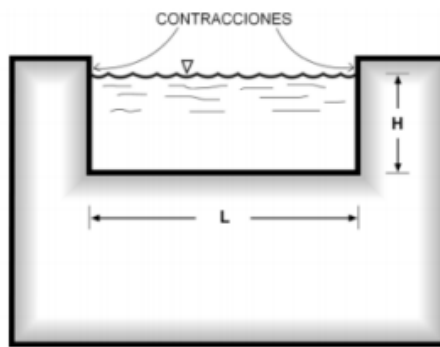


Figura 15. Vertedero rectangular con dos contracciones

Fuente: ICC (2017)

- Vertedero triangular: Este permite obtener medidas más precisas de las alturas de carga (H) que corresponde a caudales reducidos. Se construyen con placas metálicas. En la práctica únicamente se utilizan los que tienen forma isósceles, siendo los más usuales los de 90°. (p.6)

$$Q = 1.4 * H^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

H = Carga del vertedero (m)

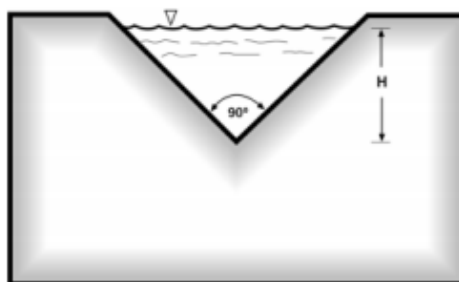


Figura 16. Vertedero triangular

Fuente: ICC (2017)

- Vertedero trapezoidal: Es un vertedero forma trapezoidal en su abertura, también conocido como vertedero Cipolletti. El talud será 1:4. Es difícil de construir, por eso no es el más utilizado. (p.7)

$$Q = 1.859 * L * H^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

L = Ancho de la cresta (m)

H = Carga del vertedero (m)

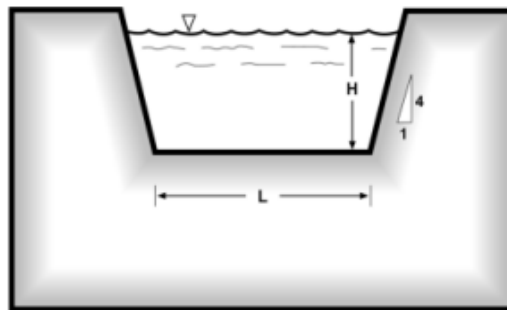


Figura 17. Vertedero trapezoidal

Fuente: ICC (2017)

- Vertedero circular: No es común su uso. Sus ventajas son la facilidad en su construcción y no requerir nivelar su cresta debido a su forma geométrica. (p.7)

$$Q = 1.518 * D^{0.693} * H^{1.807}$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

D = Diámetro del círculo (m)

H = Carga del vertedero (m)

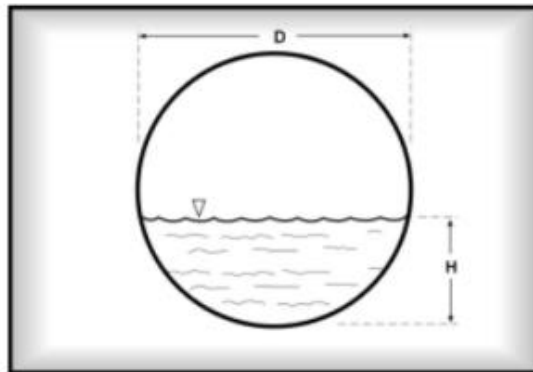


Figura 18. Vertedero circular

Fuente: ICC (2017)

Método de Sección-Velocidad

Se determinan de manera individual la sección transversal del cauce y la velocidad del agua; la sección se determina por medio de un procedimiento topográfico y la velocidad por cualquiera de los métodos con flotador o pendiente hidráulica. Lo difícil de este método es determinar la velocidad media, ya que esta varía en los diferentes puntos de la sección transversal. (ICC, 2017). De esta manera el caudal del río estará calculado por:

$$Q = V * A$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

V = Velocidad media del agua (m/s)

A = Área de la sección (m²)

2.2.3 Demanda hídrica del cultivo de maíz

El manejo eficiente del agua de riego requiere una programación precisa, para lograr esto se requiere el cálculo del requerimiento de agua del cultivo. El riego es la aplicación de agua al suelo en la zona de la raíz de un cultivo hasta capacidad de campo. (Yanangómez, 2018)

La eficiencia del uso del agua está impulsada por tres factores; la cantidad específica de agua aplicada, el momento de la aplicación y la eficiencia del método de riego. La programación del riego tiene como objetivo la maximización del rendimiento, la alta eficiencia del riego y la mejora de la calidad de los cultivos mediante la adición de la cantidad adecuada de agua al cultivo para que la humedad del suelo alcance el nivel deseado (Aguirre, 2015). Según Yanangómez (2018) para el cálculo de las necesidades hídricas de riego se aplica la siguiente expresión:

$$RR = ET_C - P_{ef}$$

Donde:

RR = Requerimientos de riego (mm/mes)

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm/mes)

P_{ef} = Precipitación efectiva (mm/mes)

Evapotranspiración

Cahuana y Yugar (2009) definen evapotranspiración de la siguiente manera:

“La Evapotranspiración es la combinación de dos procesos independientes por los cuales se pierde agua, la evaporación del agua de la superficie del suelo y la transpiración del cultivo, por consiguiente, todos los factores que inciden en la evaporación y en la transpiración, influirán en la evapotranspiración.” (p.94)

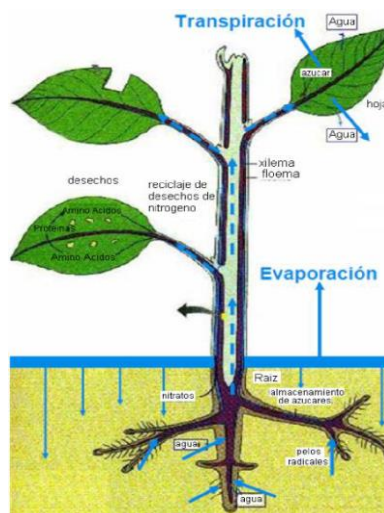


Figura 19. Evapotranspiración

Fuente: CAHUANA & YUGAR (2009)

Según Cahuana y Yugar (2009) menciona los factores que afectan la evapotranspiración, los cuales son:

- Factores climatológicos (c): radiación, temperatura y humedad del aire, velocidad del viento, etc.
- Factores edáficos (s): conductibilidad hídrica, espesor del estrato activo, calor superficial, capacidad hídrica, rugosidad de la superficie, etc.
- Factores de la planta (v): conductibilidad hídrica de los tejidos, estructura de la parte epigea, índice LAI, profundidad y densidad del sistema radical, etc.
- Factores fitotécnicos (f): laboreo del suelo, rotación de cultivos, orientación de las líneas de siembra, densidad poblacional, tipo e intensidad de la poda, etc.
- Factores geográficos (g): extensión del área, variación de las características climáticas en el borde del área considerada, etc.
- Agua disponible en la interfaz con la atmósfera (Q): cuyo origen es la lluvia, el riego y/o el aporte hídrico de la capa freática.

2.2.4 Infiltración

Los canales son conductos que sirven para transportar el agua, desde el punto de captación hasta el punto de entrega para su uso. Los usos comunes son generación de energía eléctrica, riego, uso poblacional, etc. Los que sirven a las plantas hidroeléctricas son revestidos, en cambio los canales con fines de irrigación se dejan sin revestir para disminuir la inversión inicial. De la mayoría de los lechos de canal ninguno es 100 % impermeable, es por eso por lo que al no revestirlo las pérdidas por infiltración se hacen muy considerables. (Villon Béjar, 2003). Villon (2003) se refiere a las pérdidas por infiltración de la siguiente manera:

- El cálculo de las pérdidas por infiltración en un canal resulta de gran importancia para la evaluación económica de los canales que se van a ejecutar, el cálculo se efectúa con base en un examen de las propiedades hidráulicas del suelo donde intervienen muchas variables.
- Las pérdidas por infiltración reducen la eficiencia del sistema, ya que representan pérdidas de agua valiosa para los cultivos, además las pérdidas elevan el nivel freático, lo que causa efectos perjudiciales a las plantas, ayuda a la salinización del suelo y se convierte en foco de enfermedades.
- Las pérdidas se producen en el canal principal y también en todo el sistema de riego. También hay pérdidas en el momento de aplicación del agua a los campos cultivados, pero éstas no son afectadas por el revestimiento del canal y queda a manos de los agricultores controlarlas para aumentar la eficiencia del riego.

Los factores que influyen en las pérdidas por infiltración son: La permeabilidad del canal, se infiltra cuando más poroso y grueso es el suelo; la edad del canal, la infiltración disminuye de acuerdo con la cantidad de años del canal; el caudal, a mayor caudal menor infiltración; longitud del canal, las pérdidas son directamente proporcionales a la longitud del canal de conducción. (Villon Béjar, 2003).

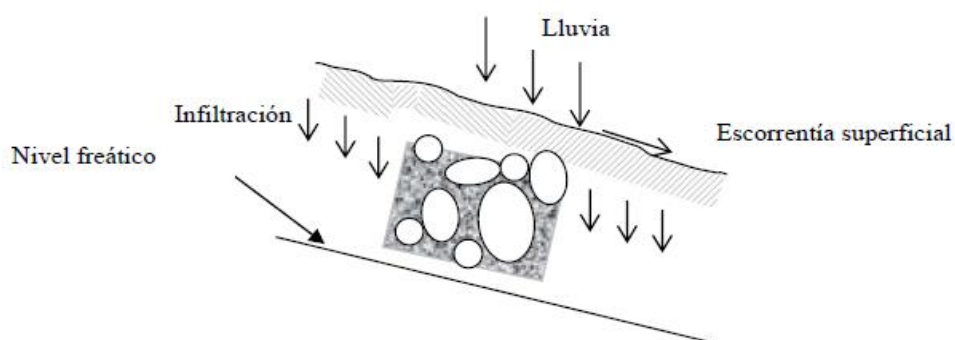


Figura 20. Infiltración en el suelo

Fuente: VILLÓN (2003)

Métodos para determinar las pérdidas por infiltración

Los métodos para determinar las pérdidas por infiltración en canales son las siguientes:

Medida directa en el campo

Villon (2003) se refiere a que las medidas directas en el campo de las pérdidas por infiltración se realizan de la siguiente manera:

- Medir los caudales de entrada y salida del tramo de canal, la diferencia de estos será la pérdida. Los métodos de aforo a utilizar son vertederos o el aforador Parshall. Mientras más exacto sea el aforo, el cálculo de pérdidas también lo será. La gran ventaja de este método es que no interfiere con el funcionamiento normal del canal y cuesta poco. (p.31)

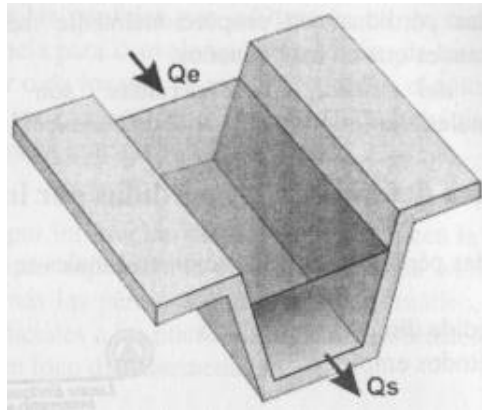


Figura 21. Medición de infiltración por el método de vertederos

Fuente: VILLÓN (2003)

- Al inicio y final de un tramo se rellena con tierra, así se aislará este tramo. El método consiste en medir la velocidad de infiltración del agua en el estanque que se forma en el tramo. Las desventajas de este es ser costoso e interrumpir el uso del canal durante la medición de las pérdidas. (p.31)

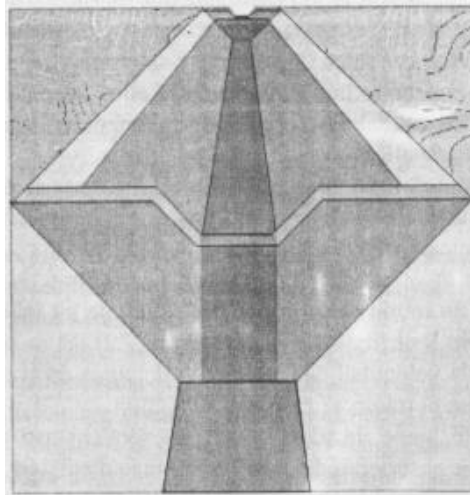


Figura 22. Medición de infiltración por el método de aislar un tramo
Fuente: VILLÓN (2003)

Para calcular la pérdida por infiltración se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{W(y_1 - y_2)L}{pL}$$

Donde:

S = Es la infiltración media a lo largo de la longitud L (m^3/m^2 - 24 horas)

W =Es el espejo de agua medio en el tramo estancado (m)

y_1 = Es el tirante hidráulico al inicio de la medición (m)

y_2 = Es el tirante hidráulico al cabo de 24 horas (m)

p = Es el perímetro promedio (m)

Las fórmulas empíricas

Las fórmulas empíricas únicamente dan aproximaciones no muy exactas del cálculo de las pérdidas por infiltración, es por eso por lo que sirven para hacer una estimación preliminar del problema. (Villon Béjar, 2003). Villon (2003) afirma que algunas de las fórmulas para calcular las pérdidas por infiltración en canales sin revestir son las siguientes:

- Fórmula de T. Ingham: En 1896, Ingham desarrollo esta fórmula basada en las observaciones realizadas en los canales de Punjab, ubicada en la India. (p.33). La fórmula es la siguiente:

$$P = 0.0025\sqrt{y}(b + 2Zy)$$

Donde:

P = Representa las pérdidas (m³ /s-km)

b = Es el ancho de solera (m)

y = Es el tirante hidráulico (m)

Z = Es el talud

- Fórmula de Etcheverry: En 1915, Etcheverry encontró la siguiente formula:

$$P = 0.0064C_e\sqrt{y}\left(b + 1.33y\sqrt{1 + Z^2}\right)$$

Donde:

P = Representa las pérdidas (m³ /s-km)

C_e = coeficiente que representa la permeabilidad

b = Es el ancho de solera (m)

y = Es el tirante hidráulico (m)

Z = Es el talud

El valor de C_e es muy variable, dependiendo de la clase de suelo. Estos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Valores de C_e, coeficiente de permeabilidad

Clase de suelo	C _e
Arcillosos	0.25 – 0.50
Franco arcillosos	0.50 – 0.75
Limosos y francos	0.75 – 1.00

Franco arenosos	1.00 – 1.50
Arenas finas	1.50 – 1.75
Arenas gruesas	2.00 – 2.50
Gravas	2.50 – 6.00

Fuente: VILLÓN (2003)

- Fórmula de Pavlovski: En 1924, Pavlovski determinó la siguiente formula:

$$P = 1000K[b + 2y(1 + Z)]$$

Donde:

P = Representa las pérdidas (m³ /s-km)

K = coeficiente de permeabilidad (m/s)

b = Es el ancho de solera (m)

y = Es el tirante hidráulico (m)

Z = Es el talud

El valor de K es muy variable, dependiendo de la clase de suelo. Estos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2. Valores de K, coeficiente de permeabilidad

Clase de suelo	K (cm/s)
Grava	10 ² – 10 ⁻¹
Arena gruesa	10 ⁻¹ – 10 ⁻³
Arena fina	10 ⁻² – 10 ⁻⁴
Tierra arenosa	10 ⁻³ – 10 ⁻⁵
Tierra franco-arcillosa	10 ⁻⁵ – 10 ⁻⁹
Tierra franca	10 ⁻⁴ – 10 ⁻⁷
Limo	10 ⁻⁴ – 10 ⁻⁵
Arcilla	10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁸
Arcilla compactada	10 ⁻⁷ – 10 ⁻¹⁰

Fuente: VILLÓN (2003)

– Fórmula de Davis – Wilson: Ellos encontraron la siguiente formula:

$$P = \frac{C_d y^{\frac{1}{3}} (b + 2y\sqrt{1 + Z^2})}{8861 + 8\sqrt{v}}$$

Donde:

P = Representa las pérdidas (m³/s-km)

b = Es el ancho de solera (m)

y = Es el tirante hidráulico (m)

Z = Es el talud

v = Es la velocidad media (m/s)

C_d= Es el coeficiente de permeabilidad (m/s)

El valor de C_d es muy variable, dependiendo del material. Estos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3. Valores de C_d, coeficiente de permeabilidad

Material	C _d
Hormigón de 10 cm de espesor	1
Arcilla de 15 cm de espesor	4
Enlucido de cemento de 2.5 cm	6
Suelo arcilloso	12
Suelo franco arcilloso	15
Suelo franco	20
Suelo franco arenoso	25
Suelo franco limoso	30
Arena	40 - 70

Fuente: VILLÓN (2003)

- Fórmula de Punjab: El propuso la siguiente fórmula:

$$P = C_p Q^{0.563}$$

Donde:

P = Representa las pérdidas (m³/s-km)

Q = Es el caudal (m³/s)

C_p = Valor que varía de acuerdo con el suelo

El valor de C_p es muy variable, dependiendo del suelo. Estos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4. Valores de C_p

Material	C _p
Suelos muy permeables	0.03
Suelos comunes (medios)	0.02
Suelos impermeables	0.01

Fuente: VILLÓN (2003)

- Fórmula de Kostiakov: El dedujo la siguiente ecuación:

$$P = 1000K \left(b + 2.4y\sqrt{1 + Z^2} \right)$$

Donde:

P = Representa las pérdidas (m³ /s-km)

K = coeficiente de permeabilidad (m/s)

b = Es el ancho de solera (m)

y = Es el tirante hidráulico (m)

Z = Es el talud

El valor de K es muy variable, dependiendo de la clase de suelo. Estos se muestran en la Tabla 2.

- Fórmula de E. A. Moritz: El dedujo la siguiente ecuación:

$$P = 0.0375C_m A^{\frac{1}{2}} = 0.00375C_m \frac{Q^{\frac{1}{2}}}{v^{\frac{1}{2}}}$$

Donde:

P = Representa las pérdidas (m³/s-km)

A = Es el área hidráulica (m²)

C_m = Valor que depende del material donde se encuentra el canal

Q = Es el caudal (m³/s)

v = Es la velocidad (m/s)

El valor de C_m es muy variable, dependiendo del material donde se encuentra el canal. Estos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5. Valores de C_m, coeficiente de permeabilidad

Material	C _m
Franco arcilloso impermeable	0.08 – 0.11
Franco arcilloso semi-impermeable sobre arcilla compacta, a profundidad no mayor de 1 m bajo el fondo del canal	0.11 - 0.15
Franco arcilloso ordinario, limo	0.15 – 0.23
Franco arcilloso con arena o grava, grava cementada (conglomerados), arcilla y arena	0.23 - 0.30
Franco arenoso	0.30 - 0.45
Suelos arenosos sueltos	0.45 - 0.55
Suelos arenosos con grava	0.55 - 0.75
Roca desintegrada con grava	0.75 - 0.90
Suelo con mucha grava	0.90 - 1.90

Fuente: VILLÓN (2003)

Velocidad de infiltración

Se puede calcular in situ con la siguiente formula:

$$v = \frac{V}{A * t}$$

Donde:

v = Velocidad de infiltración (m/s)

V= Volumen promedio drenado (m³)

A = Área de la sección transversal de la tubería (m²)

t = Tiempo de ensayo (s)

Se representa en función al tipo de suelo, eso se puede observar en la siguiente gráfica:

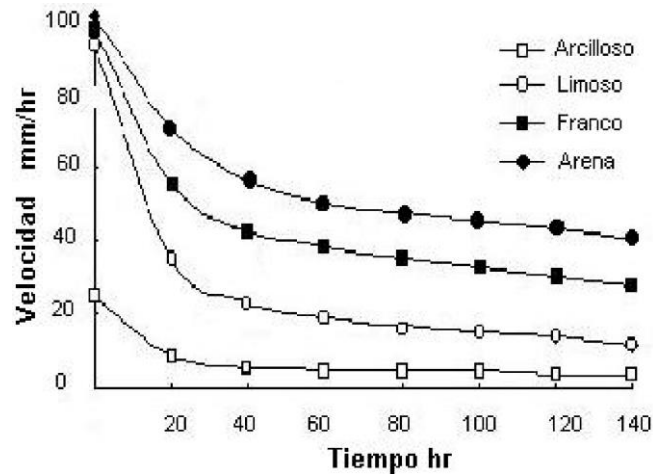


Figura 23. Curva de infiltración, velocidad vs tiempo

Fuente: PAZOS (S/F)

Ensayo de permeabilidad del suelo in situ

En este ensayo consiste en excavar una porción del terreno, con una profundidad determinada. Los materiales son: una pala, una barra, un balde plástico, un tubo de PVC y una cinta métrica.

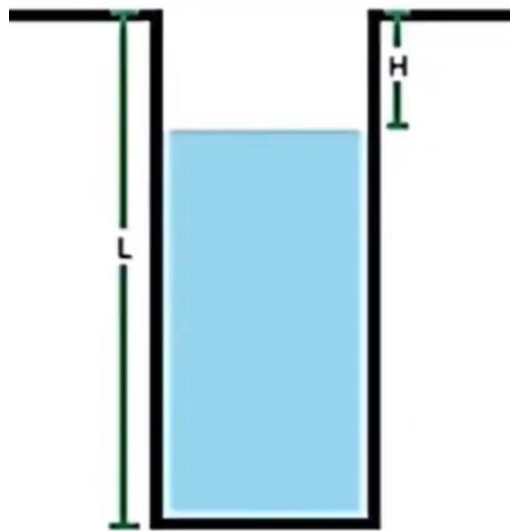


Figura 24. Tubería durante el ensayo

Fuente: MECANICA DE SUELOS (2010)

Se procede a realizar el procedimiento y la toma de datos para el cálculo del coeficiente de permeabilidad in situ. Las fórmulas y tablas por utilizar son las siguientes:

Fórmula para el cálculo del coeficiente de permeabilidad

$$k = \frac{V * L}{H_{prom} * A * t}$$

Donde:

k = Coeficiente de permeabilidad (cm/s)

V= Volumen promedio drenado (m³)

L = Longitud de la tubería (m)

H_{prom} = Perdida promedio de carga hidráulica (m)

A = Área de la sección transversal de la tubería (m²)

t = Tiempo de ensayo (s)

Fórmula para el cálculo del área de la sección transversal de la tubería

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

Donde:

A = Área de la sección transversal de la tubería (m²)

D = Diámetro de la tubería (m)

Fórmula para el cálculo del área de la pérdida de carga hidráulica promedio

$$H_{prom} = \frac{\sum H}{n}$$

Donde:

H_{prom} = Perdida promedio de carga hidráulica (m)

$\sum H$ = Sumatoria de perdidas hidráulicas (m)

n = Numero de mediciones

Fórmula para el cálculo del volumen promedio drenado

$$V = A * H_{prom}$$

Donde:

A = Área de la sección transversal de la tubería (m²)

H_{prom} = Perdida promedio de carga hidráulica (m)

Tabla 6. Valores de k(cm/s)

Drenaje	Tipo de suelo	k (cm/s)
	Grava limpia	100 - 10
		10 - 1
Bueno	Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava	1 - 10 ⁻¹ 10 ⁻¹ - 10 ⁻²
		10 ⁻² - 10 ⁻³
Pobre	Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezcla de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcilla estratificada	10 ⁻³ - 10 ⁻⁴ 10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁵ 10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁶ 10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁷
Prácticamente impermeable	Suelos impermeables, es decir, arcillas homogéneas situadas por debajo de la zona de descomposición	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁸ 10 ⁻⁸ - 10 ⁻⁹ 10 ⁻⁹ a mas
Bueno	Ensayo directo del suelo "in situ" por ensayos de bombeo. Se requiere mucha experiencia, pero bien realizados son bien exactos	100 - 10 ⁻⁴

Fuente: MECANICA DE SUELOS (2010)

Pérdidas totales

Se necesita conocer la pérdida total a lo largo del canal. Se observó que los porcentajes de pérdidas no son constantes del caudal, si este disminuye las perdidas aumentan. Kostiakov determino que este porcentaje puede ser representado con la siguiente fórmula:

$$r = \frac{a}{Q^n}$$

Los valores de a y n varían dependiendo el tipo de suelo. Los valores de n para los suelos impermeables es 0.3 y para suelos muy permeables, 0.5. (Villon Béjar, 2003). El caudal al final del tramo puede ser representado por la siguiente formula:

$$Q = Q_0(1 - rL)$$

Donde:

Q = Es el caudal (m³/s)

Q₀ = Es el caudal inicial (m³/s)

r = Representa los porcentajes de pérdidas

L = Es la longitud del canal (km)

Perdidas en canales revestidos

Davis afirmo que si las perdidas por infiltración exceden a 0.46 m/día el canal debe ser revestido. Este no elimina en su totalidad las perdidas por infiltración, ya que puede presentarse grietas, pero si se reducen las perdidas considerablemente. Según Hinds las perdidas pueden reducirse a 0.0122 m/día, si el canal es revestido con 3 pulgadas de hormigón de buena calidad. (Villon Béjar, 2003). Uginchus manifiesta que para calcular las perdidas por infiltración en un canal revestido se utiliza la siguiente fórmula:

$$P = K \frac{y}{e} (b + y\sqrt{1 + Z^2}) * 1000$$

Donde:

P = Representa las pérdidas (m³/s-km)

K = El coeficiente de permeabilidad de revestimiento de hormigón que varía de 10⁻⁵ a 10⁻⁷(m/s)

e = Es el espesor de revestimiento (m)

b = Es el ancho de solera (m)

y = Es el tirante hidráulico (m)

Z = Es el talud

2.2.5 Clasificación de bombas

La bomba es una máquina que absorbe energía mecánica, esta puede provenir de un motor eléctrico, térmico, etc., y la transforma en energía hidráulica que la transfiere a un fluido, la cual le permite que pueda ser transportado de un lugar a otro, a un mismo nivel, a diferentes niveles y a diferentes velocidades. (Mott, 1996).

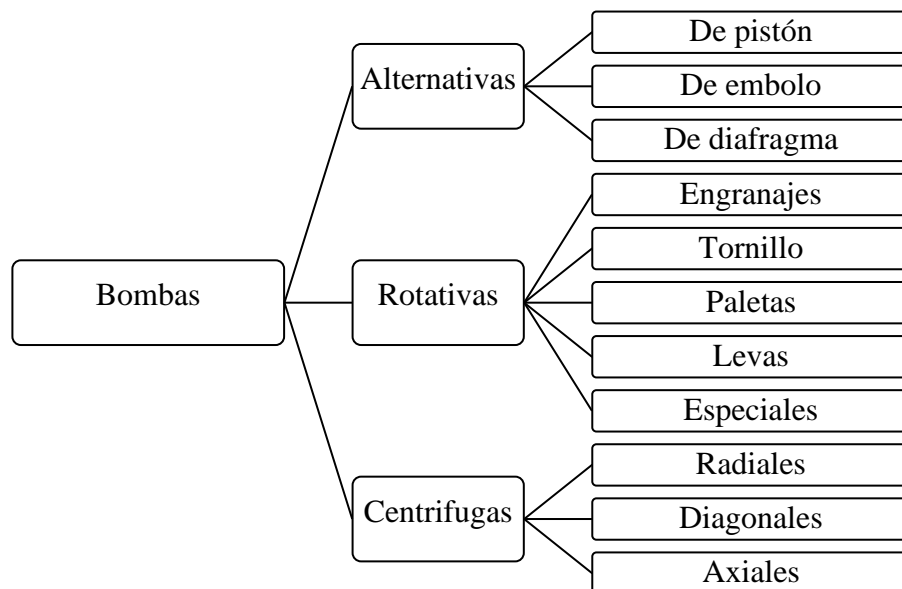


Figura 25. Clasificación de bombas

Fuente: CARNICER Y MAINAR (2004)

Una clasificación más completa puede hacerse utilizando la siguiente fórmula:

$$H_B = Z_s - Z_e + \frac{P_s - P_e}{\gamma} + \frac{V_s^2 - V_e^2}{2g}$$

Donde:

H = Energía específica (m)

Z = Altura geométrica (m)

P/γ = Altura de presión (m)

V = Velocidad media (m/s)

g = Aceleración (m/s^2)

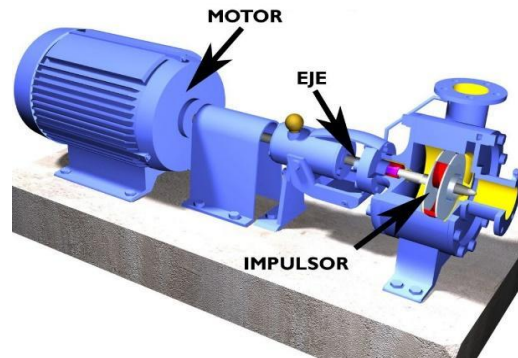


Figura 26. Bomba centrífuga

Fuente: <http://www.cindex.com.mx/bombas/>

Bombas de Energía de combustible

Es un dispositivo que le entrega al fluido de trabajo o combustible la energía necesaria para desplazarse a través de él. Las presiones con las que trabaja la bomba dependen en gran medida del tipo de motor que se tenga. Así, cuanto más potencia necesite un motor, mayor caudal de combustible hará falta, por lo que se necesitará una bomba de mayor potencia. (Mott, 1996).



Figura 27. Bomba de energía combustible

Fuente: <https://energiaypotencia.com>

Bombas de Energías no convencionales

Se refiere a aquellas formas de producir energía que no son muy comunes en el mundo y cuyo uso es limitado debido todavía a los costos para su producción y su difícil forma para captarlas y transformarlas en energía eléctrica. Se les conoce como "energías limpias", ya que por lo general no combustionan, no contaminan y no dejan desechos. Dentro de las que más se están utilizando, están la energía nuclear, la energía solar, la energía geotérmica, la energía eólica y la energía de la biomasa (Mott, 1996).

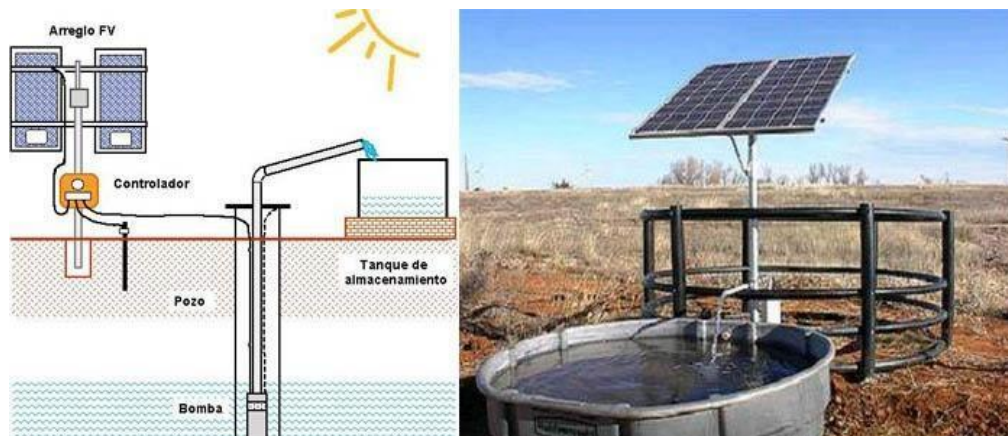


Figura 28. Bomba de energía solar

Fuente: <https://autosolar.es>

2.2.6 Bomba de ariete

2.2.6.1 Definición de bomba de ariete

Romero & Gutiérrez (2014) con respecto a la definición de bomba de ariete tenemos la siguiente:

“La bomba de ariete es una máquina hidráulica que utiliza la energía de una cantidad de agua situada a una altura ligeramente superior (el desnivel de un río, presa, acequia u otro depósito o caudal) con el objetivo de elevar una parte de esa agua hasta una altura superior, sin usar, para ello, electricidad o combustible fósil alguno. El agua

suministrada desde la fuente de alimentación desciende por gravedad por la tubería de carga hasta el cuerpo de la bomba para provocar una sobrepresión ocasionada por la apertura y cierre continuo de una válvula. Esta sobrepresión producida es el origen del fenómeno físico conocido como golpe de ariete y es el principio para su funcionamiento.” (p.224).



Figura 29. Bomba de ariete hidráulico

Fuente: OTI (2017)

2.2.6.2 Características de la bomba de ariete

Sobre las características principales Rengifo y Gallego (2018) mencionan lo siguiente:

“Sus características generales son: No necesita combustible fósil ni electricidad, ningún tipo de impulsor en absoluto fuera del fluido, su mantenimiento no necesita ser permanente. Este sistema es más económico que los otros convencionales motorizados, no causa contaminación, su operación es segura no necesita mano de obra durante su operación y su costo de funcionamiento teóricamente es

nulo; la vida útil del sistema es larga, funciona continuamente las 24 horas dependiendo de la cantidad de agua que se obtenga.” (p.31)

La comparación de la bomba de ariete con otros tipos de bombas se ve detallada en la siguiente tabla:

Tabla 7. Comparación de la bomba de ariete con otras bombas

Descripción	Bomba - Motor	Bomba – Eléctrica	Ariete hidráulico
Energía externa	Si	Si	No
Lubricantes	Si	Si	No
Inversión inicial	Alto	Bajo	Bajo
Mantenimiento	Si	Si	No
Confiabilidad	Alta	Media	Alta
Ruido	Alto	Medio	Medio – alto
Eficiencia	Alto	Alto	Bajo

Fuente: RENGIFO Y GALLEGO (2018)

2.2.6.3 Golpe de ariete

Chero (2018) sobre el golpe de ariete afirma lo siguiente:

El golpe de ariete se refiere a las fluctuaciones causadas por el cierre brusco de una válvula o por un repentino incremento o disminución de la velocidad del flujo. Estas fluctuaciones de presión pueden ser lo suficientemente severas como para romper la tubería de agua. (p.11)

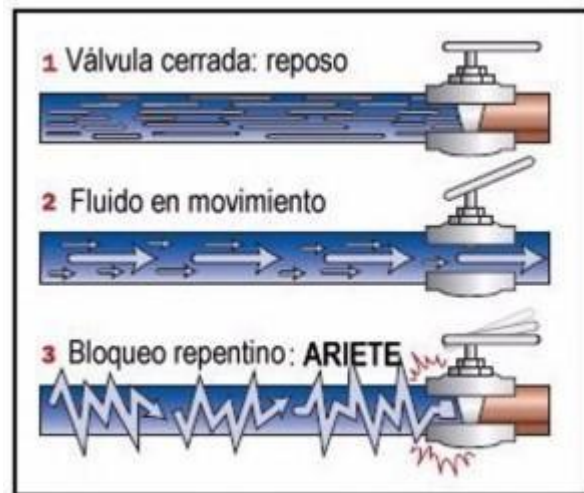


Figura 30. Fenómeno del golpe de ariete

Fuente: <https://revistadigital.inesem.es>

La existencia de este fenómeno significa una complicación al transportar fluidos, ya que puede causar sobrepresiones y hasta roturas en el sistema. Sin embargo, este fenómeno puede brindar una gran ventaja al almacenar cierta presión en sistemas de tuberías, que, dependiendo del enfoque técnico, pueden resultar en una alternativa para elevar y transportar fluidos. (Chero, 2018).

El científico ruso Nikolai Zhukovski (1847-1921) estudió este fenómeno por primera vez en su obra sobre el choque hidráulico, como parte de sus indagaciones hidroaerodinámicas, que constituyen la base teórica para la ulterior comprensión del funcionamiento de la bomba de golpe de ariete o ariete hidráulico. Este fenómeno es aprovechado por la bomba de ariete hidráulico para elevar una cierta cantidad de fluido.

Se piensa que este fenómeno ocurre en régimen permanente y fluido incomprensible. Lo cierto es que es un fenómeno temporal y de régimen variable, en que el líquido es comprensible y la tubería ya no es rígida. Este se origina en los ductos al cerrar o abrir una válvula, al disminuir el caudal bruscamente y al poner en marcha o parar una máquina hidráulica. (Rusvel, 2018).

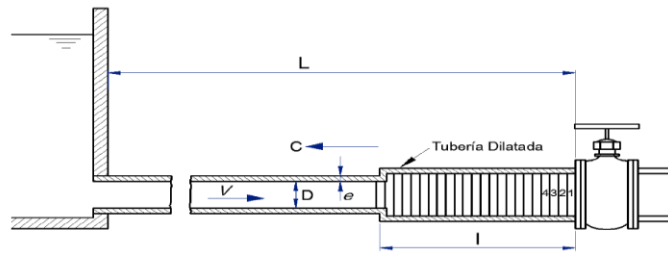


Figura 31. Onda de presión en el cierre instantáneo de una válvula

Fuente: MATAIX (1986)

Donde:

c = Velocidad de propagación de la onda

V = Velocidad del fluido

L = Longitud de la tubería

e = Espesor

D = Diámetro interior

Explicación del fenómeno

Mataix (1986) acerca del fenómeno explica lo siguiente:

“Si dividimos imaginativamente todo el fluido que llena la tubería en rodajas, y los enumeramos de la siguiente manera 1, 2, 3 y 4, el primer disco quedará en reposo posteriormente los discos o rodajas 2, 3, 4, etc.; necesitando un cierto tiempo. Es decir, al cerrar la válvula de tal manera se ha originado una onda de presión que se propaga a lo largo del ducto con velocidad C , la cual tiene dirección opuesta a la velocidad V del fluido: se creó una onda elástica.” (p.313)

Esta onda se propaga a lo largo de la tubería hasta llegar al embalse, vuelve a la válvula, de nuevo al embalse y repitiendo el ciclo hasta que la energía cinética desaparezca, originando así sobrepresiones y depresiones en la tubería, la cual se dilata o contrae al paso de la onda. (Mataix, 1986). Para calcular el tiempo en que recorre la distancia de válvula y embalse se utiliza la siguiente formula:

$$t_0 = \frac{L}{c}$$

Donde:

t_0 = Tiempo en que recorre la distancia de válvula y embalse (s)

L = Longitud de la tubería (m)

c = Velocidad de la onda (m/s)

Mataix (1986) describe una serie de acontecimientos para un periodo de $4t_0$ de la siguiente manera:

1. No hay perturbación: El régimen es permanente, el líquido se desplaza desde el embalse hacia la válvula.

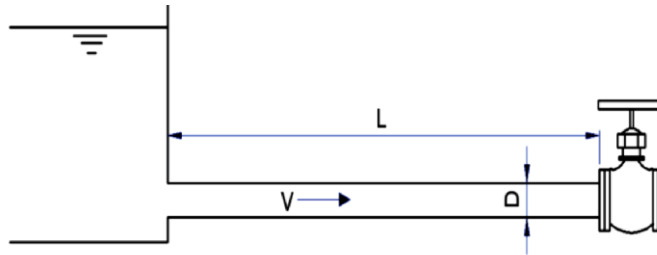


Figura 32. Tubería sin perturbación

Fuente: MATAIX (1986)

2. Tiempo t_0 : Ocurre el cierre instantáneo de la válvula, esto ocasiona que la velocidad del fluido se anule a partir de la válvula.

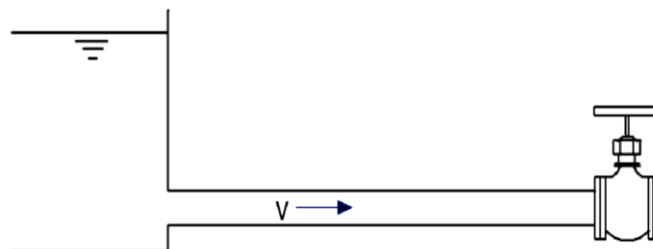


Figura 33. Cierre instantáneo de la válvula

Fuente: MATAIX (1986)

3. Tiempo $t_0/2$: la onda se propaga hacia el embalse con celeridad c y la onda llega hasta la mitad de la tubería. La mitad derecha se dilata por sobrepresión y su velocidad es cero. En cambio, en la mitad izquierda no se dilata y el fluido sigue circulando hacia la válvula.

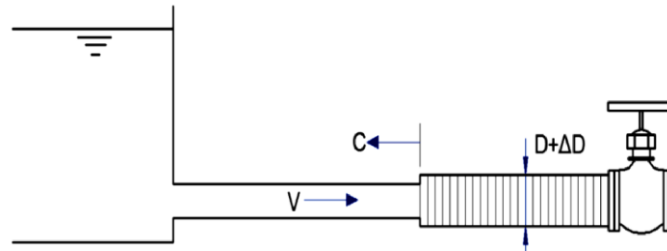


Figura 34. Propagación de la onda de presión

Fuente: MATAIX (1986)

4. Tiempo t_0 : La tubería está dilatada y el líquido en reposo, mas no en equilibrio.



Figura 35. Llegada de la sobrepresión al embalse

Fuente: MATAIX (1986)

5. Tiempo $3/2 t_0$: La mitad izquierda ya no está dilatada y el fluido circula con una velocidad v . En cambio, en la mitad derecha esta dilatada y el fluido circula con velocidad c .

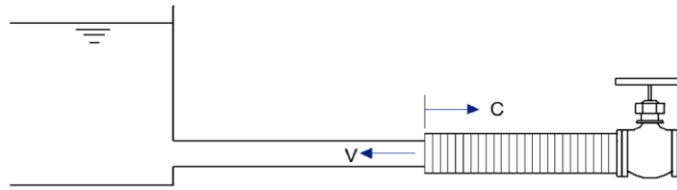


Figura 36. Parte izquierda de la tubería contraída

Fuente: MATAIX (1986)

6. Tiempo $2t_0$: La tubería no está dilatada ni existe sobrepresión en ella. Todo el fluido circula con una velocidad v , pero ahora con dirección al embalse.

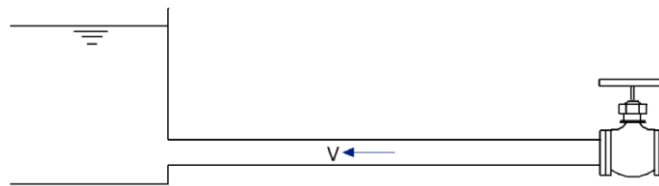


Figura 37. Tubería con diámetro normal y fluido en dirección al embalse

Fuente: MATAIX (1986)

7. Tiempo $5/2 t_0$: En la mitad derecha de la tubería el fluido se encuentra en reposo, a una presión por debajo de la normal y el diámetro es inferior al normal.

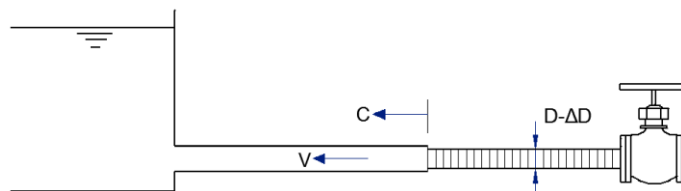


Figura 38. Tubería con depresión en la parte derecha

Fuente: MATAIX (1986)

8. Tiempo $3t_0$: El fluido parte del reposo desde el embalse hacia la válvula con velocidad v , dirigida hacia la derecha. Toda la tubería se encuentra a una presión por debajo de la normal y su diámetro es inferior al normal.



Figura 39. Toda la tubería en depresión

Fuente: MATAIX (1986)

9. Tiempo $7/2 t_0$: En la mitad izquierda el fluido circula a la válvula con velocidad v y su diámetro es normal. En cambio, en la mitad derecha está en reposo, a una presión por debajo de la normal y el diámetro es inferior al normal.

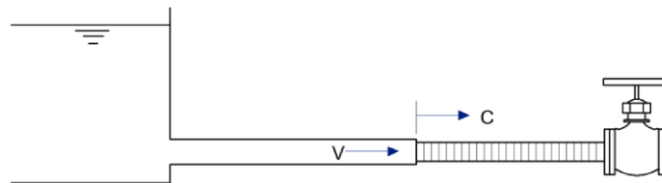


Figura 40. Tubería con la parte izquierda en movimiento y derecha en reposo

Fuente: MATAIX (1986)

10. Tiempo $4 t_0$: Todo el fluido circula hacia la válvula con velocidad v y el diámetro de la tubería es normal.

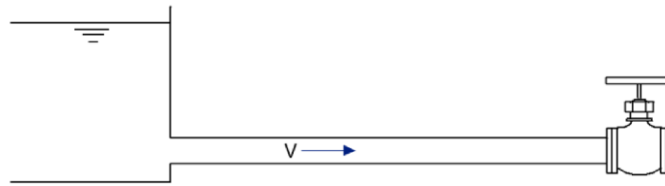


Figura 41. Fluido en dirección al embalse y tubería con diámetro normal

Fuente: MATAIX (1986)

Celeridad

Al realizar el cierre instantáneo de una válvula se reduce la velocidad del fluido, produciendo ondas de presión que se propagan a lo largo del ducto con una velocidad, esta va disminuyendo debido al módulo de elasticidad de la tubería. Esta velocidad es conocida con el nombre de celeridad de propagación de onda. (Rusvel, 2018). Para calcular este valor se utiliza la fórmula de Allievi, la cual es la siguiente:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + K \frac{D}{e}}}$$

Donde:

a = Celeridad de propagación de onda

K = Coeficiente función del módulo de elasticidad (ϵ) del material constitutivo de la tubería

D = Diámetro interior de la tubería

e = Espesor de la tubería

El valor de K se obtiene con la siguiente fórmula:

$$K = \frac{10^{10}}{\epsilon}$$

Donde:

K = Factor de elasticidad

ϵ = Módulo de elasticidad del material de la tubería

Los valores de K y a dependen del material de la tubería, algunos valores son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 8. Valores de K y a en función al material de la tubería

Material de tubería	ϵ (kg/m ²)	K	a (m/s)
Palastros de hierro y acero	2×10^{10}	0,5	1110
Fundición	10^{10}	1	1000
Hormigón (sin armar)	2×10^9	5	800
Fibro cemento	$1,85 \times 10^9$	5,5 (5 – 6)	---
PVC	3×10^8	33,3 (20 – 50)	200
PE baja densidad	2×10^7	500	---
PE alta densidad	9×10^7	111,11	---

Fuente: RUESTA (2012)

Sobrepresión

Es el aumento de la presión interna, la cual al exceder los valores máximos admisibles pueden ocasionar graves daños a las tuberías y accesorios. Las ondas negativas pueden disminuir la presión total hasta generar el colapso de la tubería por efecto de la presión externa. (Rengifo y Gallego, 2016). La fórmula para calcular la sobrepresión fue expresada por Joukovsky, la cual es la siguiente:

$$P = p * V * c$$

Donde:

P = Sobrepresión máxima (MPa)

p = Densidad del fluido (kg/m³)

V = Velocidad del fluido (m/s)

c = Celeridad de propagación de onda (m/s)

Cierre brusco

El cierre brusco se produce cuando el tiempo de propagación es mayor que el tiempo de cierre del dispositivo de control de flujo, es decir cuando la longitud de la tubería de impulsión es larga. (Rengifo y Gallego, 2016). La relación es la siguiente:

$$\frac{2L}{c} > t$$

Donde:

L = Longitud de la tubería (m)

c = Celeridad de propagación de onda (m/s)

t = Tiempo de cierre del dispositivo o paro de la bomba (s)

Para este caso la sobrepresión se calcula con la siguiente formula:

$$\Delta H = \frac{cV}{g}$$

Donde:

ΔH = Sobrepresión (m. c. a.)

c = Celeridad de propagación de onda (m/s)

V = Velocidad del fluido (m/s)

g = Gravedad (m/s²)

Cierre lento

El cierre lento se produce cuando el tiempo de propagación es menor que el tiempo de cierre del dispositivo de control de flujo, es decir cuando la longitud de la tubería de impulsión es corta. (Rengifo y Gallego, 2016). La relación es la siguiente:

$$\frac{2L}{c} < t$$

Donde:

L = Longitud de la tubería (m)

c = Celeridad de propagación de onda (m/s)

t = Tiempo de cierre del dispositivo o paro de la bomba (s)

Para este caso la sobrepresión se calcula con la siguiente formula:

$$\Delta H = \frac{2LV}{gt}$$

Donde:

ΔH = Sobrepresión (m. c. a.)

L = Longitud de la tubería (m)

V= Velocidad del fluido (m/s)

g = Gravedad (m/s²)

t = Tiempo de cierre del dispositivo o paro de la bomba (s)

Elementos de protección

La posibilidad de que se produzcan golpes de ariete condiciona de manera notable el diseño de las instalaciones. Las sobrepresiones que este fenómeno produce obligan a proyectar tuberías con una mayor resistencia, lo cual influye en la elevación de su costo. Por eso para evitar inconvenientes se pueden colocar una serie de elementos para mitigar los efectos de las sobrepresiones. (Lofrío, 2020). Lofrío (2020) menciona los siguientes elementos de protección:

- Válvula de seguridad: Su funcionamiento se basa en su apertura automática para dejar salir agua cuando se sobrepasa una presión establecida. De esta manera se busca reducir la sobrepresión, aunque su inconveniente es que provoca la pérdida de flujo. (p.8)

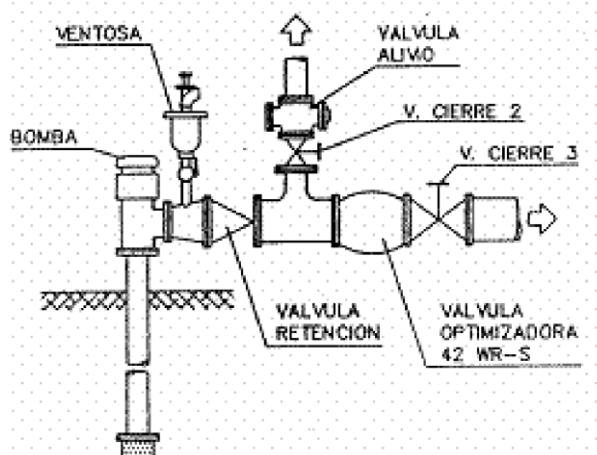


Figura 42. Válvula de seguridad

Fuente: LOFRIO (2020)

- Calderín: Es un depósito acoplado directamente a la tubería y que se encuentra cerrado por completo. El agua penetra en él cuándo se produce una sobrepresión, perdiendo parte de su energía debido al colchón de aire que hay en el interior del tanque. Es uno de los elementos más empleados en bombeos y abastecimientos para mitigar el golpe de ariete. (p.8)

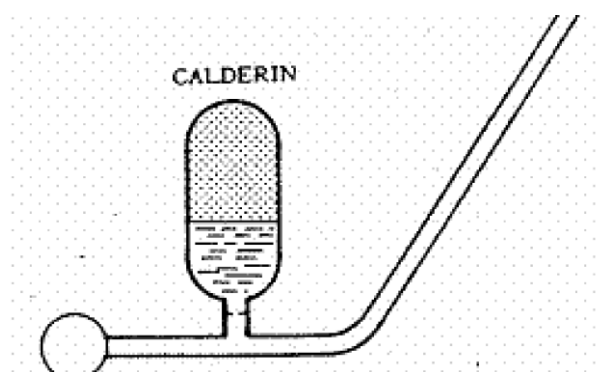


Figura 43. Calderín

Fuente: LOFRIO (2020)

- Válvula de retención: En general, es el sistema más utilizado. Consiste en situar a lo largo de la tubería una válvula que cuando se detiene el flujo de líquido, se cierra por sí misma, provocando la división de la longitud total de la tubería en tantos tramos como válvulas colocadas. De esta manera se busca la disminución de las sobrepresiones. Su principal inconveniente son las altas pérdidas de carga localizadas. (p.8)



Figura 44. Válvula de retención

Fuente: OTI (2017)

2.2.6.4 Reseña histórica

En 1772 el inglés John Whitehurst, se basó en el siguiente funcionamiento. Al accionar manualmente un grifo en una tubería conectada a un depósito de abasto, situado a un nivel superior, esto provoca un golpe de ariete que permite elevar el fluido hasta un depósito colocado a una altura superior al depósito de alimentación. (Campaña y Guamán, 2016)

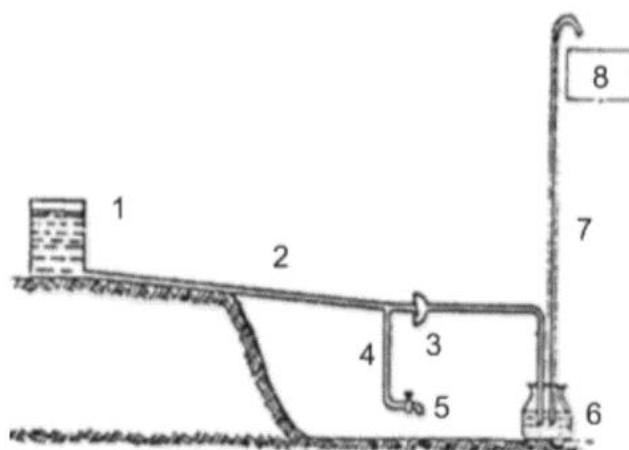


Figura 45. Esquema del ariete ideado por John Whitehurst

Fuente: CAMPAÑA Y GUAMÁN (2016)

Donde:

1. Tanque de entrega
2. Tubería inclinada
3. Válvula principal
4. Tubería auxiliar
5. Válvula grifo
6. Cámara de aire
7. Tubería de subida
8. Tanque elevado

El francés Joseph Michel Montgolfier en 1776, ideó un ariete automático, construido siguiendo el mismo principio que los equipos actuales, al que denominó “*le belier hydraulique*”. En 1976, este prototipo fue perfeccionado y patentado. Desde ahí el ariete hidráulico fue difundido por todo el mundo hasta la actualidad. (Campaña y Guamán, 2016).

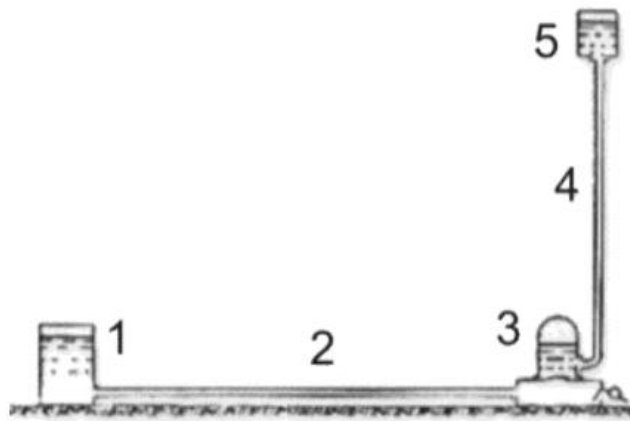


Figura 46. Esquema de ariete ideado por Joseph Montgolfier

Fuente: CAMPAÑA Y GUAMÁN (2016)

Donde:

1. Tanque de entrega
2. Tubería inclinada
3. Válvula principal
4. Tubería auxiliar
5. Válvula o grifo

2.2.6.5 Funcionamiento de la bomba de ariete

Es bastante simple y de fácil manejo, lo que se busca es convertir la energía cinética del agua que fluye en energía de elevación. El agua procedente del lugar de captación desciende por gravedad por la tubería de alimentación y escapa a través de la válvula de aire, cuando se acumula la presión suficiente esta se cierra. (Rivadeneira y Silva, 2013).

El cierre brusco de esta válvula produce el golpe de ariete, lo cual origina una sobrepresión en la tubería de alimentación que provoca la apertura de la válvula de retención, que permite el paso del agua hacia el interior de una cámara de aire situada en el interior del cuerpo de la bomba. (Romero & Gutiérrez, 2014).

Cuando el agua a presión alcanza el equilibrio con el aire atrapado, rebota, haciendo que la válvula de descarga se cierre. El agua a presión entonces se escapa de la cámara de aire a través de una válvula de retención y la tubería de descarga a su destino. El cierre de esta válvula causa un ligero vacío, permitiendo que la válvula de aire se abra iniciando así un nuevo ciclo. (Rivadeneira y Silva, 2013). Sobre este ciclo de funcionamiento Rivadeneira y Silva (2013) indican lo siguiente:

“El ciclo se repite entre 20 y 100 veces por minuto, dependiendo de la velocidad de flujo. Si se instala correctamente, un ariete hidráulico operará en forma continua con un mínimo de atención, siempre que el suministro de agua que fluye sea continuo y el exceso de agua se derrame fuera de la bomba.” (p.22)

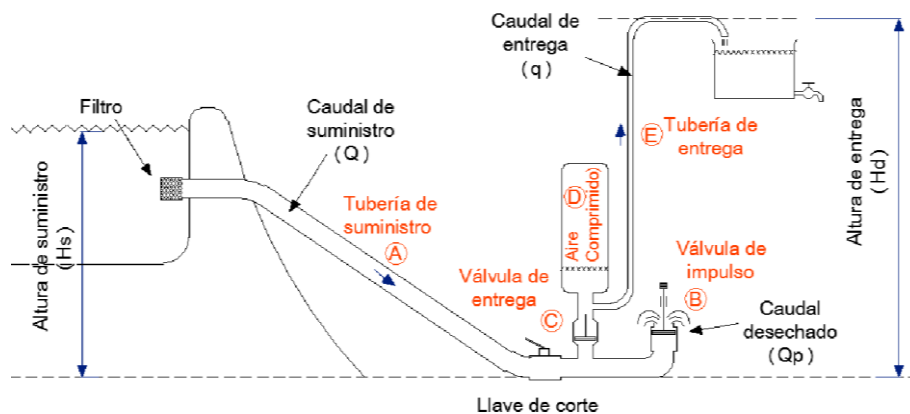


Figura 47. Funcionamiento de la bomba de ariete

Fuente: CAMPAÑA Y GUAMÁN (2016)

En la siguiente ilustración se observan tres diagramas A, B y C, para entenderlo tienes que verlos a la vez. En el instante 1 se observa como la energía de velocidad se incrementa rápidamente a comparación de la energía de presión, mientras que la válvula de impulso inicialmente está abierta y poco a poco se va cerrando. (Rusvel, 2018).

En el instante 2 se observa, que una vez cerrada esta válvula, como la energía de presión se incrementa de golpe, mientras la válvula

permanece cerrada la energía de velocidad disminuye rápidamente, la energía de presión en un pequeño tiempo se mantiene y luego cae gradualmente, cuando la energía de presión es negativa (depresión) la válvula de impulso se abre totalmente y la velocidad es negativa. (Rusvel, 2018).

En el instante 3, se ve como se reestablece un nuevo ciclo, lo normal es de 40 a 50 ciclos por minuto, pero si la carrera de la válvula de impulso disminuye se puede obtener 90 a 95 ciclos por minuto. (Rusvel, 2018).

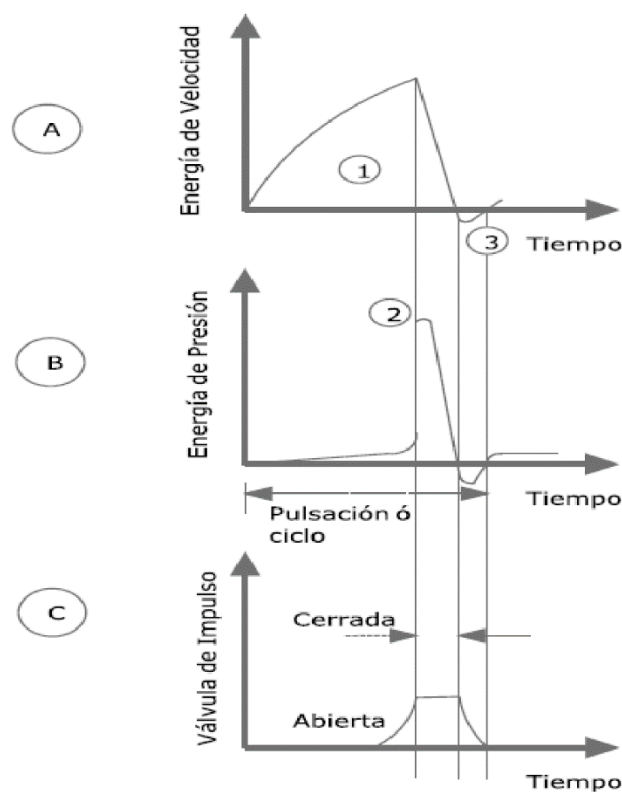


Figura 48. Graficas de funcionamiento del ariete hidráulico

Fuente: RIVADENEIRA Y SILVA (2013)

2.2.6.6 Configuración del ariete hidráulico y sus componentes

La configuración puede variar, y esto depende esencialmente de su diseño. Sin embargo, el funcionamiento es igual en todos los casos.

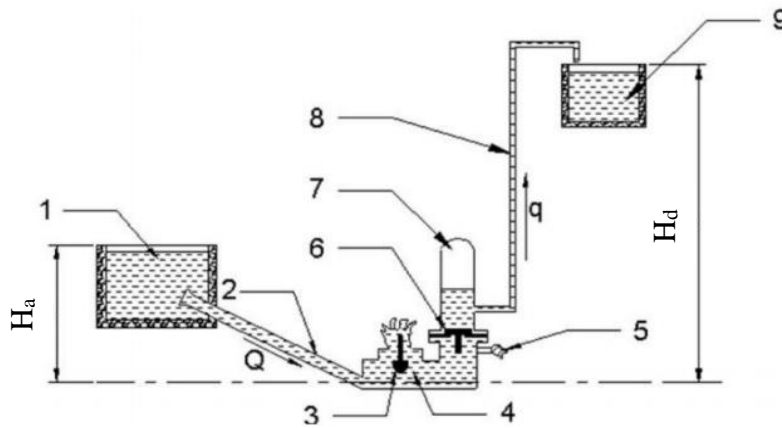


Figura 49. Configuración típica de la bomba de ariete

Fuente: ELIOIQUI (2017)

Donde:

H_a = Altura de suministro. (m)

H_d = Altura de entrega. (m)

Caudal de alimentación (Q)

Es el caudal del cual se alimenta la bomba de ariete. Se usa utiliza la siguiente fórmula para determinar el caudal:

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

Donde:

Q = Es el caudal (m^3/s)

V = Es el volumen (m^3)

t = Es el tiempo (s)

Caudal de descarga (q)

Es el caudal que brinda la bomba de ariete al depósito de descarga. (Rivadeneira y Silva, 2013). Para calcular se utiliza la siguiente fórmula:

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

Donde:

q = Caudal de descarga (m³/s)

H_s = Altura de suministro (m)

D = Diámetro interno de la tubería (m)

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

C_d = Coeficiente de descarga

H_d = Altura de entrega (m)

Velocidad de cierre de la válvula de impulso

Para calcular esta velocidad se utiliza la siguiente ecuación:

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

Donde:

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

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

Coeficiente de descarga

Es un factor adimensional que relaciona el caudal con el cual el fluido se desplaza libremente por una tubería, junto al nivel del fluido en el embalse (Δh). (Rivadeneira y Silva, 2013). Para calcular esta velocidad se utiliza la siguiente ecuación:

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

Donde:

C_d = Coeficiente de descarga

Q_1 = Caudal libre (m^3/s)

g = Gravedad (m/s^2)

Δh = Diferencia de alturas (m)

A = Área de salida del fluido (m^2)

Caudal libre

Este caudal es obtenido considerando que la válvula de impulso se mantenga inmóvil permitiendo que el agua fluya hacia la atmósfera sin ninguna interrupción. Con la ecuación general de la energía se hace posible resolver problemas con presencia de pérdidas, las cuales aparecen a medida que un flujo fluye por un conducto debido a la fricción interna en el fluido, permite saber cuál será la velocidad del fluido en el interior de la tubería. (Rivadeneira y Silva, 2013). La ecuación general de la energía es la siguiente:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \alpha \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \alpha \frac{v_2^2}{2g}$$

Donde:

P_1 = Presión en el punto inicial (Pa)

γ = Peso específico (N/m^3)

Z_1 = Altura del punto inicial sobre el nivel de referencia (m)

α = Coeficiente de coriolis

v_1 = Velocidad en el punto inicial (m/s)

g = Gravedad (m/s^2)

h_A = Energía agregada al fluido mediante un dispositivo mecánico (m)

h_R = Energía retirada del fluido mediante un dispositivo mecánico (m)

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

P_2 = Presión en el punto final (Pa)

Z_2 = Altura del punto final sobre el nivel de referencia (m)

V_2 = Velocidad en el punto final (m/s)

Perdidas mayores

Se producen debido a la fricción del fluido con el interior de la tubería.

Se utiliza la ecuación de Darcy-Weisbach, la cual es la siguiente:

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v_2^2}{2g}$$

Donde:

h_L = Pérdida mayor (m)

f = Factor de fricción

L = Longitud de la tubería (m)

D = Diámetro interno de la tubería (m)

V_2 = Velocidad en el punto final (m/s)

g = Gravedad (m/s^2)

Perdidas menores

Ocurren cuando hay una obstrucción en la trayectoria del flujo, debido a la presencia de accesorios. (Rivadeneira y Silva, 2013). Se utiliza la siguiente fórmula:

$$h_{Lm} = \sum k * \frac{v_2^2}{2g}$$

Donde:

h_{Lm} = Pérdida menor (m)

k = Coeficiente de resistencia al flujo

V_2 = Velocidad en el punto final (m/s)

g = Gravedad (m/s^2)

Factor de fricción

Para el cálculo de este factor, se utiliza la siguiente ecuación desarrollada por P. K. Swamee y A. K. Jain:

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

Donde:

f = Factor de fricción

D = Diámetro interno de la tubería (m)

ε = Rugosidad (m)

N_{RE} = Numero de Reynolds

Numero de Reynolds

Es el factor que sirve para caracterizar la naturaleza del flujo. Cuando el flujo es lento y uniforme se le conoce como flujo laminar. Por lo contrario, si es rápido y caótico el flujo es turbulento. (Rivadeneira y Silva, 2013). Este flujo se puede calcular y caracterizar mediante la siguiente ecuación y tabla:

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

Donde:

N_{RE} = Numero de Reynolds

V = Velocidad del flujo (m/s)

D = Diámetro interno de la tubería (m)

ν = Viscosidad cinética (m²/s)

Tabla 9. Naturaleza del flujo en función al número de Reynolds

Tipo de flujo	Numero de Reynolds
Flujo Laminar	Menor de 2000
Flujo Turbulento	Mayor de 4000
Flujo Imprescindible	Entre 2000 y 4000

Fuente: Elaboración Propia

Rugosidad relativa

Para calcular se utiliza la siguiente formula:

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

Donde:

R_r = Rugosidad relativa

D = Diámetro interno de la tubería (m)

ε = Rugosidad (m)

Tabla 10. Rugosidad en función al tipo de material

Material	Rugosidad (mm)
PVC	0,0015
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01
Tubos estirados de acero	0,0024
Tubos de latón o cobre	0,0015
Fundición revestida de cemento	0,0024
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024
Fundición centrifugada	0,003
Fundición asfaltada	0,06 – 0,18
Fundición	0,12 – 0,60
Acero comercial y soldado	0,03 – 0,09
Hierro forjado	0,03 – 0,09

Hierro galvanizado	0,06 – 0,24
Madera	0,18 – 0,90
Hormigón	0,3 – 3,0

Fuente: PERALTA (2015)

1. Tanque de captación

Es el lugar de donde será captada el agua para el funcionamiento del ariete hidráulico, esta puede ser ríos, depósitos, quebradas, etc. Debe tener un desnivel en relación con la Bomba de Ariete, su diseño depende del uso que se le dará al mismo. (Rusvel, 2018).

Es el desnivel que hay entre el espejo de agua del tanque de captación hasta el punto de instalación del ariete, este desnivel es el motor de la instalación y cuanto mayor sea el desnivel, mayor será el rendimiento. Por esta razón se debe conseguir la mayor caída posible para un funcionamiento óptimo de la instalación. La altura mínima es de un metro y la altura máxima es de veinte metros. (Martínez Montes, 2012), es decir:

$$1 m \leq H_s \leq 20 m$$

Donde:

H_s = Altura de suministro (m)

2. Tubería de Suministro y de Entrega

Es la encargada de conectar el tanque de captación con la bomba de ariete. Al inicio de esta, es decir en el punto de partida desde el lugar de captación, se coloca una especie de rejilla que se encarga de retener las impurezas y así impedir su ingreso al cuerpo de la bomba. Según reglas convencionales su longitud debe tener entre 150 y 500 veces su diámetro y un mínimo valor entre 2 y 7 veces la altura desde el lugar de captación hasta el ariete. (Rusvel, 2018). Los investigadores Calvert

(1957), Watt (1975) y Silver (1977) realizaron una relación entre la longitud y el diámetro de la tubería para establecer el valor más recomendado. (Oti, 2017). Esta relación es la siguiente:

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

Donde:

L = Es la longitud de la tubería de alimentación (m)

D = Es el diámetro de la tubería de alimentación (m)

Altura de descarga

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

Donde:

H_s = Altura de suministro (m)

H_d = Altura de entrega (m)

Angulo de inclinación de tubería de Suministro

El ángulo de inclinación de la tubería de alimentación (α), el ángulo debe estar comprendido entre los 10° y los 45° con la horizontal. (Oti, 2017). Este ángulo se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\sin \alpha = \frac{h}{L}$$

Donde:

α = Es el ángulo de inclinación de la tubería de alimentación (°)

h = Es el desnivel de trabajo (m)

L = Es la longitud de la tubería de alimentación (m)

Diámetro de la tubería de entrega

Es la componente encargada de conectar la cámara de aire con el depósito de descarga. Para su diseño se considera la altura de bombeo para determinar la presión máxima capaz de soportar esta tubería, se considera conveniente calcular el diámetro en función al caudal de bombeo, el largo del tubo y la potencia disponible. (Rusvel, 2018). Este valor se calcula de la siguiente manera:

$$D_d = \frac{D}{2}$$

Donde:

D_d = Diámetro de la tubería de descarga (m)

D = Diámetro de la tubería de suministro (m)

Diámetro exterior e interior de la tubería

La tubería tiene un diámetro nominal y un espesor, con esos datos se puede calcular el diámetro interior de la tubería. Esto se realiza para tener un cálculo más exacto, se calcula de la siguiente manera:

$$D_{ex} = d_{in} + 2e$$

Donde:

D_{ex} = Diámetro exterior de la tubería (m)

d_{in} = Diámetro interior de la tubería (m)

e = Espesor de la tubería (m)

3. Válvula de impulso

Es la componente más importante, ya que de ella depende el funcionamiento del sistema. Se encarga de originar el golpe de ariete a consecuencia del cierre brusco que se produce por el efecto del incremento de la velocidad del agua. Permite regular la cantidad de agua que penetra la cámara de aire, esto se logra al variar el número de golpes por minutos. La válvula de impulso está compuesta por: Un

vástago, una brida, un plato y tornillos con tuercas de sujeción, aunque existen válvulas de impulso que se instala un muelle que cumple la misma función. (Rusvel, 2018). Rivadeneira y Silva (2013) indican que existen tipos de válvulas de impulso, las cuales son las siguientes:

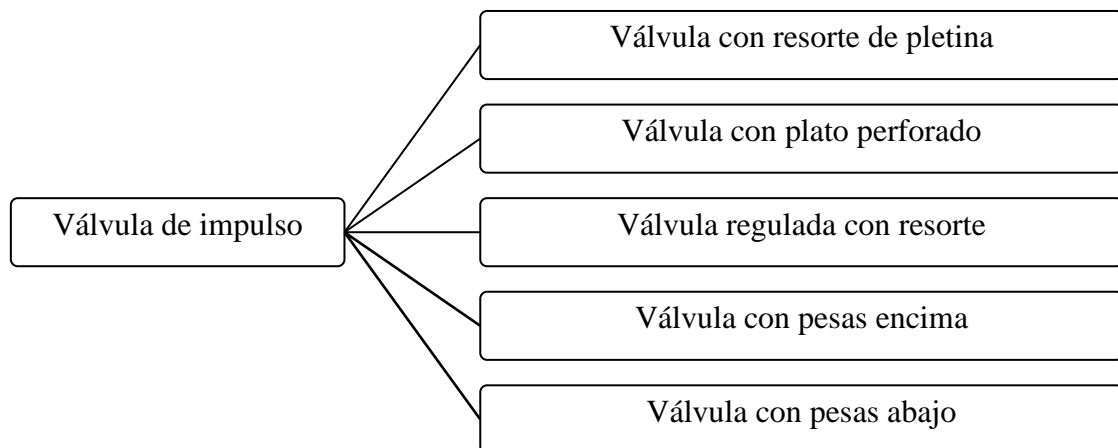


Figura 50. Tipos de válvulas de impulso

Fuente: Elaboración propia

Para el diseño de esta válvula se consideran los siguientes criterios: Debe ser sellado herméticamente para no presentar fugas al cerrarse, construir con material resistente al desgaste expuesto, debe contar con la holgura necesaria para la apertura y cierre de la misma. (Rusvel, 2018).

Diámetro del pie de la válvula de impulso

Para determinarlo se considera el espacio físico que se tiene, para tener comodidad para realizar el desplazamiento longitudinal de la misma. (Rusvel, 2018).

Cálculo del diámetro del orificio del asiento de la válvula

Se determina mediante la siguiente formula:

$$d_v = 1,15 * d_o$$

Donde:

d_v = Diámetro del pie de válvula (m)

d_o = Diámetro del orificio del asiento de la válvula (m)

Espesor del pie de la válvula

Se determina mediante la siguiente formula:

$$e_{vi} = 0,14 * d_o$$

Donde:

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

d_o = Diámetro del orificio del asiento de la válvula (m)

Diámetro del vástago de la válvula de impulso

Se determina mediante la siguiente formula:

$$d_{vs} = 0,12 * d_o + 10$$

Donde:

d_{vs} = Diámetro del vástago de la válvula de impulso (mm)

d_o = Diámetro del orificio del asiento de la válvula (mm)

Longitud del vástago de la válvula de impulso

Rusvel (2018) menciona que: “El vástago tendrá que ser de una longitud apropiada, lo suficiente para acoger las pesas, tuercas, contratueras y facilitar la variación de la carrera de la válvula de impulso.” (p.56).

Fuerza de arrastre para la válvula de impulso

Es la fuerza que produce el cierre de la válvula de impulso, ocurre cuando el fluido acelera lo suficiente. (Rivadeneira y Silva, 2013). Según E. J. Schiller se calcula con la siguiente fórmula:

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

Donde:

F_a = Fuerza de arrastre (kgf)

C_a = Coeficiente de arrastre

A_v = área de la sección transversal de la válvula de impulso (m²)

ρ = Densidad del fluido (kg/m³)

V = Velocidad del fluido (m/s)

g = Gravedad (m/s²)

Fuerza aplicada al codo

Mott (1956) se refiere a lo siguiente: “Cuando las corrientes libres de fluido son obstruidas por objetos estacionarios, se deben ejercer fuerzas externas para mantener el objeto en equilibrio.”, (p.451). Este fenómeno sucede en el codo donde está ubicada la válvula de impulso, debido a que el líquido es forzado a cambiar de trayectoria. (Rusvel, 2018). Se utiliza las siguientes formulas:

$$F_c = \rho * Q_l * (v_2 - v_1)$$

$$F_{cx} = \rho * Q_l * (v_{2x} - v_{1x})$$

$$F_{cy} = \rho * Q_l * (v_{2y} - v_{1y})$$

Donde:

F_c = Fuerza aplicada en el codo (N)

ρ = Densidad del fluido (kg/m³)

Q_l = Caudal libre (m³/s)

V_2 = Velocidad final del fluido (m/s)

V_1 = Velocidad inicial del fluido (m/s)

Carrera de la válvula de impulso

Se determina mediante la siguiente formula:

$$C_{vi} = (25\% \text{ a } 33\%) * d_v$$

Donde:

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

D_v = Diámetro del pie de la válvula (m)

Fuerza boyante o flotante

Mott (1956) se refiere a lo siguiente: “Un cuerpo que se encuentra inmerso en un líquido, ya sea sumergido o flotando, es empujado hacia arriba por una fuerza igual al peso del fluido desplazado. Esta fuerza actúa verticalmente hacia arriba a través del centroide del volumen desplazado.” (p.115). Se puede calcular mediante el principio de Arquímedes, el cual es el siguiente:

$$F_b = \gamma_f + V_d$$

Donde:

F_b = Fuerza boyante (N)

γ_f = Peso específico del fluido (N/m³)

V_d = Volumen desplazado del fluido (m³)

Fuerza Resultante

La fuerza resultante se calcula al realizar un diagrama de cuerpo libre de las fuerzas que actúan sobre la válvula. Se calcula de la siguiente manera:

$$F_R = F_b + F_{cy} - F_d$$

Donde:

F_{cy} = Fuerza aplicada en el codo en la dirección y (N)

F_a = Fuerza de arrastre (N)

F_b = Fuerza boyante (N)

F_R = Fuerza resultante (N)

Peso máximo para la válvula de impulso

El peso de la válvula de impulso, con sus límites, se determina mediante la siguiente formula:

$$0 < W_v < W_{max}$$
$$0 < W_v < \frac{C_a * A_v * \rho * H_S}{M}$$

Donde:

W_v = Peso de la válvula (kg)

C_a = Coeficiente de arrastre

A_v = área de la sección transversal de la válvula de impulso (m²)

ρ = Densidad del agua a 20°C (kg/m³)

H_S = Altura de suministro (m)

M = Sumatoria de pérdidas totales (m)

Peso para la válvula de impulso

El peso de la válvula de impulso se calcula al sumar el peso del pie de la válvula, vástago y de las tuercas utilizadas. Se calcula de la siguiente manera:

$$WT_{valvula} = W_{pv} + W_v + n * W_{pesas}$$

Donde:

$WT_{valvula}$ = Peso total de la válvula (kg)

W_{pv} = Peso del pie de la válvula (kg)

W_v = Peso del vástago (kg)

W_{pesas} = Peso de las pesas para la válvula de impulso (kg)

Peso del pie de la válvula

$$W_{pv} = V_{pieza} * \rho$$

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

Donde:

W_{pv} = Peso del pie de la válvula (kg)

V_{pieza} = Volumen del pie de la válvula (m³)

ρ = Densidad (kg/m³)

e = Espesor del pie de la válvula (m)

R = Radio externo de la pieza (m)

r = Radio interno de la pieza (m)

Peso del vástago

$$W_v = V_{vastago} * \rho$$

$$W_v = \frac{\pi * D^2}{4} * l_v * \rho$$

Donde:

W_v = Peso del vástago (kg)

$V_{vastago}$ = Volumen del vástago (m³)

ρ = Densidad (kg/m³)

l_v = Longitud del vástago (m)

D = Diámetro del vástago (m)

Peso de las pesas para la válvula de impulso

$$W_{pesas} = V_{pesa} * \rho$$

$$W_{pesas} = \pi * (R^2 - r^2) * e * \rho$$

Donde:

W_{pesas} = Peso de las pesas para la válvula de impulso (kg)

V_{Pieza} = Volumen de las pesas para la válvula de impulso (m³)

ρ = Densidad (kg/m³)

e = Espesor de las pesas para la válvula de impulso (m)

R = Radio externo de la pieza (m)

r = Radio interno de la pieza (m)

4. Caja de válvulas

En este lugar se origina la alteración de las ondas de presión. Aquí están ubicadas las válvulas de impulso y de descarga, a su vez sirve de base y soporte de la bomba de ariete. (Rusvel, 2018).

5. Válvula de aire

Esta componente sirve para regular y renovar el aire absorbido por el agua que se pierde de la cámara. Está ubicada por debajo de la válvula de descarga y permite el ingreso cada vez que la cámara de aire lo requiera. (Rengifo y Gallego, 2016).

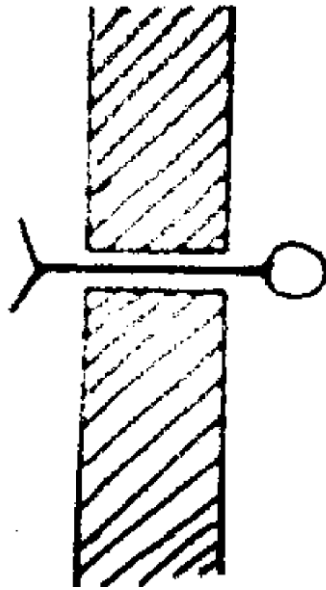


Figura 51. Válvula de aire simple con pasador
Fuente: RUSVEL POLI (2018)

6. Válvula de retención

Es la componente que se encarga de permitir el ingreso de agua a la cámara de aire e impedir el retorno de este, esto se debe al aire comprimido dentro de la cámara. Su diseño consta de los siguientes elementos: una brida, plato de goma, platillo semiesférico y un tornillo de sujeción, la misma se encuentra en la base de la cámara de aire. (Rusvel, 2018). Rivadeneira y Silva (2013) indican que existen tipos de válvulas de retención, las cuales son las siguientes:

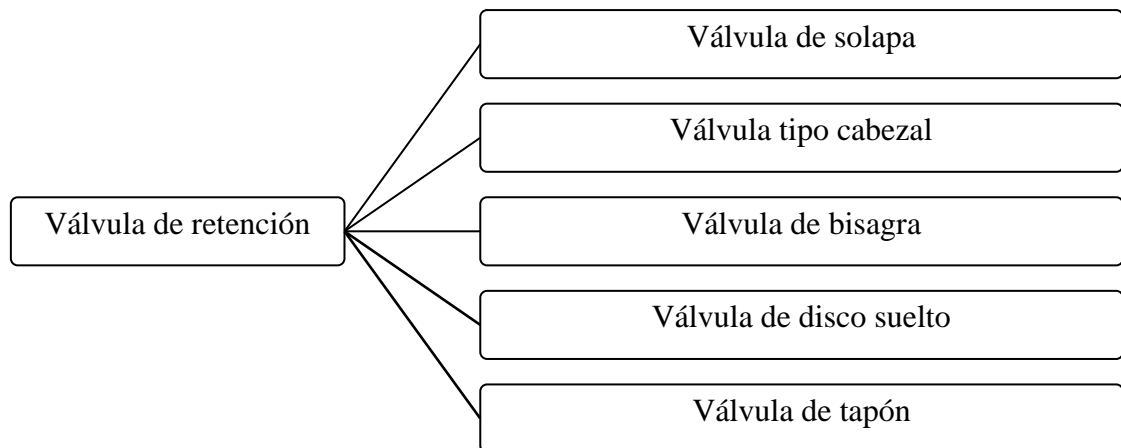


Figura 52. Tipos de válvulas de retención

Fuente: Elaboración propia

7. Cámara de aire

Este dispositivo se encarga de regular el flujo de agua hacia la tubería de descarga, absorbe la sobrepresión, sirve como amortiguador de los golpes de ariete, e impulsa el agua por la tubería, dando de esta forma un flujo casi continuo, logrando un nivel superior al de captación y va montada sobre su propia base en la caja de válvulas. En el interior de dicha cámara se producen dos presiones producto de sus condiciones de funcionamiento, una presión mínima cuando una cantidad de aire soporta la columna de agua presente en la tubería de entrega y otra presión máxima cuando el fluido ingresa y el aire de la cámara se comprime. Para su diseño se considera el volumen de 10 veces el volumen que ingresa por cada golpe. (Rengifo y Gallego, 2016). Según Rivadeneira y Silva (2013) para calcular las presiones al interior de la cámara de aire se utiliza la Ley de Boyle que relaciona el volumen y la presión de una cierta cantidad de gas mantenida a una temperatura constante. La ecuación es la siguiente:

$$P_{minima} * V1_{aire} = P_{maxima} * V2_{aire}$$

Donde:

$P_{\text{mínima}}$ = Presión mínima (Pa)

$V_{1\text{aire}}$ = Volumen inicial en la cámara de aire (m^3)

$P_{\text{máxima}}$ = Presión máxima (Pa)

$V_{2\text{aire}}$ = Volumen final en la cámara de aire (m^3)

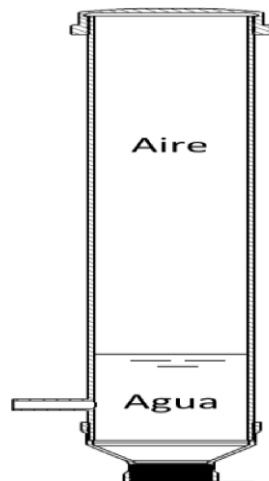


Figura 53. Cámara de aire

Fuente: RUSVEL POLI (2018)

Capacidad de la cámara de aire

El volumen de la tubería de descarga debe ser igual al de la cámara de aire. Para calcular este volumen se utiliza la siguiente formula:

$$V_{te} = V_{ca} = \frac{\pi * d^2}{4} * H_d$$

Donde:

V_{te} = Volumen de la tubería de descarga (m^3)

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

d = diámetro de la tubería de descarga

H_d = Altura de entrega (m)

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

Donde:

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

V_{ca} = Volumen de la cámara de aire (m³)

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

Presión mínima y máxima en la cámara de aire

La presión mínima en la cámara de aire se produce cuando la válvula de descarga se encuentra cerrada, por lo que el aire contenido en la cámara soporta solo la presión ejercida por el agua que se encuentra en la tubería de descarga. (Rusvel, 2018). Para calcular se utiliza la siguiente formula:

$$P_{minima} = H_d * \gamma$$

Donde:

P_{minima} = Presión mínima (Pa)

H_d = Altura de columna de agua (m)

γ = Peso específico del agua (N/m³)

Para calcular el volumen de entrega por ciclo se utiliza la siguiente formula:

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

Donde:

V_{golpe} = Volumen de entrega por golpe (Pa)

q = Caudal de entrega (m³/s)

f = Golpes por minuto de la bomba (golpes/min)

8. Depósito de descarga

Para el diseño de este componente se considera el caudal de descarga de la bomba y el uso que se le dará al agua, si va a ser utilizado en el riego este se diseñara en dependencia del requerimiento hídrico del cultivo. Este tanque deberá de contar con un sistema de rebose y de distribución. (Rusvel, 2018).

Caudal de suministro

Si el sistema es ideal habrá una buena transferencia de flujo, con lo cual el caudal seria calculado de la siguiente manera:

$$q * H_d = Q * H_S$$

Donde:

q = Caudal de entrega (m^3/s)

H_d = Altura de entrega (m)

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

H_S = Altura de suministro (m)

Realmente esto no sucede, ya que existen perdidas por fricción y por los elementos que se utilizan para la configuración de la red de tubería con la finalidad de transportar el fluido. (Rivadeneira y Silva, 2013).

Rivadeneira y Silva (2013) menciona lo siguiente:

“El ariete no utiliza toda el agua proveniente de la tubería de entrada. Su eficiencia puede ir desde 20 hasta 90 % en algunos casos y depende de la relación entre la cota de la toma y la cota de suministro, con el nivel de referencia en el aparato. La eficiencia es directamente proporcional al valor de esta relación, es decir inversamente proporcional a la altura a la que se va a suministrar el agua. Con el fin de calcular el caudal de suministro, si la eficiencia es desconocida se puede utilizar un valor asumido de 50 %.” (p.38).

Entonces se utilizará la siguiente formula:

$$Q = \frac{q * H_d}{n * H_s}$$

Donde:

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

H_d = Altura de entrega (m)

q = Caudal de entrega (m^3/s)

n = Eficiencia de la bomba (%)

H_s = Altura de suministro (m)

Caudal desechado

Es la cantidad de agua que la bomba de ariete expulsa cuando está en funcionamiento. Se determina mediante la siguiente formula:

$$Q_p = Q - q$$

Donde:

Q_p = Caudal desechado (m^3/s)

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

q = Caudal de entrega (m^3/s)

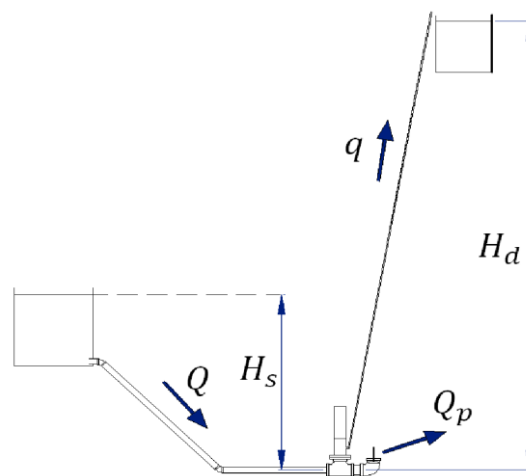


Figura 54. Explicación del caudal desechado

Fuente: RIVADENEIRA Y SILVA (2013)

Rendimiento volumétrico

El rendimiento volumétrico es la relación existente entre el caudal de entrega y el caudal de suministro de una bomba hidráulica. (Rivadeneira y Silva, 2013). Para calcular se utiliza la siguiente formula:

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

Donde:

n_v = Rendimiento volumétrico (%)

q = Caudal de entrega (m^3/s)

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

Potencia de la bomba de ariete

Rivadeneira y Silva (2013) afirma lo siguiente: “La potencia requerida para elevar el fluido es proporcional a la tasa de flujo de agua multiplicado por la altura de descarga de la bomba de ariete y el peso específico del agua”. (p.40). Para calcular se utiliza la siguiente formula:

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

Donde:

P = Potencia (W)

γ = Peso específico (N/m^3)

q = Caudal de entrega (m^3/s)

H_d = Altura de entrega. (m)

2.2.6.7 Aspectos técnicos de la bomba de ariete

Sobre los aspectos técnicos de la bomba de ariete, Oti (2017) afirma lo siguiente:

“Una vez elegido el lugar de emplazamiento para la instalación, en una zona del río con desnivel en forma de cascada, perfecta para colocar la tubería de alimentación en la parte más alta del salto, cumpliendo con las necesidades hidráulicas requeridas, se decidió colocar el ariete hidráulico en una roca plana cerca de la orilla del río, en una zona apropiada, de fácil acceso, en un terreno estable y seguro, sin ningún elemento externo que lo condicionase, a una distancia de 6,50 metros respecto del punto de captura del agua. Asimismo, interesaba que el caudal desechado por la bomba durante su operación fuese devuelto al río, con el fin de causar el menor impacto posible al entorno. La distancia entre la bomba de ariete y la toma de agua debía estar comprendida entre unos valores adecuados para que su funcionamiento fuera óptimo, por lo que la longitud L y diámetro de la tubería de alimentación D no podían ser elegidos al azar.” (p.14)

Cuando ya se toma los datos, se analiza las características del lugar y considerando los parámetros más importantes para tener en cuenta en la instalación de la bomba de ariete. Estos parámetros son los siguientes el caudal disponible, la altura de caída, la longitud de la tubería de suministro y la altura de elevación a donde se pretende bombear el agua. Luego, se procederá a definir el tipo y el tamaño de la bomba de ariete que se va a utilizar en la instalación, también se realizaran los cálculos hidráulicos del ariete. (Oti, 2017)

2.2.6.8 Mantenimiento de la bomba de ariete

Si se fabrica e instala adecuadamente, el mantenimiento es mínimo. El mantenimiento consiste en pintar las partes oxidadas, limpiar los filtros, engrasar los hilos, ajustar tuercas flojas y reponer el aire de la cámara. (Ortega, 1995). Según Ortega (1995) sobre el aire de la cámara de aire comenta lo siguiente:

“Después de un prolongado tiempo de uso, el aire de la cámara, por mezclarse con el agua, poco a poco se consume. Esta situación se hace notar cuando el ariete trabaja de manera brusca, con ruido metálico intenso y con una eficiencia cada vez menor. Por esta razón, cada cierto

tiempo resulta necesario renovar con aire fresco la cámara, usando para ello la válvula de aire incorporada en el ariete, con una válvula de cierre adicional, de manera que la válvula de aire no quede sumergida.” (p.15)

La vida útil de las válvulas puede superar fácilmente los 10 años de funcionamiento continuo, pero se recomienda realizar una revisión de estas en la maestranza de fabricación, por posibles desgastes en algunas de sus partes. En general, se contempla como vida útil de un ariete hidráulico, un lapso de 50 años como mínimo. (Ortega, 1995).

2.2.7 Hidráulica de canales

La hidráulica es una de las ramas de la física, que estudia el comportamiento de los fluidos debido a sus propiedades físicas, y a las fuerzas que se someten relacionadas con su viscosidad.

Energía hidráulica

Es la energía renovable obtenida de los fluidos provenientes de ríos, canales, cuencas, o cualquier otra fuente que aumenten su energía potencial y cinética.

Energía Cinética

Se conoce como el trabajo necesario para aumentar la velocidad de los fluidos desde su estado de reposo hasta alcanzar su máxima velocidad. Se representa mediante la siguiente fórmula:

$$E_c = \frac{1}{2} * m * v^2$$

Donde:

E_c = Energía cinética (J)

m = Es la masa (kg)

v = Es la velocidad (m/s)

Energía potencial

Es la energía mecánica que tiene un cuerpo para realizar trabajo dentro de un campo de fuerzas ya sea electrostático, magnético, gravitatorio, entre otros. Se representa mediante la siguiente fórmula:

$$E_c = m * g * h$$

Donde:

E_p = Energía potencial (J)

m = Es la masa (kg)

g = Es la gravedad (m/s^2)

h = Es la altura (m)

Ecuación de la energía o de Bernoulli

Es la energía total dada por la sumatoria de energía de posición, de presión y de velocidad. Se representa mediante la siguiente fórmula:

$$E = Z + y + \alpha \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

E = Energía total (m-kg/kg)

Z = Es la altura de posición (m)

y = Es el tirante hidráulico (m)

α = Es el coeficiente de coriolis

v = Es la velocidad (m/s)

g = Es la gravedad (m/s^2)

Villon (2007) afirma lo siguiente: “El coeficiente de coriolis (α) representa la relación entre la energía real y la que se obtendría considerando una distribución uniforme de velocidades” (p.54). Se representa con la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{\int v_h^3 dA}{v^3 A}$$

Donde:

α = Es el coeficiente de coriolis

v_h = componente vertical de la velocidad a una profundidad h

dA = Es el diferencial de área correspondiente a v_h

v = Es la velocidad media (m/s)

A = Es el área total (m²)

Energía específica

Villon (2007) afirma lo siguiente: “La energía específica en la sección de un canal se define como la energía por kilogramo de agua que fluye a través de la sección, medida con respecto al fondo del canal” (p.145). Se representa mediante la siguiente fórmula:

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

Donde:

E = Energía específica (m-kg/kg)

Q = Es el caudal (m³/s)

g = Es la gravedad (m/s²)

A = Es el área (m²)

Flujo uniforme

Es cuando los parámetros hidráulicos (tirante, área, velocidad, etc.) no cambian con respecto al espacio. Se refiere a que la profundidad, área transversal, velocidad y caudal en cada sección del canal se mantiene constante. Esto ocasiona que la pendiente de la línea de energía, de la superficie de agua y la del fondo del canal sean numéricamente iguales y paralelas. (Villon, 2007). Esto da la siguiente expresión:

$$S_E = S_W = S_O = S$$

Donde:

S_E = Pendiente de la línea de energía

S_W = Pendiente de la superficie libre de agua

S_O = Pendiente del fondo del canal

S = Pendiente

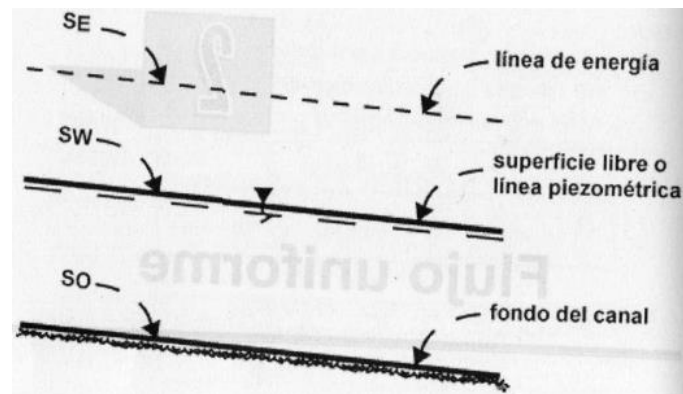


Figura 55. Pendientes de la línea de energía, piezométrica y fondo del canal

Fuente: VILLÓN (2007)

Fórmula de Chezy

En 1768 el ingeniero francés Antoine Chezy recibió el encargo de diseñar un canal para el suministro de agua a París, esto originó la “Fórmula de Chezy”. Este ingeniero tuvo varias experiencias, lo que le permitió establecer la fórmula para calcular la velocidad media del flujo. (Villon, 2007). Esta se representa de la siguiente manera:

$$v = C\sqrt{RS}$$

Donde:

v = Velocidad media (m/s)

C = Coeficiente de Chezy

R = Radio hidráulico (m)

S = Pendiente (m/m)

Fórmula de Manning

Es la fórmula que más se usa para canales en todo el mundo. Fundamentada por la fórmula de Chezy con un coeficiente C. (Villon, 2007). Esta fórmula es la siguiente:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

Q = Es el caudal (m³/s)

n = Es el coeficiente de rugosidad

A = Es el área de la sección transversal (m²)

R = Radio hidráulico (m)

S = Pendiente (m/m)

Los valores de n dependen del revestimiento del canal. Algunos valores serán extraídos de la siguiente tabla:

Tabla 11. Valores de n, coeficiente de Manning

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
Conductos cerrados que fluyen parcialmente llenos			
Metal			
Latón, liso	0,009	0,010	0,013
Metal corrugado drenajes de lluvias	0,021	0,024	0,030
No Metal			
Vidrio	0,009	0,010	0,013
Concreto alcantarilla con curvas, conexiones y algo de basuras	0,011	0,013	0,014
Concreto sin pulir	0,012	0,014	0,016
Arcilla canaleta común de baldosas	0,011	0,013	0,017
Excavado o dragado			
En tierra, recto y uniforme limpio, después de exposición a la intemperie	0,018	0,022	0,025

Corrientes naturales			
Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)			
Corrientes en planicies limpias, rectas, máximo nivel sin montículos ni pozos profundos	0,025	0,030	0,033

Fuente: VILLÓN (2004)

Diseño de canales con flujo uniforme

Lo más común en canales de tierra es la sección trapezoidal, por lo cual serán detalladas las recomendaciones para un óptimo diseño. (Villon, 2007).

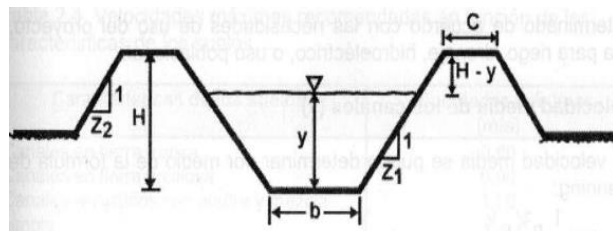


Figura 56. Elementos geométricos de la sección transversal de un canal

Fuente: VILLÓN (2007)

Caudal (Q)

Tiene que ser un dato de partida, que se calcula a partir de módulo de riego, la superficie de riego y las pérdidas por infiltración durante la conducción. Lo que se busca es dimensionar el canal para conducir el caudal de acuerdo con las necesidades del uso que pueden ser riego, drenaje, hidroeléctrico o uso poblacional. (Villon, 2007).

Velocidad media (v)

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

v = velocidad media (m/s)

n = Coeficiente de rugosidad

R = Radio hidráulico (m)

S = Pendiente (m/m)

En los canales varían en un ámbito cuyos límites son: la velocidad mínima y máxima. Que al exceder estos límites se producen la sedimentación y la erosión respectivamente. En los canales de tierra los valores para dichos límites están entre 0,30 y 0,90 m/s. las velocidades máximas recomendadas están en función a las características del suelo. (Villon, 2007). Estas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 12. Velocidades máximas recomendadas en función a las características del suelo

Características del suelo	Velocidades máximas
Canales en tierra franca	0,60
Canales en tierra arcillosa	0,90
Canales revestidos con piedra y mezcla simple	1,00
Canales con mampostería de piedra y concreto	2,00
Canales revestidos con concreto	3,00
Canales en roca pizarra	1,25
Canales en roca areniscas consolidadas	1,50
Canales en roca dura, granito, etc.	3,00 – 5,00

Fuente: VILLÓN (2007)

Pendiente admisible en canales de tierra (S)

Debe ser la máxima que permita dominar la mayor área de tierra y a las velocidades que no causen erosión. Las pendientes máximas admisibles varían

según la textura. (Villon, 2007). Las pendientes máximas según el tipo de suelo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 13. Pendientes máximas en función al tipo de suelo

Tipos de suelo	Pendientes máximas (‰)
Suelos sueltos	0,50 – 1,00
Suelos francos	1,50 – 2,50
Suelos arcillosos	3,00 – 4,50

Fuente: VILLÓN (2007)

Talud (Z)

Es la relación de la proyección horizontal y vertical de la inclinación de las paredes laterales, esta depende de la clase de terreno donde se encuentran ubicado el canal. Si el material es muy inestable, menor será el ángulo de inclinación del talud. (Villon, 2007). Los taludes para distintos materiales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 14 Talud en función al tipo de material

Características de los suelos	Canales poco profundos	Canales profundos
Roca con buenas condiciones	Vertical	0,25 : 1
Arcillas compactas o conglomerados	0,5 : 1	1 : 1
Limos arcillosos	1 : 1	1,5 : 1
Limoso – arenoso	1,5 : 1	2 : 1
Arenas sueltas	2 : 1	3 : 1

Fuente: VILLÓN (2007)

Coeficiente de rugosidad (n)

Para canales de tierra los valores están entre los valores de 0,025 y 0,030, y para canales revestidos están entre 0,013 y 0,015. (Villon, 2007). Otros valores para este coeficiente se mostraron en la Tabla 5.

Ancho de solera (b)

El fijar este dato al inicio resulta muy útil para manejar con facilidad las fórmulas de cálculo para el tirante hidráulico. Para canales pequeños este ancho será igual al mismo de la pala de maquinaria de construcción, en otros casos este dato se basa en el caudal. (Villon, 2007). Esto se demuestra en la siguiente tabla:

Tabla 15. Ancho de base en función al caudal

Caudal (m ³ /s)	Ancho de base (m)
Menor de 0,100	0,30
Entre 0,100 y 0,200	0,50
Entre 0,200 y 0,400	0,75
Mayor de 0,400	1,00

Fuente: VILLÓN (2007)

Tirante hidráulico (y)

Es la altura entre el espejo de agua y el fondo del canal. Villon (2007) afirma que se pueden usar las siguientes relaciones:

- Sección de máxima eficiencia hidráulica:

$$y = \frac{b}{2 \tan \tan \frac{\theta}{2}}$$

- Sección de mínima infiltración:

$$y = \frac{b}{4 \tan \tan \frac{\theta}{2}}$$

– Valor medio de las dos anteriores:

$$y = \frac{b}{3 \tan \tan \frac{\theta}{2}}$$

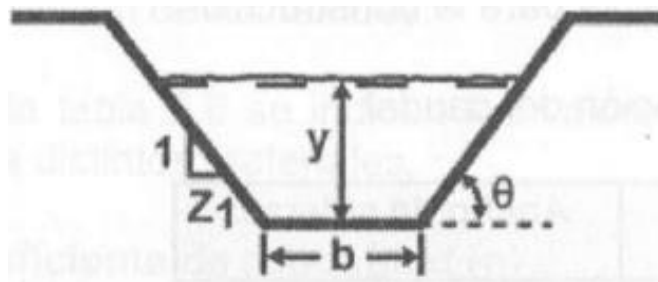


Figura 57. Sección transversal de un canal trapezoidal

Fuente: VILLÓN (2007)

Donde:

y = Tirante hidráulico (m)

b = Ancho de solera (m)

θ = Angulo de inclinación del talud ($^{\circ}$)

Z = Talud

Área hidráulica (A)

Se calcula utilizando la siguiente relación geométrica:

$$A = (b + Zy)y$$

Donde:

A = Área hidráulica (m^2)

b = Ancho de solera (m)

Z = Talud

y = Tirante hidráulico (m)

Borde libre (B. L.)

Es la altura libre desde la superficie de agua hasta la corona de los bordes. Para canales de tierra se utiliza la siguiente relación:

$$B. L. = \frac{y}{3}$$

Donde:

B. L. = Borde libre (m)

y = Tirante hidráulico (m)

También se puede designar el borde libre en relación con el caudal y el ancho de solera, tal como se aprecia en las siguientes tablas:

Tabla 16. Borde libre en función al caudal

Caudal (m ³ /s)	Borde libre (m)
Menores que 0,5	0,30
Mayores que 0,5	0,40

Fuente: VILLÓN (2007)

Tabla 17. Borde libre en función al ancho de solera

Ancho de solera (m)	Borde libre (m)
Hasta 0,80	0,40
de 0,80 a 1,50	0,50
de 1,50 a 3,00	0,60
de 3,00 a 20,00	1,00

Fuente: VILLÓN (2007)

Profundidad total (H)

Se calcula utilizando la siguiente relación:

$$H = B.L. + y$$

Donde:

H = Profundidad total (m)

B. L. = Borde libre (m)

y = Tirante hidráulico (m)

Ancho de corona (C)

Este factor depende del uso del canal. En canales grandes tiene un valor mínimo de 6,50 m y en canales más pequeños puede ser aproximadamente del mismo tamaño del tirante normal. Se puede considerar un ancho de corona de 0,60 m para caudales menores a 0,50 m³/s y 1,00 m para caudales mayores. (Villon, 2007).

2.3 Definición de términos básicos

- Manómetro: Es un instrumento de medida que mide la presión dentro de un elemento cerrado, puede medir la presión de un fluido este puede desde el agua, chocolate o gas licuado entre otros fluidos. Su unidad varía desde N/m², atmósferas, milímetros de mercurio o PSI.
- Propeller: Es un software online que con ayuda de servidores que se ubican en el extranjero, se puede procesar de manera eficiente imágenes de levantamientos topográficos obtenidos por un vuelo de dron especializado, de manera automática, indicando previamente puntos de control, dando como resultado levantamientos topográficos precisos en menor tiempo, con diferente densidad de puntos, eliminando la necesidad de usar software como Pix4d.
- Válvula check de paso: Es un tipo de válvula de funcionamiento muy simple, pero de mucha ayuda en lo que respecta el retorno de los fluidos, este puede estar presente desde tanques elevados para evitar que el agua no regrese desde su

tubería de abastecimiento, hasta un sumidero de desagüe logrando evitar el retorno aguas negras.

- Válvula de aire: Es una válvula para liberar las bolsas de aire dentro de una tubería, con la aplicación de esta válvula de aire se puede tener un flujo más constante y no con interrupciones de flujo debido al aire almacenado dentro de una tubería, que pueden generar un sesgo de error en la toma de dato del caudal.
- PVC: Es la abreviatura del policloruro de vinilo, este derivado del petróleo es el material más eficiente para producir las tuberías de agua, debido a su bajo costo y su buen desempeño logrando impermeabilizar y trasladar un fluido por medio de una tubería.
- Polietileno: Es un material usado como materia prima para la producción de mangueras de riego, bolsas, mantas impermeabilizantes, es uno de los derivados del petróleo que más se producen en el mundo.
- HDPE: Es un material muy usado para tuberías desde mangueras para el regadío hasta es uso de alcantarillas en carreteras, las siglas HDPE significa polímero de alta densidad en inglés, junta las propiedades de ligereza y alta resistencia a los impactos haciendo muy eficiente en los usos ya mencionados.
- Válvula de pie: Es un tipo de válvula check, que posee una canastilla al final de la válvula haciendo que fluido no pueda retornar y salga a la superficie, esta válvula es ideal para el uso de la bomba de ariete porque genera fácilmente un golpe de ariete que es aprovechado por bomba, sin esta válvula de pie la bomba no puede funcionar.
- Potencial gravitatorio: Es un tipo de energía que genera al tener una cota, esta energía puede ser aprovechado si por ejemplo un fluido cae por una pendiente y esta energía junto a la energía cinética puede ser transformada la presión tal como hace la bomba de ariete impulsando el fluido a una cota mayor.
- Limo: Es un tipo de suelo muy fino que pasa la malla 200, este suelo tiene una capacidad excepcional de impermeabilidad haciendo que sea muy difícil drenar por el suelo.
- Bomba centrífuga: Es una bomba que transforma la energía, dándole velocidad y presión al fluido moviendo mucho más caudal, la eficiencia de esta bomba es

muy buena para elevar fluidos, pero requieren electricidad y mantenimiento periódico.

- Captación: Es una zona donde se recolecta el agua para poder transportarla, por lo general en esta zona se construyen pequeños embalses para poder almacenar y subir la cota evitando la turbulencia para posteriormente ser transportada por tuberías o canales.
- Golpe de ariete: Es un golpe producido por el cierre intempestivo de una válvula interrumpiendo el flujo y generando presiones que en casos extremos puede romper una tubería, debido a que las líneas de flujo impactan con las que viene en el otro sentido dando lugar a sobrepresiones que puede sobrepasar la velocidad del sonido dañando a la tubería.
- Precipitación: Es la medición de la lluvia, tiene como unidad de medida milímetros por año [mm/año], este valor puede ser determinado usando pluviómetro.
- Aforo: Es el método para medir el caudal de un líquido en un canal, hay distintos tipos de métodos de aforo que están en función del tiempo, área, velocidad, vertederos u orificios entre otros.
- Infiltración: Es un proceso donde el agua traspasa al suelo, siendo importante para los procesos de regadío, este es un caudal calculable que depende de las características del suelo y debe ser restado al caudal del diseño.

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis Principal

La propuesta de bomba de ariete será la que logre optimizar eficientemente el riego del cultivo de maíz con estricto cumplimiento de parámetros hidráulicos y mecánicos.

3.1.2 Hipótesis Secundarias

- a) La característica topográfica de la zona de estudio se identifica por tener un relieve relativamente llano, con pendiente de 2 a 3% y un suelo con un bajo índice de permeabilidad.
- b) Los parámetros hidráulicos podrían ser carga, potencia, caudal y estructura metálica que de forma armónica permite la construcción de la bomba de ariete
- c) El canal será de forma trapezoidal con ancho de base de 0.200m, talud de 1:0.5, altura de tirante de 0.05m y altura total de 0.10m, sin revestimiento y con la misma pendiente del terreno.
- d) El área de riego para el cultivo de maíz en el valle del río Pativilca será de 0.5 hectáreas

3.2 Variables

Según Manuel Borja S. en su libro de Metodología de la investigación científica para ingenieros nos indica que una variable independiente es la variable que produce el efecto o es la causa de la Variable Dependiente. Es representada por la letra “X”

Variable Independiente: Bomba de ariete

Borja (2012) sobre la variable dependiente afirma: “Es el resultado o efecto producido por la acción de la variable independiente. Se la representa por la letra “Y”. Así se puede definir la relación $Y = f(X)$ ” (p.23).

Variable Dependiente 1: Riego de cultivo

3.2.1 Definición conceptual de las variables

Borja (2012) afirma: “Una variable es una característica, atributo, propiedad o cualidad que puede estar o no presente en el objeto de estudio” (p.23).

Bomba de ariete:

“Es una máquina hidráulica que utiliza la energía de una cantidad de agua situada a una altura ligeramente superior (el desnivel de un río, presa, acequia u otro depósito o caudal), con el propósito de elevar una parte de esa agua hasta una altura superior, sin usar la energía eléctrica o combustibles fósiles. El agua suministrada desde la fuente de captación desciende por gravedad por la tubería de carga hasta la bomba para provocar una sobrepresión ocasionada por la apertura y cierre continuo de una válvula. Esta sobrepresión producida es el origen del fenómeno físico conocido como golpe de ariete y es el principio para su funcionamiento.” (p.224).

Riego de Cultivo:

“Las definiciones clásicas de riego establecían de un medio de aplicar agua artificialmente a los cultivos para complementar la acción de la lluvia. El estudio de las relaciones hídricas en el suelo y de los parámetros que intervenían en el riego, llevaron a la conclusión de que esta definición era muy general, pues había, además que poner el agua a disposición de la planta para que está pudiera aprovecharla eficientemente. Así surge una definición más concreta del riego, como un medio artificial de aplicar agua a la zona radicular de las plantas cultivadas de forma que la utilicen al máximo.” (p.413)

3.2.2 Operalización de las variables

Borja (2012) sobre la Operalización de variables afirma: “Es el proceso mediante el cual se explica cómo se medirán las variables formuladas en la hipótesis, para lo cual en muchos casos habrá que descomponerlas en indicadores susceptibles de poder medirse” (p.24). También nos dice que la investigación no podrá ser desarrollada si no se emplean indicadores para medir las variables de las hipótesis planteadas.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y nivel

Borja (2012) define a la investigación de tipo aplicada como:

“Plantea que una forma confiable para conocer la realidad es a través de la recolección y análisis de datos, con lo que se podría contestar las preguntas de la investigación y probar las hipótesis. Este tipo de investigación confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población.” (p.11)

La presente investigación fue de tipo aplicada con enfoque cuantitativo, ya que tomará acciones con la finalidad de resolver problemas de necesidad de la población.

Borja (2012) sobre la investigación de nivel descriptivo afirma: “Investigan y determinan las propiedades y características más representativas de los objetos de estudio como personas, viviendas, concreto armado, probetas o cualquier otro fenómeno que se quiera estudiar” (p.13).

Borja (2012) sobre la investigación de nivel explicativa afirma: “Su interés se centra en explicar porque ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da este, o porque se relaciona entre dos o más variables” (p.13).

Esta investigación fue de nivel descriptiva - explicativa porque busca describir determinadas características de los objetos estudiados y es explicativa porque se busca explicar cómo nuestra bomba de ariete será solución para generar mayor cosecha de maíz.

4.2 Diseño de Investigación

Borja (2012) afirma: “Las investigaciones no experimentales no establecen, ni pueden probar relaciones causales directas entre dos variables o entre dos elementos” (p.13).

Según Borja, (2012) define que se denomina investigación transversal cuando se describe el fenómeno estudiado en un momento determinado de tiempo. El fenómeno puede evolucionar, pero esto no genera importancia.

La presente investigación fue no experimental con un diseño transversal.

4.3 Población y muestra

Borja (2012) sobre la población afirma:

“Desde un punto de vista estadístico, se denomina población o Universo al conjunto de elementos o sujetos que serán motivo de estudio. Si queremos estudiar, por ejemplo, el coeficiente de inteligencia de los estudiantes universitarios del Perú, el universo serán todos los estudiantes universitarios a nivel nacional. Si quisiéramos estudiar los problemas estructurales de las viviendas en la ciudad de Chiclayo, el Universo será todas las viviendas ubicadas en esta ciudad.” (p.30)

Para esta investigación se seleccionó como población todos los tipos de bombas hidráulicas que satisfagan el requerimiento hídrico del cultivo de maíz.

Borja (2012) sobre la muestra afirma: “Dado que un estudio de este tipo resultaría muy costoso y extenso, salvo en el caso de los censos donde si hay que estudiar a toda la población, tenemos que utilizar la estadística para seleccionar una fracción de la población” (p.32). Borja (2012) sobre las muestras no probabilísticas afirma lo siguiente:

“En las muestras no probabilísticas no es posible calcular el error estándar, así como el nivel de confianza con el que hacemos la estimación. Sin embargo, este tipo de muestreo es muy importante en estudios cualitativos. En este caso la selección de los elementos no depende de la probabilidad sino del criterio del investigador.” (p.32)

La muestra seleccionada para este proyecto será una bomba de ariete y se seleccionó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia. Las características generales de la bomba de ariete es su capacidad de elevar el recurso hídrico a una cota mayor de donde fue captada utilizando el golpe de ariete, acumulando presión e impulsando el agua a un sector de mayor altura.

Las partes principales de la bomba de ariete son las siguientes:

- Zona de captación
- Zona de golpe de Ariete
- Zona de Almacenamiento de presión
- Zona de impulsión

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1 Tipos de técnicas

En esta investigación las técnicas usadas son las siguientes:

- La observación directa: La observación es la percepción de un hecho, fenómeno o conjunto de estos. El objeto de la observación es un hecho de la realidad. Es directa ya que no se observan sentimientos sino conductas, no se observan enfermedades sino síntomas. (Borja, 2012). Según Tamayo (2007) define a la observación directa de la siguiente manera: “Es aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación”. (p.193).
- La observación participativa: Es cuando se involucra la interacción social entre el investigador y los informantes en el ambiente, y durante la cual se recogen datos de modo sistemático y no intrusivo. (Taylor y Bogdan, 1984). El investigador se involucra dentro de los procesos de quienes observa, y éste es plenamente aceptado, por lo tanto, se estima que lo observado no se ve afectado por la acción del observador. (Padua, 1987).

4.4.2 Instrumentos

Los instrumentos utilizados fueron:

- Normas técnicas peruanas: OS.080 Estaciones de bombeo de aguas residuales y OS.090 (2009) Plantas de Tratamiento de aguas residuales.
- Estudio de la autoridad nacional del agua (ANA) Evaluación de Recursos Hídricos en la Cuenca de Pativilca.
- Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje.
- Manual para productores – Minagri.
- Catálogos de bombas.
- Catalogo PVC.

- Los softwares que se utilizarán en esta investigación son los siguientes: Google Earth Pro, AutoCAD CIVIL 3D 2020, H CANALES v.3.0 y Microsoft Office 2016: Excel, Word y Power Point.

4.4.3 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

En esta investigación se utilizará las normas técnicas nacionales y manuales actualizados para realizar un correcto estudio. Los softwares utilizados para esta investigación están debidamente instalados correctamente con su licencia educativa, esto nos da la confiabilidad que los resultados son correctos. Según el catálogo de bombas, este tipo de bomba es confiable, ya que nos hará ganar altura para su distribución por gravedad y su funcionamiento no depende de energía eléctrica y fósil.

4.4.4 Procedimientos para la recolección de datos

- Se seleccionó la zona de ubicación de la investigación por Google Earth.
- Se revisó información sobre el tema de investigación.
- Se revisará las normas que se usarán para el diseño de Bomba de ariete.
- Se realizó el estudio Topográfico en la zona de estudio.
- Se recolectó datos de estudios de Mecánico de Suelos.
- Se elaboró los planos topográficos del lugar de estudio con el programa AutoCAD CIVIL 3D 2020.
- Se realizó el estudio Hidrológico e Hidráulico.
- Se determinó los parámetros hidráulicos para el diseño de la bomba de ariete y diseño del canal de riego.
- Se determinó los parámetros estructurales para el diseño de la bomba de ariete.
- Se realizó el diseño de la bomba de ariete y canal de riego.
- Se modelo el canal en el programa H CANALES.
- Se obtuvo el área de riego de cultivo de maíz.

4.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Al obtener los datos topográficos de las distintas fuentes mencionadas anteriormente, se procederá a elaborar los planos topográficos de la quebrada del río Pativilca; con el apoyo del software AutoCAD-CIVIL3D 2020. Al aforar tendremos el caudal de suministro y con eso se procederá a diseñar cada componente de la bomba y realizar la construcción de la misma. Al obtener el caudal de descarga se procederá a diseñar el canal de riego de sección trapezoidal para el riego de maíz, con esto ya obtendremos el área real de riego.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Topografía y suelo de la zona de estudio

Ubicación geográfica

La zona de estudio geográficamente se ubica en las siguientes coordenadas UTM:

Este: 224819.00 m

Sur: 8822988.00 m

Zona: 18 L

En la siguiente imagen se muestra el mapa de ubicación geográfica de zona de estudio que es la quebrada del río Pativilca, Distrito Pativilca, Departamento Lima.

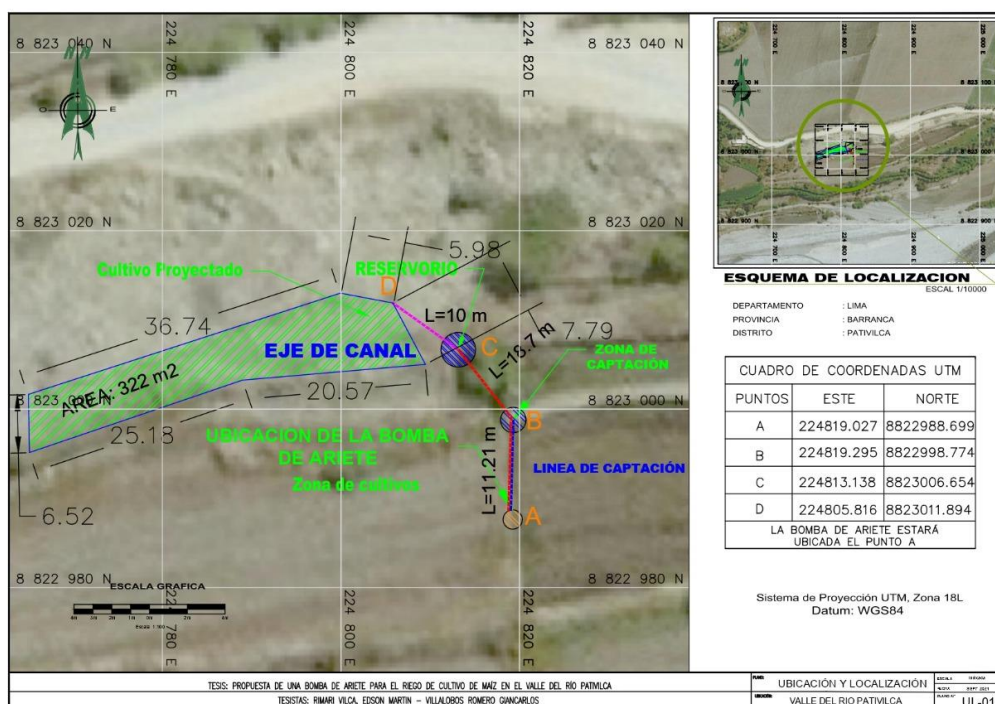


Figura 58. Plano de ubicación geográfica de la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia usando el software AutoCAD Civil3D 2020

Vías de acceso y comunicación

La zona de estudio es accesible desde la ciudad de Lima, punto de partida será la Universidad Ricardo palma, a través de la carretera Panamericana Norte con un

recorrido de 212 km hasta el distrito de Pativilca. Para dirigirse a la quebrada del Río se accede por la carretera Carretera Barranca Ocos Cajatambo y se recorre 45 km hacia el centro poblado Allpas. Por el noroeste existen trochas carrozables que conectan distintos poblados y la provincia de Ancash.

Topografía

El relieve del distrito de Pativilca presenta una topografía con pequeñas elevaciones constituidas por depósitos de arenas. El intervalo de cotas oscila desde 458.995 m.s.n.m. hasta 460.398 m.s.n.m. La topografía es ondulada con pendiente de 13%. Dentro del área de la cuenca del río Pativilca existe información cartográfica y topográfica diversa, preparada y elaborada por entes especializados del Estado, órganos sectoriales de desarrollo y levantamientos topográficos con mayor detalle elaborados para proyectos especiales en el sector agricultura y minería. (MINEM, 1998). Para este estudio se obtuvo la topografía con la ayuda de los siguientes softwares como lo son Google Earth Pro, Global Mapper y finalmente la realización de los planos en Civil 3D 2020.

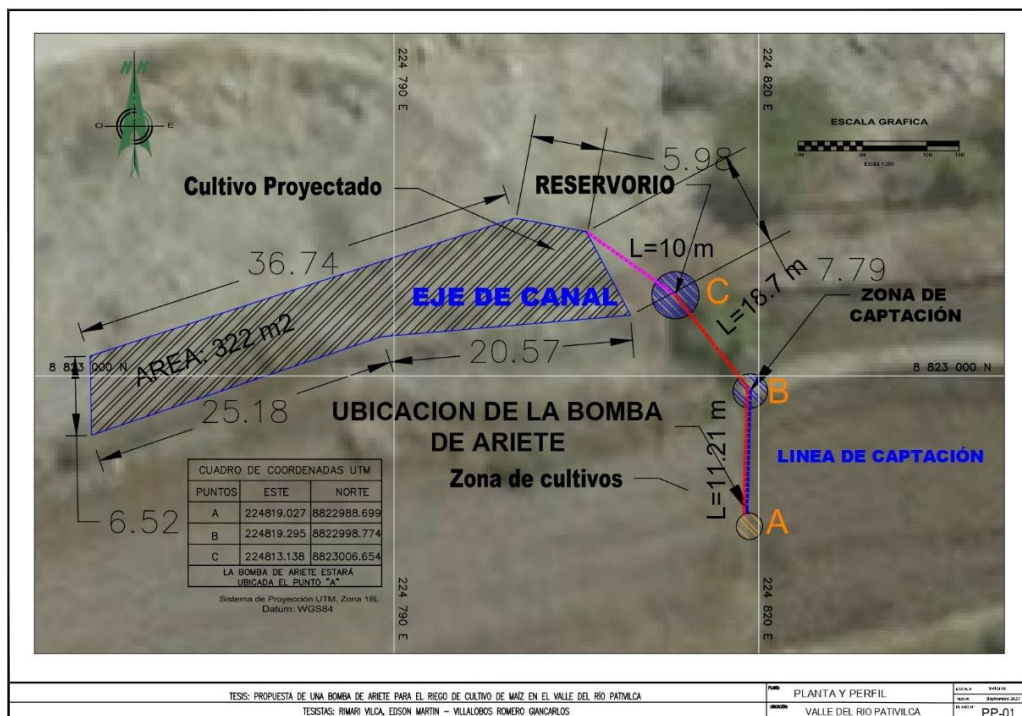


Figura 59. Plano de planta de la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia usando el software AutoCAD Civil3D 2020

Toma de datos del perfil longitudinal

Para obtener el perfil del terreno se hizo el levantamiento con wincha, jalones y distanciómetro de láser, usando el método de la manguera, midiendo nueve veces en cada punto. Obteniendo los siguientes datos:

En la Tabla 18 se colocó los resultados de las mediciones de las distancias verticales y horizontales para realizar el perfil del terreno de estudio. La medición se realizó nueve veces para cuando se promedie los datos tener un resultado con más exactitud. Se dio como resultado para el Punto 1 una distancia vertical de 2,900 m y una distancia vertical de 1,000 m.

Tabla 18. Mediciones en campo del Punto 1

Punto 1		
Número de lecturas	Distancia horizontal	Lectura vertical
1	2.900	1.000
2	2.889	1.001
3	2.870	0.997
4	2.906	0.990
5	2.939	1.000
6	2.907	1.008
7	2.857	1.009
8	2.932	0.995
9	2.899	1.003
Promedio	2.900	1.000

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 19 se colocó los resultados de las mediciones de las distancias verticales y horizontales para realizar el perfil del terreno de estudio. La medición se realizó nueve veces para cuando se promedie los datos tener un resultado con más exactitud.

Se dio como resultado para el Punto 2 una distancia vertical de 3,496 m y una distancia vertical de 0,687 m.

Tabla 19. Mediciones en campo del Punto 2

Punto 2		
Número de lecturas	Distancia horizontal	Lectura vertical
1	3.495	0.691
2	3.494	0.688
3	3.486	0.681
4	3.499	0.691
5	3.503	0.690
6	3.497	0.690
7	3.498	0.684
8	3.499	0.681
9	3.497	0.687
Promedio	3.496	0.687

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 20 se colocó los resultados de las mediciones de las distancias verticales y horizontales para realizar el perfil del terreno de estudio. La medición se realizó nueve veces para cuando se promedie los datos tener un resultado con más exactitud. Se dio como resultado para el Punto 3 una distancia vertical de 4,502 m y una distancia vertical de 1,035 m.

Tabla 20. Mediciones en campo del Punto 3

Punto 3		
Número de lecturas	Distancia horizontal	Lectura vertical
1	4.506	1.039
2	4.504	1.034

3	4.506	1.037
4	4.502	1.030
5	4.503	1.030
6	4.498	1.036
7	4.499	1.037
8	4.505	1.038
9	4.498	1.031
Promedio	4.502	1.035

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 21 se colocó los resultados de las mediciones de las distancias verticales y horizontales para realizar el perfil del terreno de estudio. La medición se realizó nueve veces para cuando se promedie los datos tener un resultado con más exactitud. Se dio como resultado para el Punto 4 una distancia vertical de 5,330 m y una distancia vertical de 0,479 m.

Tabla 21. Mediciones en campo del Punto 4

Punto 4		
Número de lecturas	Distancia horizontal	Lectura vertical
1	5.331	0.475
2	5.331	0.476
3	5.330	0.478
4	5.328	0.483
5	5.327	0.479
6	5.333	0.482
7	5.327	0.480
8	5.333	0.480
9	5.326	0.476
Promedio	5.330	0.479

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 22 se colocó los resultados de las mediciones de las distancias verticales y horizontales para realizar el perfil del terreno de estudio. La medición se realizó nueve veces para cuando se promedie los datos tener un resultado con más exactitud. Se dio como resultado para el Punto 5 una distancia vertical de 6,100 m y una distancia vertical de 0,750 m.

Tabla 22. Mediciones en campo del Punto 5

Punto 5		
Número de lecturas	Distancia horizontal	Lectura vertical
1	6.097	0.746
2	6.100	0.748
3	6.102	0.750
4	6.104	0.751
5	6.102	0.752
6	6.098	0.753
7	6.098	0.751
8	6.100	0.754
9	6.097	0.749
Promedio	6.100	0.750

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 23 se colocó los resultados de las mediciones de las distancias verticales y horizontales para realizar el perfil del terreno de estudio. La medición se realizó nueve veces para cuando se promedie los datos tener un resultado con más exactitud. Se dio como resultado para el Punto 6 una distancia vertical de 5,400 m y una distancia vertical de 0,786 m.

Tabla 23. Mediciones en campo del Punto 6

Punto 6		
Número de lecturas	Distancia horizontal	Lectura vertical
1	5.402	0.782
2	5.404	0.790
3	5.401	0.789
4	5.396	0.789
5	5.398	0.788
6	5.399	0.785
7	5.402	0.782
8	5.399	0.784
9	5.401	0.787
Promedio	5.400	0.786

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 24 se colocó los resultados de las mediciones de las distancias verticales y horizontales para realizar el perfil del terreno de estudio. La medición se realizó nueve veces para cuando se promedie los datos tener un resultado con más exactitud. Se dio como resultado para el Punto 7 una distancia vertical de 4,290 m y una distancia vertical de 0,782 m.

Tabla 24. Mediciones en campo del Punto 7

Punto 7		
Número de lecturas	Distancia horizontal	Lectura vertical
1	4.289	0.781
2	4.291	0.782
3	4.292	0.785
4	4.288	0.782
5	4.288	0.786
6	4.289	0.780

7	4.291	0.778
8	4.291	0.784
9	4.292	0.782
Promedio	4.290	0.782

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 25 se colocó los resultados de las mediciones de las distancias verticales y horizontales para realizar el perfil del terreno de estudio. La medición se realizó nueve veces para cuando se promedie los datos tener un resultado con más exactitud. Se dio como resultado para el Punto 8 una distancia vertical de 3,900 m y una distancia vertical de 0,696 m.

Tabla 25. Mediciones en campo del Punto 8

Punto 8		
Número de lecturas	Distancia horizontal	Lectura vertical
1	3.897	0.697
2	3.903	0.700
3	3.896	0.695
4	3.898	0.697
5	3.898	0.692
6	3.902	0.692
7	3.899	0.698
8	3.902	0.699
9	3.901	0.694
Promedio	3.900	0.696

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 26 se colocó los resultados de las mediciones de las distancias verticales y horizontales para realizar el perfil del terreno de estudio. La medición se realizó

nueve veces para cuando se promedie los datos tener un resultado con más exactitud. Se dio como resultado para el Punto 9 una distancia vertical de 3,920 m y una distancia vertical de 0,580 m.

Tabla 26. Mediciones en campo del Punto 9

Punto 9		
Número de lecturas	Distancia horizontal	Lectura vertical
1	3.921	0.584
2	3.918	0.576
3	3.918	0.580
4	3.921	0.584
5	3.919	0.577
6	3.918	0.580
7	3.918	0.580
8	3.920	0.580
9	3.923	0.581
Promedio	3.920	0.580

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 27 se colocó los resultados de las mediciones de las distancias verticales y horizontales para realizar el perfil del terreno de estudio. La medición se realizó nueve veces para cuando se promedie los datos tener un resultado con más exactitud. Se dio como resultado para el Punto 10 una distancia vertical de 3,650 m y una distancia vertical de 0,150 m.

Tabla 27. Mediciones en campo del Punto 10

Punto 10		
Número de lecturas	Distancia horizontal	Lectura vertical
1	3.653	0.150

2	3.648	0.153
3	3.651	0.150
4	3.649	0.147
5	3.651	0.146
6	3.651	0.154
7	3.650	0.150
8	3.647	0.149
9	3.649	0.150
Promedio	3.650	0.150

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 28 se colocó los resultados de las mediciones de las distancias verticales y horizontales para realizar el perfil del terreno de estudio. La medición se realizó nueve veces para cuando se promedie los datos tener un resultado con más exactitud. Se dio como resultado para el Punto 11 una distancia vertical de 1,740 m y una distancia vertical de 0,290 m.

Tabla 28. Mediciones en campo del Punto 11

Punto 11		
Número de lecturas	Distancia horizontal	Lectura vertical
1	1.742	0.292
2	1.742	0.294
3	1.742	0.288
4	1.736	0.286
5	1.736	0.291
6	1.741	0.288
7	1.736	0.289
8	1.743	0.289
9	1.744	0.292
Promedio	1.740	0.290

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 29 se colocó los resultados de las mediciones de las distancias verticales y horizontales para realizar el perfil del terreno de estudio. La medición se realizó nueve veces para cuando se promedie los datos tener un resultado con más exactitud. Se dio como resultado para el Punto 12 una distancia vertical de 5,969 m y una distancia vertical de 0,000 m.

Tabla 29. Mediciones en campo del Punto 12

Punto 12		
Número de lecturas	Distancia horizontal	Lectura vertical
1	5.971	0.000
2	5.967	0.000
3	5.972	0.000
4	5.969	0.000
5	5.965	0.000
6	5.967	0.000
7	5.973	0.000
8	5.965	0.000
9	5.971	0.000
Promedio	5.969	0.000

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 30 se colocó los resultados de las mediciones de las distancias verticales y horizontales para realizar el perfil del terreno de estudio. La medición se realizó nueve veces para cuando se promedie los datos tener un resultado con más exactitud. Se dio como resultado para el Punto 13 una distancia vertical de 4,348 m y una distancia vertical de 1,000 m.

Tabla 30. Mediciones en campo del Punto 13

Punto 13		
Número de lecturas	Distancia horizontal	Lectura vertical
1	4.347	1.000
2	4.350	1.000
3	4.345	1.000
4	4.344	1.000
5	4.352	1.000
6	4.344	1.000
7	4.349	1.000
8	4.352	1.000
9	4.350	1.000
Promedio	4.348	1.000

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 31 se colocó los resultados de las mediciones de las distancias verticales y horizontales para realizar el perfil del terreno de estudio. La medición se realizó nueve veces para cuando se promedie los datos tener un resultado con más exactitud. Se dio como resultado para el Punto 14 una distancia vertical de 5,187 m y una distancia vertical de 0,2858 m.

Tabla 31. Mediciones en campo del Punto 14

Punto 14		
Número de lecturas	Distancia horizontal	Lectura vertical
1	5.184	0.2860
2	5.185	0.2856
3	5.187	0.2860
4	5.190	0.2856
5	5.183	0.2860
6	5.188	0.2861

7	5.187	0.2856
8	5.190	0.2859
9	5.191	0.2857
Promedio	5.187	0.2858

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 32 se colocó los resultados de las mediciones de las distancias verticales y horizontales para realizar el perfil del terreno de estudio. La medición se realizó nueve veces para cuando se promedie los datos tener un resultado con más exactitud. Se dio como resultado para el Punto 15 una distancia vertical de 3,272 m y una distancia vertical de 0,3752 m.

Tabla 32. Mediciones en campo del Punto 15

Punto 15		
Número de lecturas	Distancia horizontal	Lectura vertical
1	3.270	0.3756
2	3.268	0.3750
3	3.276	0.3749
4	3.271	0.3755
5	3.274	0.3756
6	3.273	0.3749
7	3.268	0.3749
8	3.275	0.3755
9	3.270	0.3749
Promedio	3.272	0.3752

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 33 se colocó los resultados de las mediciones de las distancias verticales y horizontales para realizar el perfil del terreno de estudio. La medición se realizó

nueve veces para cuando se promedie los datos tener un resultado con más exactitud.

Se dio como resultado para el Punto 16 solo la distancia Horizontal de 0,6059 m.

Tabla 33. Mediciones en campo del Punto 16

Punto 16		
Número de lecturas	Distancia horizontal	Lectura vertical
1	-	0.6054
2	-	0.6059
3	-	0.6063
4	-	0.6057
5	-	0.6063
6	-	0.6061
7	-	0.6058
8	-	0.6057
9	-	0.6059
Promedio	-	0.6059

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 34 se colocó el promedio de todos los resultados tomados. Se llega a la obtención de los siguientes resultados:

Tabla 34. Promedio de la toma de datos

Promedio en tomas de datos			
Punto	Intervalo	Distancia horizontal	Lectura vertical
1	1-2	2.900	1.000
2	2-3	3.496	0.687
3	3-4	4.502	1.035
4	4-5	5.330	0.479
5	5-6	6.100	0.750

6	6-7	5.400	0.786
7	7-8	4.290	0.782
8	8-9	3.900	0.696
9	9-10	3.920	0.580
10	10-11	3.650	0.150
11	11-12	1.740	0.290
12	12-13	5.969	0.000
13	13-14	4.348	1.000
14	14-15	5.187	0.2858
15	15-16	3.272	0.3752
16	-	-	0.6059

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo como resultado el perfil longitudinal del terreno. En la siguiente figura se aprecia el perfil longitudinal de terreno con una distancia horizontal de 30.00 m, distancia vertical de 4.000 m y una pendiente de 13.00 %.

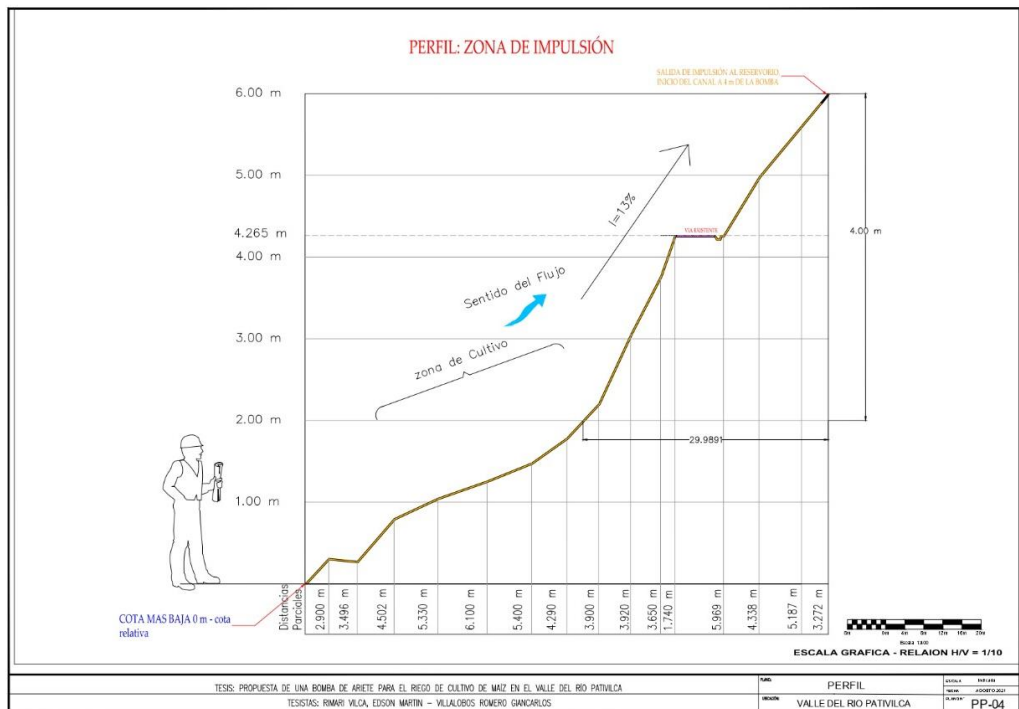


Figura 60. Perfil longitudinal del terreno

Fuente: Elaboración Propia usando el software AutoCAD Civil3D 2020

Geomorfología

Según la FAO/UNESCO (1998) dio una clasificación llamada grupos principales y unidades de suelos. En esta se han definido 28 grupos principales de suelos, la gran mayoría de los nombres terminan en "sol" (soles, en plural) y le antecede un prefijo que corresponde a un importante carácter del suelo. También se han definido 152 unidades de suelos. Los nombres están constituidos por dos palabras, la primera es la del grupo principal al que pertenecen y la segunda refleja el carácter principal que define a cada unidad.

Con la ayuda de GEO GPS PERU se logró identificar el tipo de suelo de todo el Perú. La ciudad de Lima se refleja en la siguiente imagen:

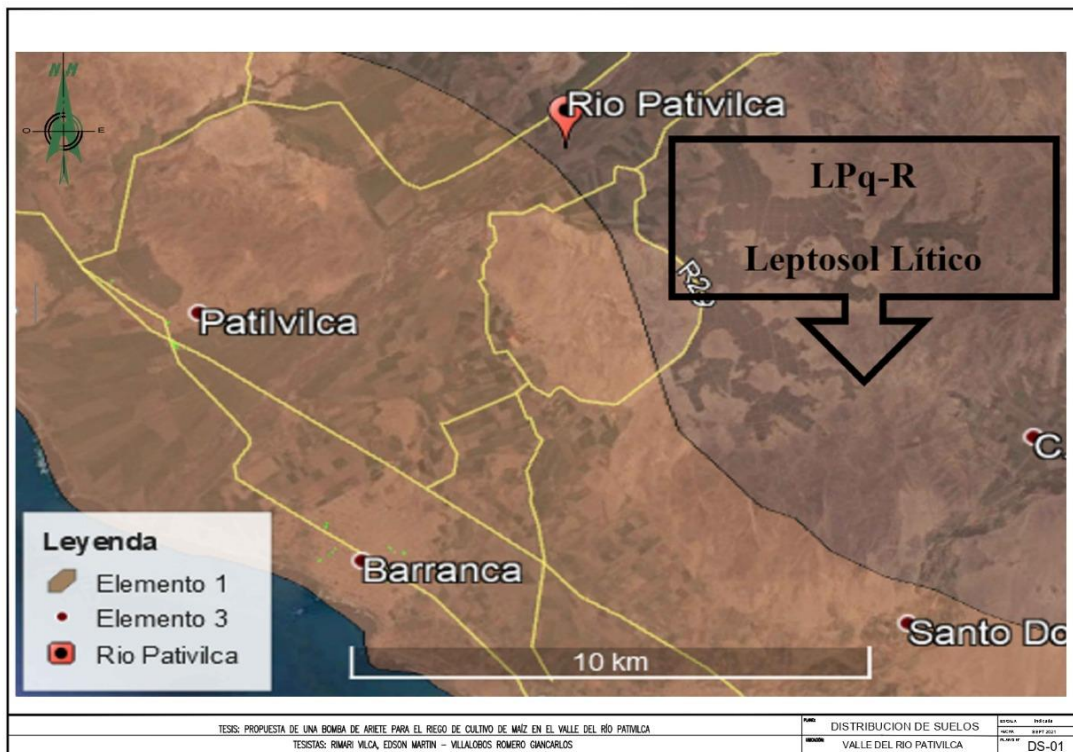


Figura 61. Caracterización del suelo de la zona de estudio

Fuente: GEO GPS PERU

El suelo de la zona de estudio según esta clasificación es de baja evolución condicionados por el material originario y pertenece al grupo Leptosol. Según la

FAO/UNESCO (1998) son suelos que están limitados en profundidad por una roca dura continua o por materiales muy calcáreos (carbonato cálcico equivalente de más del 40%) o por una capa cementada continua dentro de una profundidad de 30 cm a partir de la superficie o con menos del 20% de tierra fina hasta una profundidad de 75 cm a partir de la superficie; que carecen de otros horizontes de diagnóstico distintos de un horizonte móllico, úmbrico u ócrico con o sin un horizonte cámbico.

La unidad de suelo de la quebrada del río Pativilca es Leptosol lítico, ya que están limitados en profundidad por roca dura continua o por una capa cementada continua dentro de una profundidad de 10 cm a partir de la superficie. Sus características están expresadas por un perfil A-R, con epipedón ócrico y sin horizonte de diagnóstico. La textura del suelo es franco arenosa; su color es pardo amarillento oscuro, su estructura es granular de tamaño fina, débil en el horizonte A; la presencia de fragmentos del tamaño de grava media de forma subangular-esferoidal es de 10%; el cual descansa sobre una roca fragmentada de arenisca. De acuerdo con la textura del suelo presenta una permeabilidad moderadamente rápida.

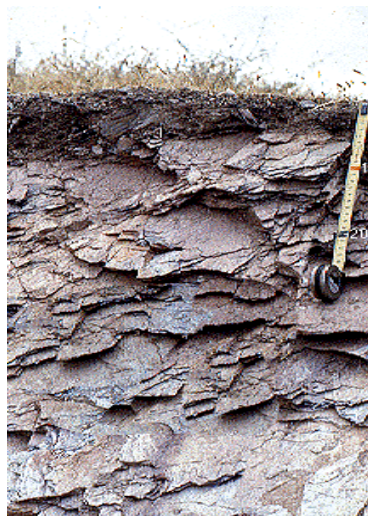


Figura 62. Leptosol Lítico

Fuente: FAO/UNESCO (1998)

Ensayo de permeabilidad

Al revisar estudios de acuerdo con el tipo de suelo de la zona de estudio varios coinciden es que el factor k de permeabilidad es de 0,17. Es por eso que se realizara

el ensayo de permeabilidad in situ, para este ensayo se necesita los siguientes instrumentos:

- Pala, la cual se usa para excavar el área de ensayo a una profundidad determinada.
- Wincha, la cual se usa para medir el área de ensayo y la profundidad del mismo para tener mayor exactitud.
- Jarra de plástico, la cual se usa para distribuir y verter el agua para el ensayo.
- Tubo de PVC, de longitud de 0,70m para realizar el ensayo de permeabilidad.
- Martillo, se utilizará para romper piedras y así poder seguir excavando.

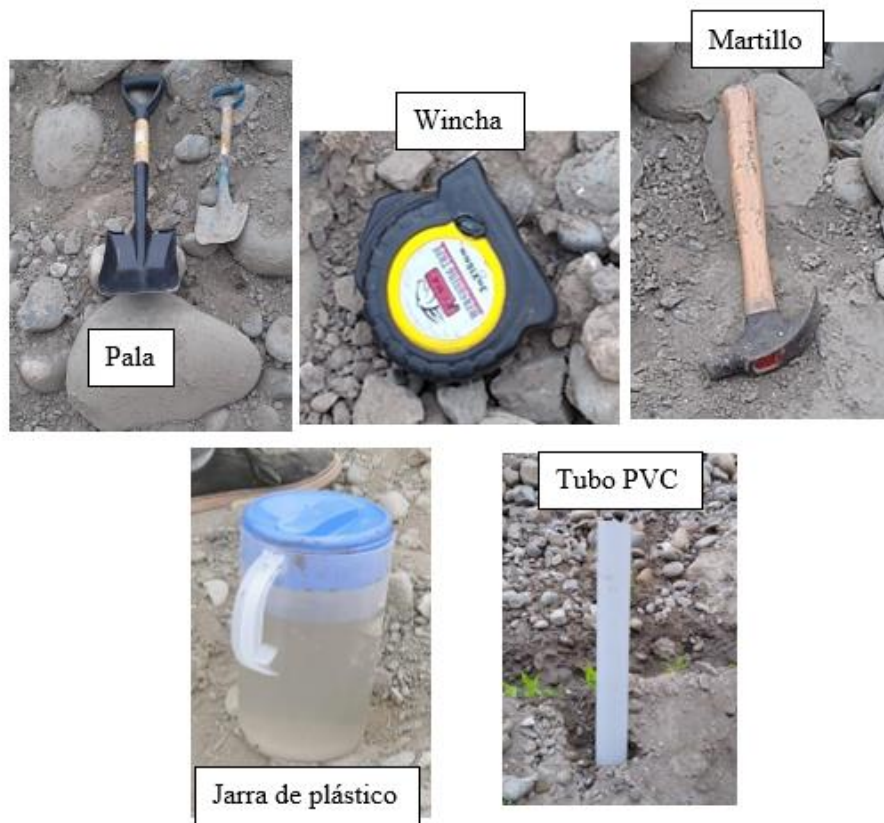


Figura 63. Instrumentos utilizados para el ensayo de permeabilidad

Fuente: Elaboración Propia

Cumpliendo todos los protocolos de seguridad y sanidad por la pandemia de la COVID 19 al realizar este ensayo se contará con doble mascarilla, casco, el uso de alcohol en gel para desinfección de material de uso y un distanciamiento de mínimo un metro.

Al llegar a la zona de estudio se identificó la zona tentativa de riego, y se observó que había una zona donde carecía de recurso hídrico entonces ahí se realizaría el ensayo de permeabilidad.



Figura 64. Zona con recurso hídrico para el riego

Fuente: Elaboración Propia



Figura 65. Zona tentativa para el riego

Fuente: Elaboración Propia

Se procede a excavar en la zona para realizar el ensayo con la ayuda de la pala, al ver que hay muchas rocas se procede a golpear con el martillo para que la excavación se torne más fácil.



Figura 66. Excavación para el ensayo de permeabilidad

Fuente: Elaboración Propia

Luego se excava hasta lograr que el tubo entre con facilidad y así obtener un coeficiente de permeabilidad más exacto. Al finalizar la excavación se introduce el tubo y para que este permanezca estable durante todo el ensayo se introduce toda la arena excavada por los lados del tubo. Siempre evitando el ingreso de tierra a este.



Figura 67. Colocación del tubo para el ensayo de permeabilidad

Fuente: Elaboración Propia

El siguiente paso será llenar de agua el tubo con la finalidad de generar una carga constante, por lo cual se espera una hora.



Figura 68. Llenar el tubo con agua para el ensayo de permeabilidad

Fuente: Elaboración Propia

Al término de la hora se procede a medir con la wincha cuanto descendió el nivel de agua. Se toma nota de los resultados y con el balde se procede a llenar el tubo nuevamente, ahora se procede a esperar 10 minutos.



Figura 69. Primera medición y preparación para la segunda medición

Fuente: Elaboración Propia

Después se volverá a medir cuanto ha descendido el agua. Y nuevamente se procede a llenar el tubo con agua y se vuelve a esperar 10 minutos.



Figura 70. Segunda medición y preparación para la tercera medición

Fuente: Elaboración Propia

Después se volverá a medir cuanto ha descendido el agua. Y si la medida es similar o varía por pocos decimales se puede decir que el ensayo va por buen camino. Entonces nuevamente se procede a llenar el tubo con agua y se vuelve a esperar 10 minutos. Si al pasar este tiempo se obtiene una medida similar a las anteriores se da por finalizado el ensayo.



Figura 71. Última medición y fin del ensayo

Fuente: Elaboración Propia

Ahora se tabula los datos obtenidos en campo y los datos de la tubería para poder realizar los cálculos y así obtener el coeficiente de permeabilidad. Estos datos se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 35. Datos obtenidos en campo

Datos de la tubería	
Longitud L (cm)	Diámetro D (cm)
0.70	10.16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36. Datos obtenidos en campo

Datos obtenidos en campo	
Tiempo T (s)	Pérdida de carga hidráulica H (cm)
600	13,8
600	13,5
600	13,4

Fuente: Elaboración propia

Ahora se realiza los cálculos para obtener el coeficiente de permeabilidad, las fórmulas son las siguientes:

Fórmula para el cálculo del área de la sección transversal de la tubería

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

$$A = \frac{\pi * (10,16)^2}{4}$$

$$A = 81,073 \text{ cm}^2$$

Fórmula para el cálculo del área de la pérdida de carga hidráulica promedio

$$H_{prom} = \frac{\sum H}{n}$$

$$H_{prom} = \frac{13,8 + 13,5 + 13,4}{3}$$

$$H_{prom} = 13,633 \text{ cm}$$

Fórmula para el cálculo del volumen promedio drenado

$$V = A * H_{prom}$$

$$V = 81,073 * 13,633$$

$$V = 1105,298 \text{ cm}^3$$

Fórmula para el cálculo del coeficiente de permeabilidad

$$k = \frac{V * L}{H_{prom} * A * t}$$

$$k = \frac{1105,298 * 70}{13,633 * 81,073 * 600}$$

$$k = 0,117 \text{ cm/s}$$

El resultado de la permeabilidad es de 0,117 cm/s esto se debe a que la zona de estudio es un suelo de mezclas limpias de arena y grava

5.2 Parámetros para el diseño de la Bomba de ariete

5.2.1 Cálculos de diseño

Caudal de Aforo

Para este proyecto lo que se necesita aforar es un canal o quebrada, ya que se necesita alta pendiente, para así ganar altura a la hora de realizar el bombeo. En caso de no encontrar esto se deberá aforar un río con presencia de cascadas para así tener un desnivel óptimo. Se encontró un canal de tierra por lo que se realizó un aforo por el método del vertedero y se calculó su velocidad con el método del flotador.

Cálculo del caudal por el método del vertedero

Para realizar el aforo se necesitan los siguientes elementos:

- Un canal de tierra es donde se realizará el aforo.
- Un vertedero rectangular con dos contracciones, construido con madera usado para aforar el río.
- Una Wincha, usada para medir la altura de la cresta de agua.



Figura 72. Instrumentos utilizados para el aforo por vertedero
Fuente: Elaboración Propia

Se coloca el vertedero en el canal de tierra, se ajusta bien el vertedero y se verifica que el fluido solo pase entre las dos contracciones. Se ajustó con la ayuda de bolsas y piedras.



Figura 73. Colocación del vertedero

Fuente: Elaboración Propia

Ahora se mide nueve veces la altura de la cresta de agua para así poder calcular el caudal.



Figura 74. Altura de cresta

Fuente: Elaboración Propia

Las mediciones y datos obtenidos se registrarán en las siguientes tablas y se realizarán los cálculos correspondientes

Tabla 37. Datos del Vertedero

Datos del Vertedero	
L (m)	0,224
Altura de cresta promedio H (m)	0,0261

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38. Mediciones obtenidas en campo

Altura de cresta (cm)	
Altura de cresta 1	2,61
Altura de cresta 2	2,62
Altura de cresta 3	2,63
Altura de cresta 4	2,62
Altura de cresta 5	2,59
Altura de cresta 6	2,60
Altura de cresta 7	2,59
Altura de cresta 8	2,62
Altura de cresta 9	2,61

Fuente: Elaboración propia

$$Q = 1,84(L - 0,2H) * H^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 1,84(0,224 - 0,2 * 0,0261) * (0,0261)^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 0,00170 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 101,844 \text{ l}/\text{min}$$

Se obtuvo que el caudal del canal de tierra es de 0,00170 m³/s

Cálculo del caudal por el método del flotador

Para realizar este ensayo se utilizó lo siguiente:

- Un canal de tierra, a esta se le calculara su velocidad.
- Cinta métrica, usada para medir una longitud de 20 metros
- Flotadores de Tecnopor, en forma de esferas esto se usará para calcular el tiempo que recorre desde el punto A hacia el B.
- Cronometro, usado para medir el tiempo en que el flotador recorre desde el punto A hacia el B.

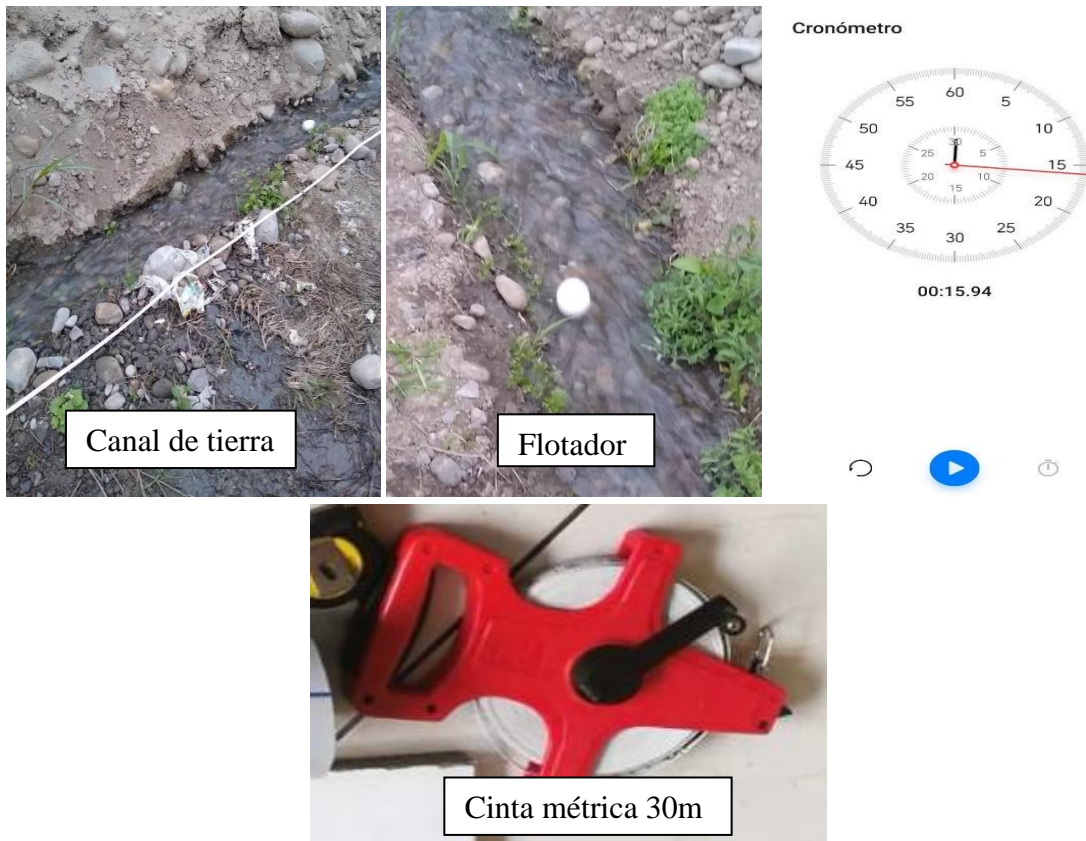


Figura 75. Instrumentos utilizados para el aforo por método del flotador

Fuente: Elaboración Propia

Con la cinta métrica se procede a medir la longitud desde el punto A hacia el punto B, esta distancia es de 20 m



Figura 76. Medición de la distancia recorrida

Fuente: Elaboración Propia

Se coloca el flotador en el punto de inicio y se mide el tiempo de llegada, esto se realiza 3 veces para tener un resultado más certero.



Figura 77. Medición del tiempo de llegada

Fuente: Elaboración Propia

Las mediciones y datos obtenidos se registrarán en las siguientes tablas y se realizarán los cálculos correspondientes

Tabla 39. Datos del recorrido de A hacia B

Datos del recorrido de A hacia B	
L (m)	20
Tiempo promedio (s)	15,943

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40. Mediciones obtenidas en campo

Tiempo (s)	
Tiempo 1	15,11
Tiempo 2	16,72
Tiempo 3	16,00

Fuente: Elaboración propia

$$V = \frac{L}{T}$$

$$V = \frac{20}{15,943}$$

$$V = 1,254 \text{ m/s}$$

Se obtuvo que la velocidad de flujo es de 1,254 m/s. Esta es la velocidad del fluido que pasa por un área determinada por el vertedero, con esto obtendremos el caudal.

Tabla 41. Datos medidos en campo

Datos medidos en campo	
Velocidad (m/s)	1,254
Altura de cresta (m)	0,0261
L (m)	0,224

Fuente: Elaboración propia

$$A = L * h$$

$$A = 0,224 * 0,0261$$

$$A = 0,00585 \text{ m}^2$$

El área por donde pasa el fluido es de 0,00585 m²

$$Q = V * A$$

$$Q = 1,254 * 0,00585$$

$$Q = 0,00733 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por este método se obtiene que el caudal del canal de tierra es de 0,00733 m³/s.

Comparación de caudales

El caudal obtenido por el método del vertedero fue de 0,00170 m³/s y por el método del flotador fue de 0,00733 m³/s. El caudal por usar será el hallado por el método del vertedero, ya que es más confiable y el valor es similar al hallado en el Software HCANALES V 3.0.

Cálculo del caudal con el Software HCANALES V 3.0

En este software se puede realizar el cálculo del aforo por el método del vertedero. Al iniciar el programa se selecciona el método de aforo y se procede a colocar los datos para el cálculo del caudal de la siguiente manera:

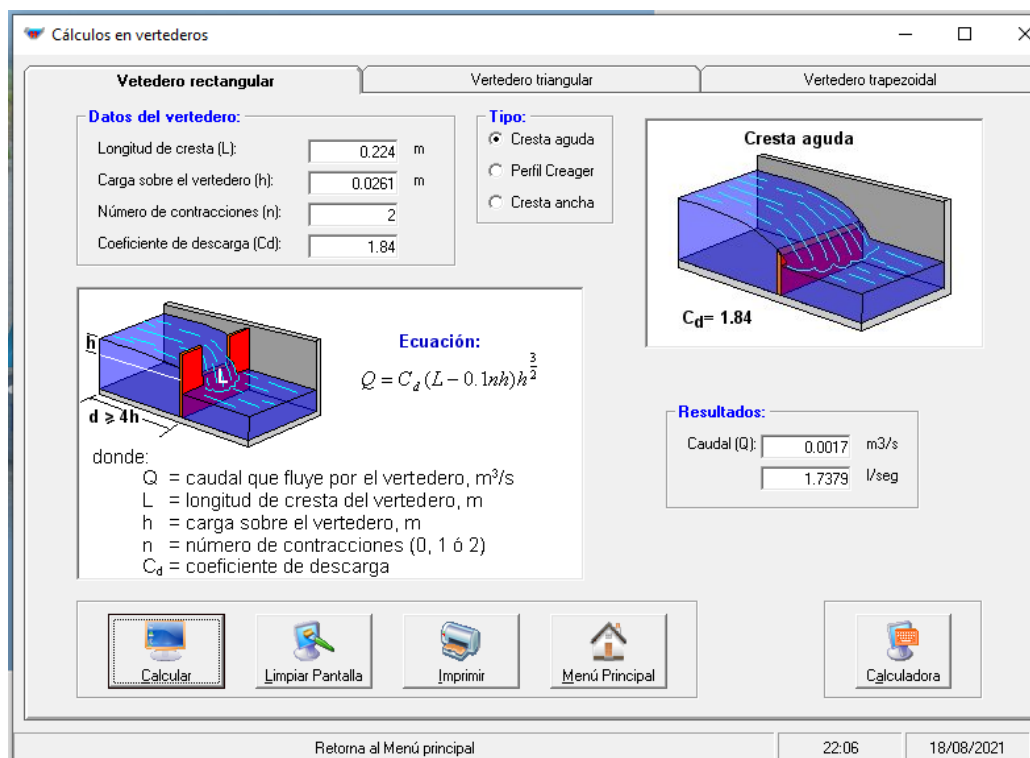


Figura 78. Procedimiento de aforo en H Canales v 3.0

Fuente: Elaboración propia usando el software H Canales v 3.0

Altura de descarga

En la siguiente imagen se aprecia el perfil longitudinal de la zona de estudio y también se puede apreciar las ubicaciones de los elementos del sistema. La zona de captación se encuentra en la cota relativa de 4,265 m; la ubicación de la bomba de ariete, en la cota relativa 2,000 m y la zona de almacenamiento, en la cota relativa de 6,000 m.

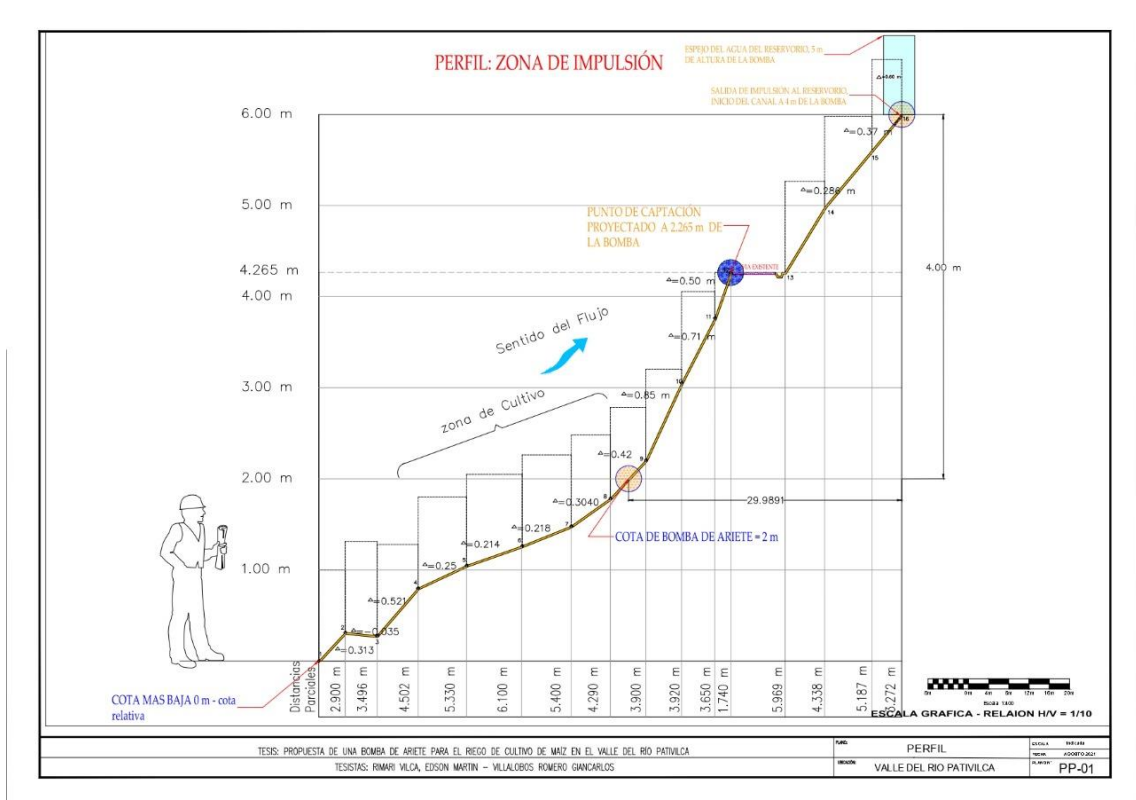


Figura 79. Perfil y ubicación de bomba, captación y almacenamiento

Fuente: Elaboración propia usando el software AutoCAD Civil3D 2020

Para determinar este parámetro se tuvo la necesidad de ver topografía, para determinar con precisión la altura de descarga e identificar las coordenadas exactas en que estará ubicado el tanque de recepción. La altura indicada por el perfil del terreno desde la captación hasta el espejo de agua del Reservorio es

de 1,735 m. \approx 1,80 m. Como la bomba estará ubicada 2,30 m debajo de la captación la altura de descarga será de 4,10 m.

$$H_d = 4,10 \text{ m}$$

Altura de Suministro

$$H_s = \frac{H_d}{3} \text{ m}$$

$$H_s = \frac{5,10}{3} \text{ m}$$

$$H_s = 1.40 \text{ m}$$

Debido al terreno no se pudo llegar a esta altura, la altura de suministro final para el diseño es de 2,30 m.

Tubería de Suministro

Longitud de la Tubería de Suministro

Con ayuda del perfil del terreno se determinó que la longitud de la tubería es de 11,40 m de longitud.

$$L = 11,40 \text{ m}$$

Diámetro de la Tubería de Suministro

El diámetro elegido para la tubería de suministro es de 2" cumpliendo con la siguiente relación:

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

$$150 \leq \frac{11,40}{0,0508} \leq 1000$$

$$150 \leq 224,410 \leq 1000$$

Se optará por una tubería de 2" de diámetro nominal, 60 mm de diámetro exterior, 2,3 mm de espesor y con un peso de 5,303 kg x tubo. en la siguiente figura se aprecia la sección transversal de la tubería.

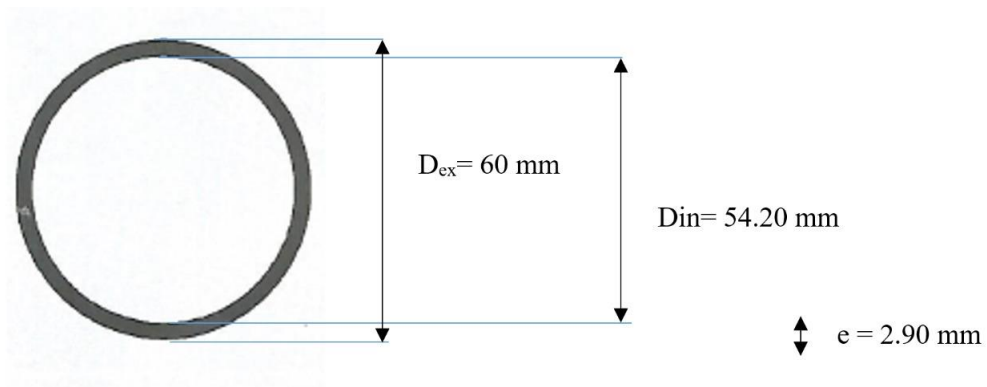


Figura 80. Sección transversal de la tubería.

Fuente: Elaboración propia.

$$D_{ex} = d_{in} + 2e$$

$$d_{in} = D_{ex} - 2e$$

$$d_{in} = 60 - 2 * 2,9$$

$$d_{in} = 54,200 \text{ mm}$$

Ángulo de inclinación de la tubería de alimentación (α):

A partir de la altura de descarga y la de suministro se obtiene el ángulo de inclinación de la tubería de alimentación.

$$\sin \alpha = \frac{H_s}{L}$$

$$\sin \alpha = \frac{2,30}{11,40}$$

$$\sin \alpha = 11,640^\circ$$

Algunos investigadores aconsejan que el ángulo de inclinación del tubo α deba estar comprendido entre los 10° y los 45° con la horizontal (Romero Guerrero & Lorenzo Gutiérrez, 2014).

Tubería de descarga

Diámetro de la tubería de descarga

$$D_d = \frac{D_s}{2}$$

$$D_d = \frac{2}{2}$$

$$D_d = 1''$$

Se optará por una tubería de 1" de diámetro nominal, 33 mm de diámetro exterior, 3,4 mm de espesor y con un peso de 2,443 kg x tubo. en la siguiente figura se aprecia la sección transversal de la tubería.

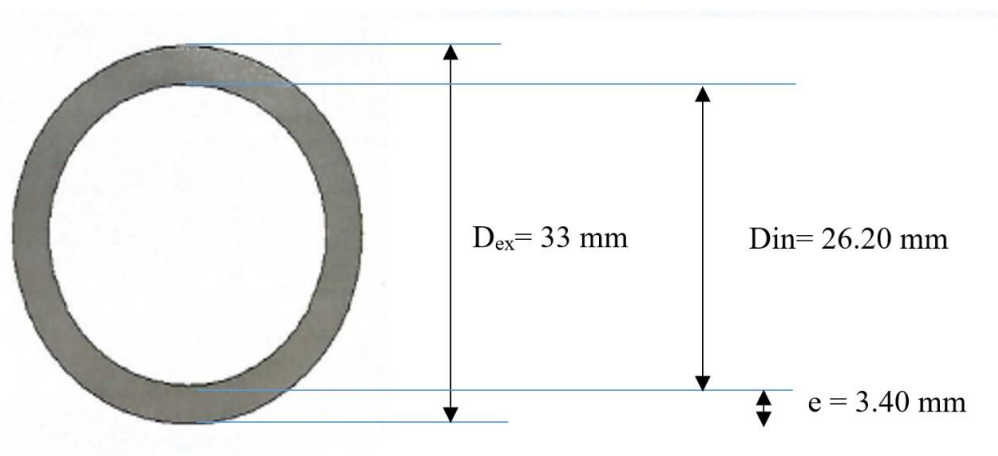


Figura 81. Sección transversal de la tubería de Entrega.

Fuente: Elaboración propia.

$$D_{ex} = d_{in} + 2e$$

$$d_{in} = D_{ex} - 2e$$

$$d_{in} = 33 - 2 * 3,4$$

$$d_{in} = 26,20 \text{ mm} = 0,0262 \text{ m}$$

Caudal de Suministro

Para determinar el caudal de suministro primero hallaremos el tipo de régimen de trabajo, puesto que esto determinará que ecuación debemos elegir para el cálculo.

Determinación del tipo de régimen

Para determinar el tipo de régimen tenemos que la velocidad del fluido es de 0,746 m/s, la temperatura en el valle del río Pativilca es de 18°C, por lo tanto, su viscosidad cinemática es de $1.061 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

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

$$Re = \frac{0,733 * 0,0542}{1,061 * 10^{-6}}$$

$$Re = 37444,486$$

Dando como resultado que el régimen del flujo es turbulento

Determinación de la rugosidad relativa

Para el cálculo de la rugosidad relativa tomaremos como dato la rugosidad absoluta de una tubería de PVC, cuyo valor es de 0.00015m.

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

$$R_r = \frac{0,0542}{0,00015}$$

$$R_r = 361,333$$

Cálculo del factor de fricción

$$f = \frac{0,25}{\left[\left(\frac{1}{3,7 * R_r} + \frac{5,74}{N_{RE}^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = \frac{0,25}{\left[\left(\frac{1}{3,7 * 361,333} + \frac{5,74}{37444,486^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,029$$

5.2.2 Diseño del Cuerpo del Ariete

El cuerpo del ariete debe ser apto para resistir las sobrepresiones provocadas por el golpe de ariete, en este caso el cuerpo está compuesto por una Tee y un codo de 90° de 2", es por ello que al interior del cuerpo de la bomba también será de 2", esto equivale a 50,8 mm.

$$d_{ca} = 50,80 \text{ mm} = 0,0508 \text{ m}$$

Diseño de la válvula de impulso

Diámetro del pie de la válvula de impulso

Para determinar esta dimensión se debe considerar el espacio que se tiene en el cuerpo de la bomba, este tiene 50,80 mm de diámetro. Por ello, para que tenga el espacio necesario para realizar su movimiento longitudinal el diámetro de la válvula de impulso será de 44 mm.

$$d_v = 44 \text{ mm} = 0,0440 \text{ m}$$

Diámetro del orificio del asiento de la válvula

$$d_v = 1,15 \times d_o$$

$$d_o = \frac{d_v}{1,15}$$

$$d_o = \frac{0,044}{1,15}$$

$$d_o = 0,0383 \text{ m} = 38,3 \text{ mm}$$

Determinación del espesor del pie de la válvula

$$e_{vi} = 0,14 \times d_o$$

$$e_{vi} = 0,14 \times 0,0383$$

$$e_{vi} = 0,00536 \text{ m} = 5,36 \text{ mm}$$

Determinación del Diámetro del vástago de la válvula de impulso

$$d_{vi} = 0,12 \times d_0 + 10$$

$$d_{vi} = 0,12 \times 38,3 + 10$$

$$d_{vi} = 14,591 \text{ mm}$$

Ya que este no es un diámetro comercial se optará por una barra de acero inoxidable de 15 mm

$$d_{vi} = 15 \text{ mm} = 0,015 \text{ m}$$

Longitud del vástago

La longitud del vástago será de 100 mm

$$L_{vs} = 100 \text{ mm} = 0,10 \text{ m}$$

Cálculo del caudal de entrega

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

Para determinar el caudal de entrega primero se debe obtener la velocidad de cierre de la válvula de impulso y el coeficiente de descarga.

Determinación de la velocidad de cierre de la válvula de impulso

$$u_c = 0,135 \times C_{vi}$$

Para obtener la velocidad de cierre de la válvula de impulso primero se debe calcular la carrera de la válvula de impulso

Cálculo de la carrera de la válvula de impulso

$$C_{vi} = 0,32 \times d_v$$

$$C_{vi} = 0,32 \times 44$$

$$C_{vi} = 14,08 \text{ mm}$$

Ya que se debe usar valores enteros la carrera de la válvula de impulso será de 14 mm

$$C_{vi} = 14 \text{ mm}$$

Entonces la velocidad de cierre de la válvula de impulso será la siguiente:

$$u_c = 0,135 \times C_{vi}$$

$$u_c = 0,135 \times 14$$

$$u_c = 1,89 \text{ m/s}$$

Determinación del coeficiente de descarga

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

Para realizar el cálculo del coeficiente de descarga primero se debe obtener el caudal libre con la ecuación general de energía

Cálculo del caudal libre con la ecuación general de la energía

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

En el sistema no se cuenta con equipos mecánicos por lo cual $h_R = h_A = 0$, por lo tanto, la ecuación se reduce a la siguiente:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Las presiones en el punto inicial y final son iguales ya que ambos están expuestos a la atmosfera. La velocidad en el punto inicial y la altura del punto

final son nulas ya que el fluido parte del reposo y el punto final está ubicado en el nivel del terreno, por lo tanto, la ecuación se reduce a la siguiente:

$$Z_1 - h_L = \frac{v_2^2}{2g}$$

$$Z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + h_L$$

El valor de las pérdidas locales se calcula con la suma de las pérdidas mayores y las menores.

$$Z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + h_l + h_{Lm}$$

Determinación de las pérdidas mayores

$$h_l = f * \frac{L}{D} * \frac{v_2^2}{2g}$$

$$h_l = 0,029 * \frac{11,40}{0,0542} * \frac{v_2^2}{2g}$$

$$h_l = 6,144 * \frac{v_2^2}{2g}$$

Obtención de las pérdidas menores

$$h_{Lm} = \sum K * \frac{v_2^2}{2g}$$

El valor de K representa los valores de resistencia de los accesorios a lo largo de la tubería de suministro

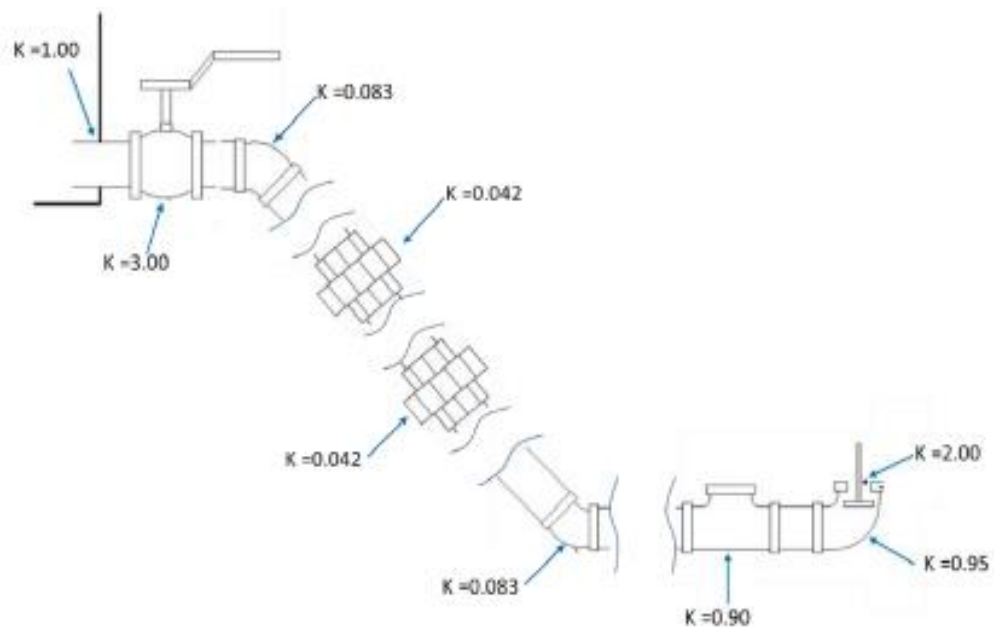


Figura 82. Valores de k para los distintos accesorios

Fuente: RUSVEL POLI (2018)

Ya que no se encontró valores de K para codos de 30° se extrapolará con los siguientes valores:

Tabla 42. Coeficiente de fricción en codos

Codo	K
90°	0,95
45°	0,30
30°	K

Fuente: RUSVEL POLI (2018)

Extrapolando:

$$\frac{(K - 0,95)}{(30 - 45)} = \frac{(0,30 - 0,95)}{(45 - 90)}$$

$$K = \frac{(0,30 - 0,95) * (30 - 45)}{(45 - 90)} + 0,30$$

$$K = 0,083$$

$$\sum K = K_{Entrada} + K_{Válvula} + 2 * K_{codo 30^\circ} + 2 * K_{Union} + K_{Tee} + K_{codo 90^\circ} + K_{Cheke}$$

$$\sum K = 1,00 + 3,00 + 2 * 0,083 + 2 * 0,042 + 0,90 + 0,95 + 2,00$$

$$\sum K = 8,10$$

Entonces:

$$h_{Lm} = \sum K * \frac{v_2^2}{2g}$$

$$h_{Lm} = 8,10 * \frac{v_2^2}{2g}$$

Ahora se procede a hallar el valor de la velocidad final:

$$Z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + 6,144 * \frac{v_2^2}{2g} + 8,10 * \frac{v_2^2}{2g}$$

$$H_s = Z_1 = 15,244 * \frac{v_2^2}{2g}$$

$$H_s = 15,244 * \frac{v_2^2}{2g}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{H_s * 2g}{15,244}}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2,30 * 2 * 9,81}{15,244}}$$

$$v_2 = 1,721 \text{ m/s}$$

Cálculo del caudal libre

$$Q_l = v_2 * A_2$$

Para determinar el caudal libre primero se debe obtener el área en el punto final.

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

Para obtener el área en el punto final primero se debe determinar el área del asiento y del vástago de la válvula.

Cálculo del área del asiento de la válvula

$$A_{av} = \frac{\pi * d_o^2}{4}$$

$$A_{av} = \frac{\pi * 0,0383^2}{4}$$

$$A_{av} = 0,00115 \text{ m}^2$$

Obtención del área del vástago de la válvula

$$A_{vi} = \frac{\pi * d_{vi}^2}{4}$$

$$A_{vi} = \frac{\pi * 0,015^2}{4}$$

$$A_{vi} = 0,000177 \text{ m}^2$$

Determinación del área del punto final

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

$$A_2 = 0,00115 - 0,000177$$

$$A_2 = 0,000973 \text{ m}^2$$

Al tener estos valores ya se puede calcular el valor del caudal libre de la siguiente manera:

$$Q_l = v_2 * A_2$$

$$Q_l = 1,721 * 0,000973$$

$$Q_l = 0,00167 \text{ m}^3/\text{s} = 100,447 \text{ l/min}$$

Al tener los valores hallados anteriormente ya se puede calcular el valor del coeficiente de descarga de la siguiente manera:

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

$$C_d = \frac{0,00167}{(\sqrt{2 * 9,81 * 2,30}) * 0,000973}$$

$$C_d = 0,256$$

Cálculo de la velocidad en la tubería de suministro

Ahora se procede a calcular la velocidad con la que el fluido recorre la tubería de suministro de la siguiente manera:

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

Para obtener la velocidad del fluido en la tubería de suministro primero se debe calcular el área de la tubería de suministro.

$$A_t = \frac{\pi * d_{in}^2}{4}$$

$$A_t = \frac{\pi * 0,0542^2}{4}$$

$$A_t = 0,00231 \text{ m}^2$$

Al tener este valor ya se puede determinar la velocidad dentro de la tubería de suministro de la siguiente manera:

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

$$v_t = \frac{0,00167}{0,00231}$$

$$v_t = 0,726 \text{ m/s}$$

Cálculo de la velocidad en el cuerpo del ariete

Ahora se procede a calcular la velocidad con la que el fluido recorre el cuerpo del ariete de la siguiente manera:

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

Para determinar la velocidad del fluido en el cuerpo del ariete primero se debe calcular el área del cuerpo del ariete.

$$A_c = \frac{\pi * d_c^2}{4}$$

$$A_c = \frac{\pi * 0.0508^2}{4}$$

$$A_c = 0,00203 \text{ m}^2$$

Al tener este valor ya se puede obtener la velocidad dentro del cuerpo del ariete de la siguiente manera:

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

$$v_c = \frac{0,00167}{0,00203}$$

$$v_c = 0,826 \text{ m/s}$$

Al tener los valores calculados anteriormente ya se puede calcular el valor del caudal de entrega de la siguiente manera:

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

$$q = \frac{2,30 * 0,0542^2 * 1,89 * \pi * 0,256}{10 * 4,10}$$

$$q = 0,000251 \text{ m}^3/\text{s} = 15,037 \text{ l/min}$$

Determinación del caudal de suministro

$$\frac{H_d}{H_s} = \frac{4,10}{2,30}$$

$$\frac{H_d}{H_s} = 1.783$$

En la Tabla 43 se aprecia el rendimiento energético, este depende de la relación entre la altura de entrega y la de suministro.

Tabla 43. Rendimiento energético

H/h	R
1,783	R
2	0,85
3	0,81
4	0,76
6	0,67
8	0,57
10	0,43
12	0,23

Fuente: OTI (2017)

Interpolando:

$$\frac{(R - 0,81)}{(1,783 - 3)} = \frac{(0,81 - 0,85)}{(3 - 2)}$$

$$R = \frac{(0,81 - 0,85) * (1,783 - 3)}{(3 - 2)} + 0,81$$

$$R = 0,859$$

El rendimiento energético para la relación de alturas de descarga y suministro es de 0,859

$$\left(\frac{H_d}{H_s}\right) * q = R * Q$$

$$Q = \frac{q * H_d}{R * H_s}$$

$$Q = \frac{0,000251 * 4,10}{0,859 * 2,30}$$

$$Q = 0,000520 \text{ m}^3/\text{s} = 31,215 \text{ l/min}$$

Caudal perdido (Q_d)

$$Q_d = Q - q$$

$$Q_d = 0,000520 - 0,000251$$

$$Q_d = 0,000270 \text{ m}^3/\text{s} = 16,179 \text{ l/min}$$

Potencia del ariete hidráulico (P)

$$P = \gamma q H$$

$$P = 997 * 9,81 * 0,000251 * 4,10$$

$$P = 0,01347 \text{ Hp}$$

Rendimiento volumétrico (η_v)

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

$$\eta_v = \frac{0,000251}{0,000520} * 100$$

$$\eta_v = 48,171 \%$$

5.2.3 Cálculo de fenómenos físicos involucrados en la bomba de ariete

Celeridad

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + k * \frac{D}{e}}}$$

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + 33,3 * \frac{0,0542}{0,0029}}}$$

$$C = 382,281 \text{ m/s}$$

Sobrepresión existente dentro del ariete

$$p = \rho * C * v_c$$

$$p = 997 * 382,281 * 0,826$$

$$p = 314,817 \text{ KPa}$$

5.2.4 Cálculo de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo del ariete

Fuerza localizada en el codo del ariete hidráulico

Se calculan las fuerzas aplicadas al codo del ariete hidráulico de la siguiente manera:

$$F_c = \rho * Q_l * (v_2 - v_1)$$

$$F_{cx} = \rho * Q_l * (v_{2x} - v_{1x})$$

$$F_{cx} = 997 * 0,00167 * (0 + 0,826)$$

$$F_{cx} = 1,379 \text{ N}$$

$$F_{cy} = \rho * Q_l * (v_{2y} - v_{1y})$$

$$F_{cy} = 997 * 0,00167 * (1,721 - 0)$$

$$F_{cy} = 2,872 \text{ N}$$

Fuerza de arrastre para la válvula de impulso

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

Para realizar el cálculo de la fuerza de arrastre para la válvula de impulso primero se debe obtener el coeficiente de arrastre y el área de la válvula de impulso.

Coeficiente de arrastre

El coeficiente de arrastre para este sistema será de 1,17

$$C_a = 1,17$$

Área de la válvula de impulso

$$A_v = \frac{\pi * d_{vi}^2}{4}$$

$$A_c = \frac{\pi * 0.044^2}{4}$$

$$A_c = 0,00152 \text{ m}^2$$

Al tener los valores calculados anteriormente ya se puede determinar el valor de la fuerza de arrastre para la válvula de impulso de la siguiente manera:

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

$$F_a = 1,17 * 0,00152 * 9810 * \frac{0,826^2}{2 * 9.81}$$

$$F_a = 0,607 \text{ N}$$

Cálculo de la fuerza boyante o flotante

$$F_b = \gamma_f * V_d$$

$$F_b = 9810 * 0,00001673$$

$$F_b = 0,164 \text{ N}$$

En la siguiente figura se muestra las fuerzas aplicadas en la válvula de impulso

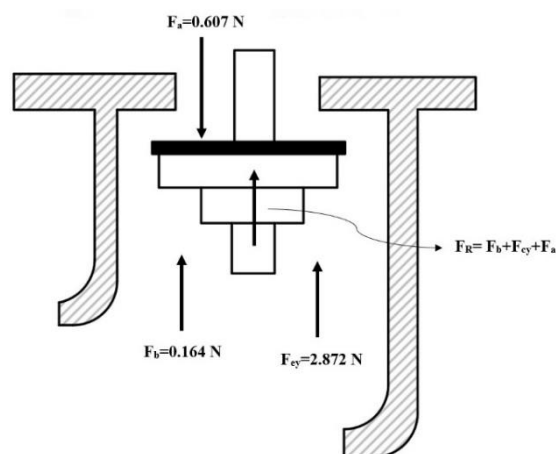


Figura 83. Fuerzas aplicadas a la válvula de impulso

Fuente: Elaboración Propia usando el software AutoCAD Civil3D 2020

$$F_R = F_b + F_{cy} - F_a$$

$$F_R = 0,164 + 2,872 - 0,607$$

$$F_R = 2,429 \text{ N}$$

Cálculo del peso máximo para la válvula de impulso

$$W_{max} = \frac{C_a * A_v * \rho * H_S}{M}$$

$$W_{max} = \frac{1,17 * 0,00152 * 997 * 2.30}{14.244}$$

$$W_{max} = 0,286 \text{ kg}$$

Cálculo del peso para la válvula de impulso

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

Para construir las pesas para la válvula de impulso se usará la norma técnica ASTM A-240. Para la construcción se usará una plancha de 5 x 1219 x 2 438 mm

Peso del pie de la válvula

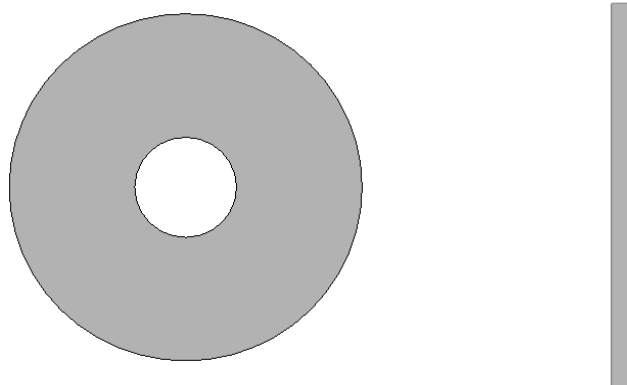


Figura 84. Vista en planta y perfil del pie de la válvula de impulso

Fuente: Elaboración Propia

$$W_{pv} = V_{pieza} * \rho$$

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

$$W_{pv} = \pi * (0.022^2 - 0,00635^2) * 0,005 * 8000$$

$$W_{pv} = 0,0558 \text{ kg} = 55,8 \text{ g}$$

Peso del vástago

Para construir el vástago de la válvula de impulso se usará la norma técnica ASTM A276. Para la construcción se usará una varilla de diámetro de 15mm y longitud de 100mm.

$$W_v = V_{vastago} * \rho$$

$$W_v = \frac{\pi * D^2}{4} * l_v * \rho$$

$$W_v = \frac{\pi * 0,015^2}{4} * 0,10 * 8000$$

$$W_v = 0,141 \text{ kg} = 141,372 \text{ g}$$

Cálculo de las pesas para la válvula de impulso

Para construir las pesas para la válvula de impulso se usará la norma técnica ASTM A-240. Para la construcción de las pesas de 5mm de espesor se usará una plancha de 5 x 1219 x 2 438 mm

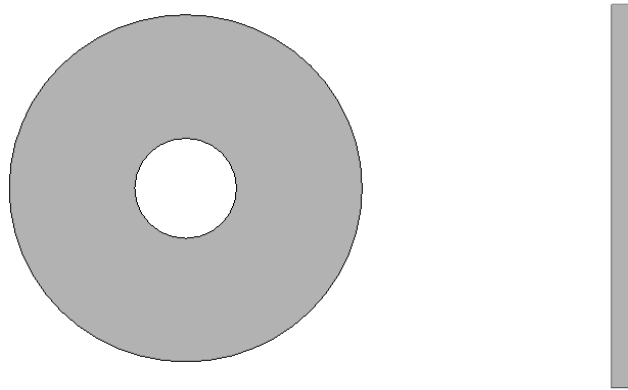


Figura 85. Vista en planta y perfil de las pesas de 5mm de espesor

Fuente: Elaboración Propia

$$W_{p5mm} = V_{p5mm} * \rho$$

$$W_{p5mm} = \pi * (R^2 - r^2) * e * \rho$$

$$W_{p5mm} = \pi * (0,025^2 - 0,00635^2) * 0,005 * 8000$$

$$W_{p5mm} = 0,0735 \text{ kg} = 73,476 \text{ g}$$

Se utilizará 1 pesa de 5mm de espesor. Entonces el peso total de la válvula será la siguiente:

$$WT_{valvula} = W_{pv} + W_v + 1 * W_{p5mm}$$

$$WT_{valvula} = 0,0558 + 0,141 + 1 * 0,0735$$

$$WT_{valvula} = 0,271$$

Al obtener este resultado se verifica que se cumple lo siguiente:

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

$$0 < 0,271 < 0,286$$

5.2.5 Diseño de la válvula de aire

Diámetro del respiradero

Se recomienda que el diámetro del respiradero sea de 1 y 2 mm, para esta investigación será de diámetro 2mm.

$$D_{Respiradero} = 2 \text{ mm} = 0,002 \text{ m}$$

5.2.6 Diseño de la cámara de aire

Capacidad de la cámara de aire

El volumen de la cámara de aire es igual al volumen contenido en la tubería de entrega. Este se calcula de la siguiente manera:

$$V_{te} = \frac{\pi * d^2}{4} * L_{te}$$

$$V_{te} = \frac{\pi * 0,0262^2}{4} * 30$$

$$V_{te} = 0,0162 \text{ m}^3$$

Entonces el volumen de la cámara de aire será 0,0162 m³

$$V_{ca} = 0,0162 \text{ m}^3$$

Cálculo de las dimensiones de la cámara de aire

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

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

$$h_{ca} = \frac{4 * 0,0164}{\pi * 0,15^2}$$

$$h_{ca} = 0,915 \text{ m}$$

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

La presión mínima se calcula cuando la válvula de descarga está cerrada, se calcula de la siguiente manera:

$$P_{minima} = H_d * \rho * g$$

$$P_{minima} = 4,10 * 997 * 9,81$$

$$P_{minima} = 40,100 \text{ KPa}$$

Volumen inicial

Para realizar el cálculo del volumen inicial se considera que la cámara de aire tiene líquido en su 30% y el resto es aire.

$$V1_{agua} = 0,30 * V_{ca}$$

$$V1_{agua} = 0,30 * 0,0162$$

$$V1_{agua} = 0,00485 \text{ m}^3$$

El volumen inicial de agua es de 0,00485 m³ con esto ya se puede hallar el volumen inicial de aire de la siguiente manera:

$$V_{ca} = V1_{agua} + V1_{aire}$$

$$V1_{aire} = V_{ca} - V1_{agua}$$

$$V1_{aire} = 0,0162 - 0,00485$$

$$V1_{aire} = 0,01132 \text{ m}^3$$

Volumen final

Para realizar el cálculo del volumen final se considera que la en el sistema habrá 70 golpes por minuto. Con este valor se puede obtener la cantidad de agua que ingresa por golpe de ariete a la cámara de aire de la siguiente manera:

$$Frecuencia = 70 \frac{\text{golpes}}{\text{minuto}} = 1,167 \frac{\text{golpes}}{\text{segundo}}$$

La frecuencia es de 1,167 golpes por minuto, con esto se obtiene el volumen entregado en cada golpe.

$$V_{golpe} = \frac{q}{Frecuencia}$$

$$V_{golpe} = \frac{0,000251}{1,167}$$

$$V_{golpe} = 0,0002148 \frac{\text{m}^3}{\text{golpe}}$$

Se obtiene que por cada golpe se va a entregar 0,0002148 m³ de agua. Por lo tanto, en cada golpe el aire de la cámara de aire se comprime, esto se puede obtener de la siguiente manera:

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

$$V2_{aire} = 0,01132 - 0,0002148$$

$$V2_{aire} = 0,01111 \text{ m}^3$$

Ahora se puede calcular la presión máxima de la siguiente manera:

$$P_{minima} * V1_{aire} = P_{maxima} * V2_{aire}$$

$$P_{maxima} = \frac{P_{minima} * V1_{aire}}{V2_{aire}}$$

$$P_{maxima} = \frac{40,100 * 0,01132}{0,01111}$$

$$P_{maxima} = 40,876 \text{ KPa}$$

Para tener una vista más detallada de la influencia de los golpes por minuto sobre la presión máxima se realizó la siguiente tabla. En la Tabla 42 se aprecia la variación de la presión máxima con respecto al número de golpes por minuto.

Tabla 44. Presión máxima con respecto al número de golpes por minuto

Nº de golpes/minuto	Nº de golpes/segundo	Volumen por golpe	V2aire	Presión máxima
60	1.000	0.0002475	0.01107	40.997
61	1.017	0.0002434	0.01108	40.981
62	1.033	0.0002395	0.01108	40.967
63	1.050	0.0002357	0.01109	40.953
64	1.067	0.0002320	0.01109	40.939
65	1.083	0.0002285	0.01109	40.926
66	1.100	0.0002250	0.01110	40.913
67	1.117	0.0002216	0.01110	40.901
68	1.133	0.0002184	0.01110	40.889
69	1.150	0.0002152	0.01111	40.877

70	1.167	0.0002121	0.01111	40.866
71	1.183	0.0002091	0.01111	40.855
72	1.200	0.0002062	0.01112	40.844
73	1.217	0.0002034	0.01112	40.834
74	1.233	0.0002007	0.01112	40.824
75	1.250	0.0001980	0.01112	40.814
76	1.267	0.0001954	0.01113	40.805
77	1.283	0.0001928	0.01113	40.795
78	1.300	0.0001904	0.01113	40.786
79	1.317	0.0001880	0.01113	40.777
80	1.333	0.0001856	0.01114	40.769
81	1.350	0.0001833	0.01114	40.760
82	1.367	0.0001811	0.01114	40.752
83	1.383	0.0001789	0.01114	40.744
84	1.400	0.0001768	0.01114	40.736
85	1.417	0.0001747	0.01115	40.729
86	1.433	0.0001727	0.01115	40.721
87	1.450	0.0001707	0.01115	40.714
88	1.467	0.0001687	0.01115	40.707
89	1.483	0.0001668	0.01115	40.700
90	1.500	0.0001650	0.01116	40.693

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente grafica se aprecia que la línea de tendencia es en función Exponencial con un R^2 de 0.9969.

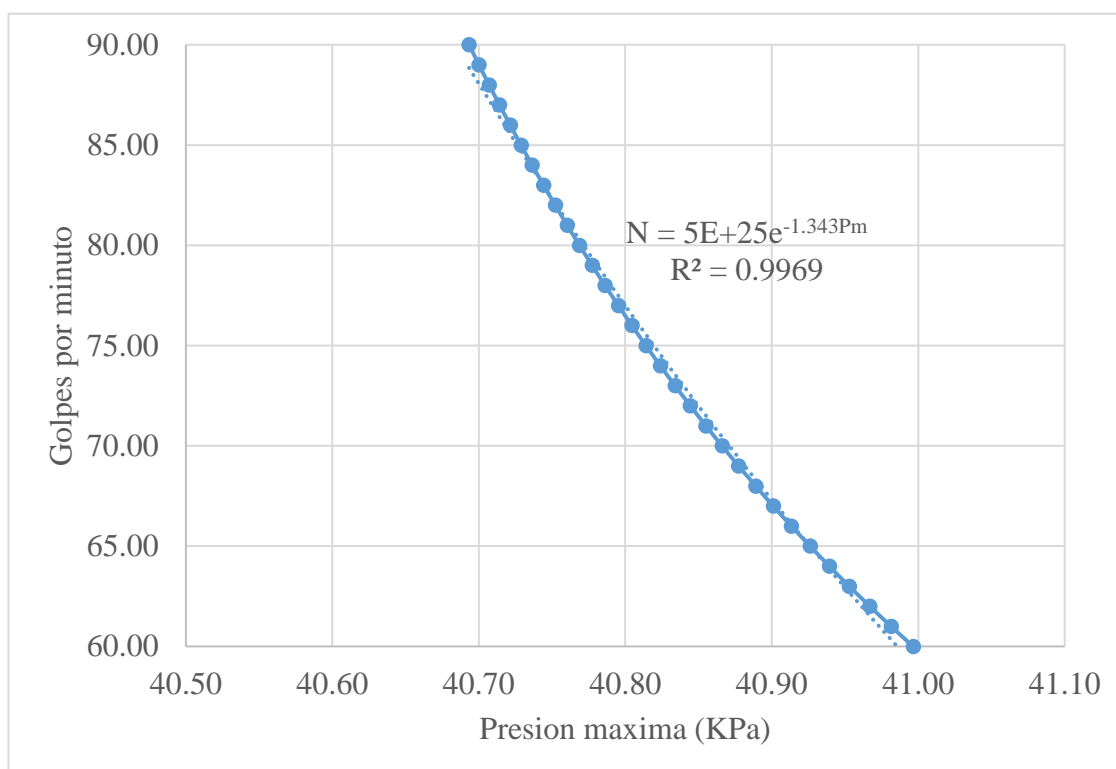


Figura 86. Curva presión máxima en función de los golpes por minuto

Fuente: Elaboración Propia usando el software Microsoft Excel 2016

5.2.7 Tabla resumen

En la siguiente tabla se aprecia los cálculos para diferentes diámetros de suministro y entrega, para así poder optar por los diámetros óptimos.

Tabla 45. Comparación de diámetros de suministro y entrega

Parámetros	Diámetro			
	1 "	2 "	3 "	4 "
L (m)	11.40	11.40	11.40	11.40
H _s (m)		2.30		
H _d (m)		4.10		
D _d (m)	1/2 "	1 "	1 1/2 "	2 "

150 < L/D < 1000	Si Cumple	Si Cumple	No Cumple	No Cumple
Q (m3/s)	0.000068	0.000520	0.002337	0.005102
Q (l/min)	4.074	31.215	140.228	306.149
q (m3/s)	0.000033	0.000251	0.001126	0.002458
q (l/min)	1.962	15.037	67.549	147.474
Q _d (m3/s)	0.000035	0.000270	0.00121	0.00264
Q _d (l/min)	2.111	16.179	72.679	158.675
Potencia (Hp)	0,001758	0,013471	0,06052	0,1321
Rendimiento volumétrico (Nv)	48.171%	48.171%	48.171%	48.171%

Fuente: Elaboración propia

Viendo los cálculos realizados el diámetro de suministro será de 2” y de entrega de 1”. Con esto se obtendrá un caudal elevado de 15,037 l/min, una potencia de 0,01347 Hp y un rendimiento volumétrico de 48,171 %. No se eligieron diámetros superiores ya que, si bien los caudales y las potencias también son superiores, el costo y el peso incrementa significativamente. Por otro lado, la relación de longitud y diámetro no se encuentra en el rango determinado.

Con el fin de obtener un caudal de entrega más abundante se optó por variar las alturas de entrega y así obtener los caudales de entrega, suministro y pérdida y el rendimiento volumétrico. Estos datos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 46. Variación de caudales respecto a la altura de entrega

H _d (m)	q (l/min)	Q (l/min)	Q _p (l/min)	R (%)
4.1	14.849	30.826	15.977	48.17073171
5.1	11.938	31.464	19.526	37.94117647
6.1	9.981	32.128	22.147	31.06557377
7.1	8.575	32.856	24.281	26.09859155

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47. Configuración de la propuesta de bomba de ariete

Ítem	Descripción
1	Llave Universal PVC de 2"
2	Niple PVC de 2"
3	Codo de 30° PVC de 2"
4	Niple PVC de 2"
5	Válvula de control PVC de 2"
6	Niple PVC de 2"
7	Tee PVC de 2"
8	Niple PVC de 2"
9	Codo de 90° PVC de 2"
10	Válvula de impulso de 2"
11	Niple PVC de 2"
12	Válvula check de paso de 2"
13	Niple PVC de 2"
14	Cama de aire de 6"
15	Niple PVC de ½"
16	Reductor tipo campana PVC de ½" a ¼"
17	Manómetro
18	Niple PVC de 1"
19	Unión PVC de 1"
20	Niple PVC de 1"
21	Válvula de control PVC de 1"
22	Niple PVC de 1"
23	Unión universal PVC de 1"

Fuente: Modificado Peralta Surco (2005)

5.2.9 Presupuesto de la bomba de ariete

En la siguiente tabla se muestra el presupuesto de los accesorios a utilizar para el armado de la propuesta de bomba de ariete. Se dividió en secciones, estas son por fase de armado de la bomba. Los accesorios para utilizar son de

material de PVC y de Fierro galvanizado (FG). El presupuesto total es de 628.50 soles.

Tabla 48. Presupuesto de la propuesta de Bomba de Ariete

Ítem	Cantidad	Precio unitario	Precio
Sección 1			
Unión universal PVC de 2"	2	15.00	30.00
Niple PVC 2"	2	8.00	16.00
Codo de 45° PVC de 2"	1	18.00	18.00
Válvula de control PVC de 2"	1	50.00	50.00
Niple de FG de 2"	1	11.00	11.00
TEE de FG de 2"	1	28.00	28.00
Sección 2			
Niple de FG de 2"	1	11.00	11.00
Codo de 90° de FG de 2"	1	27.00	27.00
Válvula check de fondo de bronce o FG	1	65.00	65.00
Sección 3			
Niple de FG de 2"	1	11.00	11.00
Válvula check de paso de 2"	1	45.00	45.00
Niple de FG de 2"	1	11.00	11.00
Sección 4			
Extintor de 15 cm de diámetro y de 92 cm de altura	1	50.00	50.00
Sección 5			
Manómetro, 15 psi o 1 kgf/cm ² o 10 metros de columna de agua	1	45.00	45.00
Reductor tipo campana 1/2" a 1/4"	1	10.00	10.00
Fierro Galvanizado	1	8.00	8.00
Niple de FG de 1/2"	1	8.00	8.00
Sección 6			
Niple de 1" FG	3	8.00	24.00
Unión de PVC de 1"	1	4.50	4.50

Tee FG de 1"	1	12.00	12.00
Reductor de campana de FG de 1" a 1/2"	1	8.00	8.00
niple de 1/2"	1	7.00	7.00
Reductor tipo campana 1/2" a 1/4" Fierro Galvanizado	1	9.00	9.00
Llave de control del PVC de 1"	1	7.00	7.00
Niple PVC de 1"	1	5.00	5.00
Unión universal PVC de 1"	1	5.00	5.00
Pegamento para PVC	1	18.00	18.00
Cinta de teflón	2	1.00	2.00
Tubo de 2" de agua PVC - C5	3	25.00	75.00
Tubo de 1" de agua PVC - C5	2	18.00	36.00
Manguera de 1" HDPE de 1" C-8 de 100m	1	90.00	90.00
TOTAL			628.50

Fuente: Elaboración propia

5.3 Diseño del canal del riego

Para el diseño del canal de riego, primero se calcula el caudal que el reservorio entregara. Para obtener este valor se realizaron los siguientes cálculos:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 + h_L + h_f$$

Se tomará como altura en el punto inicial el tirante del reservorio. La velocidad en el punto inicial es nula, ya que el fluido parte del reposo. Las presiones en el punto inicial y final son iguales, ya que ambos están expuestos a la atmosfera. Y las perdidas por fricción también es nula, así como la altura del punto final, ya que se encuentra en el nivel de referencia. Por lo tanto, la ecuación se reduce a la siguiente:

$$\rho g h_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + h_L$$

$$1,54 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{0,25v_2^2}{2g}$$

$$1,54 = \frac{1,25v_2^2}{2g}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g * 1,54}{1.25}}$$

$$v_2 = 4,40 \text{ m/s}$$

Sabiendo que el agua será entregada al canal mediante una manguera de 1" de diámetro, entonces el caudal será el siguiente

$$Q = V * A$$

$$Q = 4,40 * \pi * \frac{0.0254^2}{4}$$


$$Q = 0,00223 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ya obtenido el caudal se ingresa el dato al software HCANLES V3.0, para calcular los parámetros de diseño del canal. El canal de riego será de sección triangular, con un ancho de solera de 0 m, con un talud de 0,5, la pendiente del canal será la misma que el terreno natural y será revestido con polietileno, su coeficiente de Manning es de 0,009.

Al ingresar estos valores en el software nos da como resultado que el tirante del canal de riego será de 0,068 0m, su área hidráulica será de 0,0023 m², el espejo de agua de 0,068 m, el número de Froude es de 1,6699 por ello es de régimen supercrítico, su perímetro es de 0,1521 m, el radio hidráulico es 0,0152 m, la velocidad del flujo es de 0,9645 m/s y tendrá una energía específica de 0,1154 mkg/kg.

Lugar:	<input type="text" value="Quebrada del Rio Pativilca"/>	Proyecto:	<input type="text" value="Canal de Riego"/>
Tramo:	<input type="text" value="Centro poblado Alpas"/>	Revestimiento:	<input type="text" value="Polietileno"/>

Datos:	
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.00223"/> m3/s
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0"/> m
Talud (Z):	<input type="text" value="0.5"/>
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.009"/>
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.02"/> m/m



Resultados:			
Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0680"/> m	Perímetro (p):	<input type="text" value="0.1521"/> m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0023"/> m2	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0152"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.0680"/> m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.9645"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="1.6699"/>	Energía específica (E):	<input type="text" value="0.1154"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Supercrítico"/>		

Figura 88. Diseño de canal de riego sección triangular

Fuente: Elaboración Propia usando el software H Canales v 3.0

5.4 Riego de cultivo

Reservorio de Almacenamiento

El reservorio se ubica en la parte más alta del terreno, a 4,10 m de altura desde la bomba de ariete, o 1,80 m desde el reservorio de captación. El Reservorio de almacenamiento será de forma rectangular. El agua ingresara al reservorio por medio de una manguera de 1" de diámetro, con un caudal de 15,037 l/min. Para garantizar que el reservorio sea durable y su mantenimiento sea el adecuado será de concreto armado.

Capacidad del reservorio

Los factores principales para diseñar el reservorio de almacenamiento son el caudal elevado y necesidad hídrica del cultivo. Para calcular el volumen del reservorio se toma en cuenta los siguientes factores: la bomba trabaja las 24 horas del día, el caudal de entrega es de 15,037 l/min y el tiempo de almacenamiento es de 3 días. Para obtener el volumen total se realizará el siguiente cálculo:

$$V_t = q * t$$

$$V_t = 15,037 * 60 * 24 * 3$$

$$V_t = 64959,84 \text{ l} = 64,960 \text{ m}^3$$

$$V_R = a * b * h$$

$$V_R = 6 * 7 * 1,6$$

$$V_R = 67,200 \text{ m}^3$$

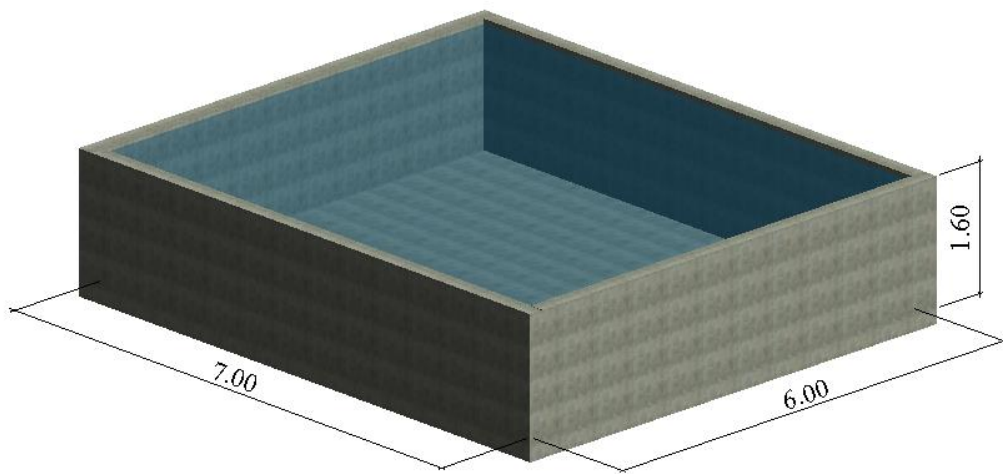


Figura 89. Reservorio de almacenamiento de tubería de impulsión

Fuente: Elaboración Propia

Uso del agua para el riego

El agua almacenada se usará para el riego de cultivo de maíz y también de hortalizas. Esto se hará mediante el canal de riego diseñado anteriormente. Ya sabiendo el cultivo a regar y con el requerimiento hídrico del mismo se puede obtener el área tentativa de riego.

Requerimiento Hídrico del maíz

Para el cultivo de maíz cuya necesidad de riego o lámina neta es de 44 cm (4400 m³/ha) para años normales. Sin embargo, para ciclos de baja disponibilidad de agua, la lámina bruta asignada fue 72 cm (7200 m³/ha).

$$V_{n\text{ maiz}} = 4400 \frac{m^3}{ha}$$

Requerimiento Hídrico de las hortalizas

Las especies hortícolas tienen un requerimiento de agua para riego de entre 2.000 a 8.000 m³/ha por ciclo productivo, dependiendo de la especie y sistema de riego.

$$V_{n\text{ Hortalizas}} = 8 \frac{m^3}{ha}$$

Obtención del área de riego

El volumen de agua entregado por la bomba es de 64,960 m³, entonces el área de riego para el maíz y las hortalizas serán las siguientes:

$$A_{\text{Maiz}} = \frac{V_t}{V_{n\text{ maiz}}}$$

$$A_{\text{Maiz}} = \frac{64,960}{4400}$$

$$A_{\text{Maiz}} = 0,015 \text{ ha}$$

$$A_{\text{Hortalizas}} = \frac{V_t}{V_{n\text{ Hortalizas}}}$$

$$A_{\text{Hortalizas}} = \frac{64,960}{8}$$

$$A_{\text{Hortalizas}} = 8,120 \text{ ha}$$

El requerimiento hídrico de las hortalizas es considerablemente menor que el del maíz, es por ello que se puede regar más área de cultivo.

5.5 Análisis de resultados

En la quebrada del río de Pativilca se cosechan hortalizas, camote, tomate, maíz, etc. Esto es una actividad que realizan para activar la economía del lugar y así dar una buena calidad de vida a sus familias. En tiempos de sequía la producción disminuye y eso afecta la economía de la población. Es por ello que se planteó como situación el uso de la bomba de ariete. Esta bomba es económica y auto sostenible, ya que no utiliza energía fósil ni eléctrica si no utiliza la energía cinética. Esta solución es la más adecuada para poder regar los cultivos en tiempos de baja precipitación y sequías.

Se visitó la zona de estudio para poder caracterizar la topografía y el suelo. Para caracterizar la topografía se hizo el levantamiento topográfico con el método del jalón y la manguera, para medir las distancias se utilizó el distanciómetro láser. Con esto obtuvimos las distancias horizontales y verticales para así obtener el perfil longitudinal del terreno de estudio. los resultados se tabularon y se obtuvo la siguiente tabla y perfil longitudinal.

Para caracterizar el suelo existen diversos ensayos que se pudieron llevar a cabo para obtener los parámetros de la zona de estudio, pero el parámetro que más importaba en esta investigación es el de la permeabilidad del suelo. Por ello se realizó un ensayo de permeabilidad in situ para obtener el valor del coeficiente de permeabilidad. Se obtuvo que el suelo es de bajo índice de permeabilidad.

Con la ayuda del perfil longitudinal del terreno se ubicó en donde se encontraría la zona de captación, bomba y reservorio. Cumpliendo las condiciones de diseño se ubicó la bomba de ariete y se calculó las alturas de suministro y de entrega. Se toma en cuenta que la altura de entrega es el triple que la altura de suministro, las condiciones del terreno no ayudaron así que se ajustó a nuestra área de estudio. Luego se obtuvo el diámetro de la tubería de suministro y de entrega. Para obtener estos valores se realizó un cuadro comparativo de diferentes diámetros para así cumplir con las condiciones de diseño adecuadas. Ya con la tubería de suministro se procede a diseñar el cuerpo de la bomba, estos son los parámetros estructurales, tales como el diámetro de la válvula de impulsión, los pesos de la válvula, uniones y accesorios de la bomba, la capacidad de la cámara de aire, etc. Previamente se realizó el cálculo del caudal de suministro, se realizaron tres métodos los cuales fueron aforo del canal

de tierra por el método del flotador, por vertedero rectangular con dos contracciones y por el cálculo de caudal de entrega y rendimiento energético. Se comparó los resultados de dichos métodos y se obtuvo que el caudal de suministro será el calculado por la ecuación de rendimiento energético. Al obtener el caudal de entrega de la bomba de ariete se diseñó el reservorio de donde se regará el cultivo de maíz. Se obtuvieron los siguientes gráficos con respecto a la relación entre caudal y carga. Con la ayuda de la tabla 44 se realizó las siguientes graficas:

En la siguiente grafica se aprecia que la línea de tendencia es en función Exponencial con un R^2 de 0,9935.

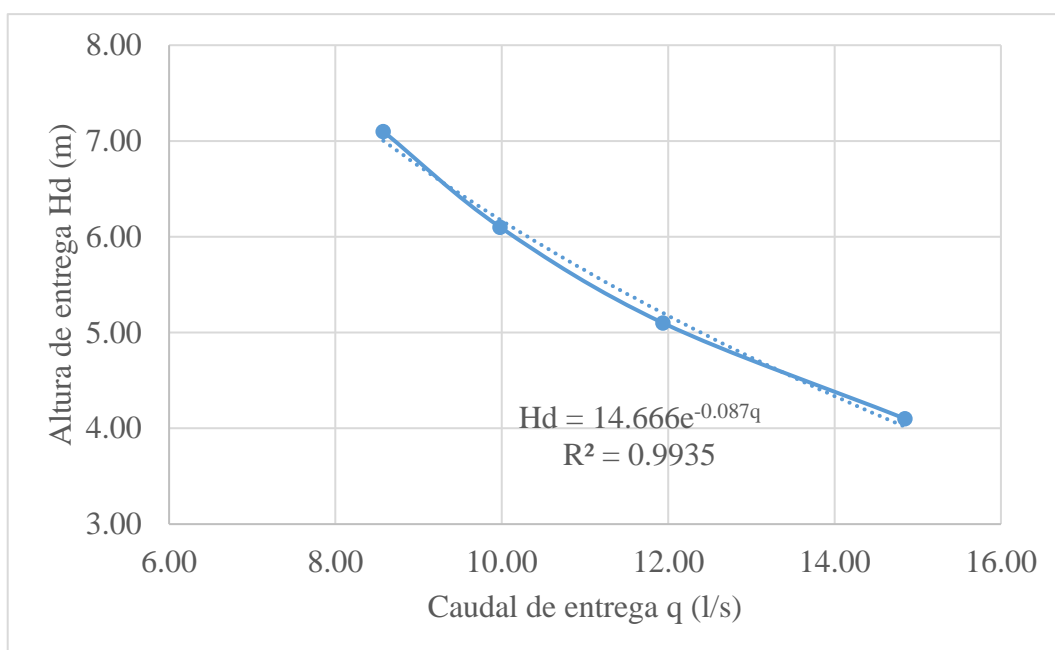


Figura 90. Curva caudal elevado en función de la carga

Fuente: Elaboración Propia usando el software Microsoft Excel 2016

En la siguiente grafica se aprecia que la línea de tendencia es en función Logarítmica con un R^2 de 0.9996.

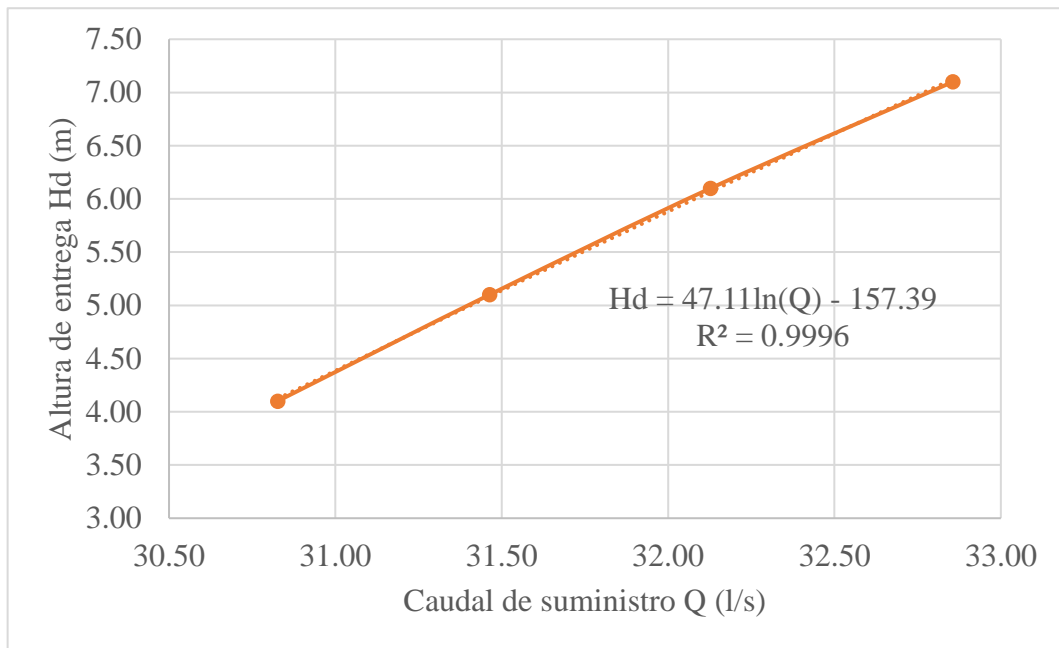


Figura 91. Curva caudal de suministro en función de la carga

Fuente: Elaboración Propia usando el software Microsoft Excel 2016

En la siguiente grafica se aprecia que la línea de tendencia es en función Exponencial con un R^2 de 0.9988.

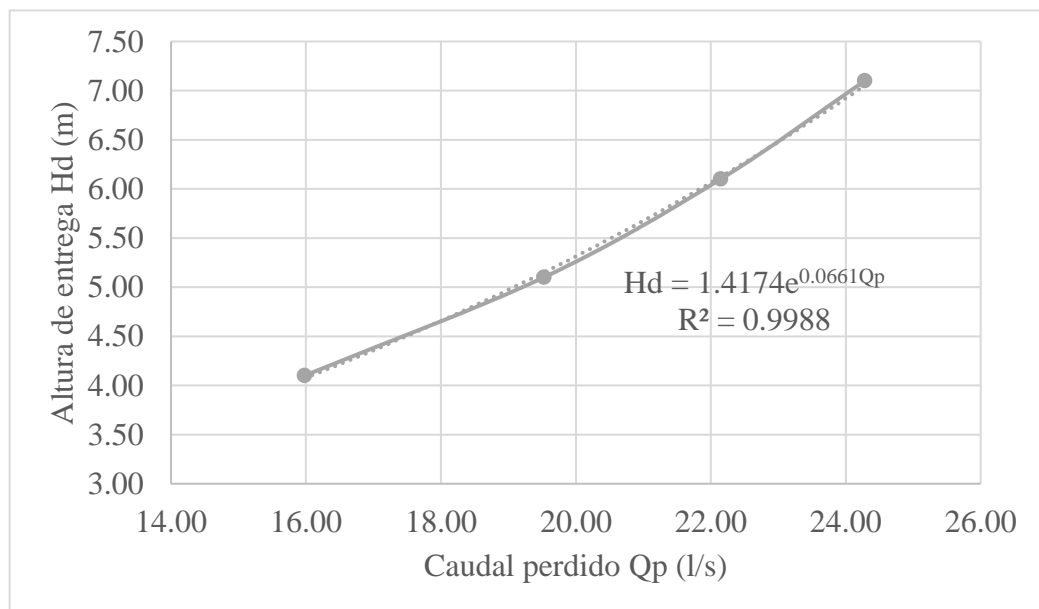


Figura 92. Curva caudal perdido en función de la carga

Fuente: Elaboración Propia usando el software Microsoft Excel 2016

En la siguiente grafica se aprecia que la línea de tendencia es en función logarítmica con un R^2 de 0.995.

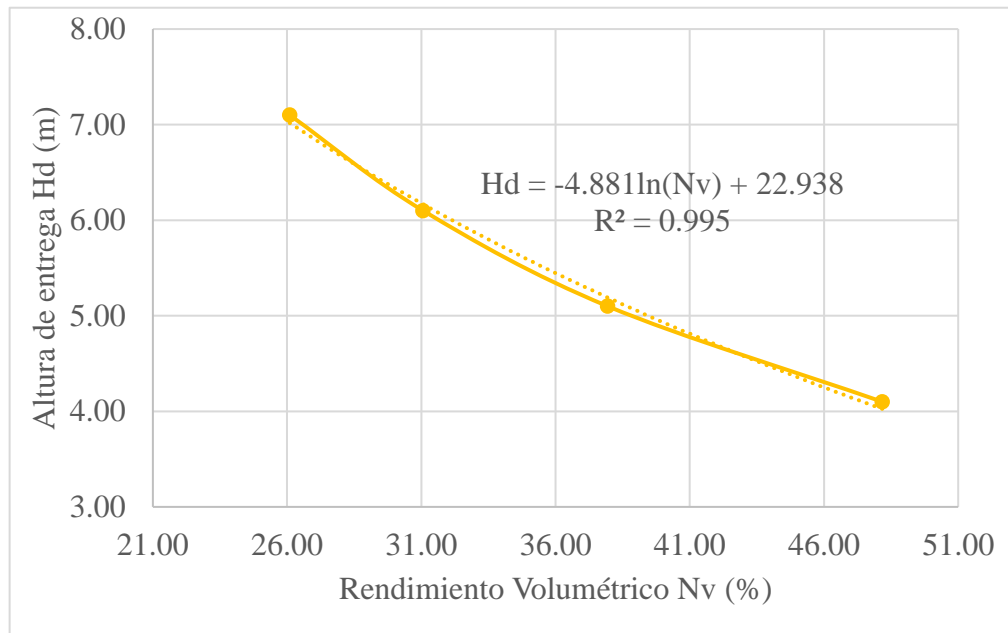


Figura 93. Curva rendimiento volumétrico en función de la carga

Fuente: Elaboración Propia usando el software Microsoft Excel 2016

Se calculó el caudal que el reservorio brindara al canal de riego. Al inicio se planteó un canal de sección trapezoidal y sin revestimiento, por condiciones del terreno se diseñó un canal de sección triangular y revestido con polietileno, para así irrigar de manera efectiva la zona de estudio. Este modelamiento del canal se realizó en el software H CANALES V3.0, aquí se obtuvo el tirante hidráulico, área hidráulica, perímetro mojado, velocidad del fluido, etc.

Cada cultivo tiene una necesidad hídrica para el riego, en el caso del maíz la necesidad hídrica es de 4400 m³/ha, esto hizo que el área de riego sea de 0,015 ha lo cual es muy poco y no cumplía con lo establecido en la hipótesis. Es por ello que en la marcha de nuestra investigación se buscó la necesidad hídrica de las hortalizas que es de 8 m³/ha, esto hizo que el área de riego sea de 8,120 ha. Con esto se ve más factible regar las hortalizas y así ayudar a la comunidad en su actividad económica.

5.6 Contrastación de Hipótesis

- Contrastación de hipótesis general: La propuesta de bomba de ariete será la que logre optimizar eficientemente el riego del cultivo de maíz con estricto cumplimiento de parámetros hidráulicos y mecánicos.

Se demostró que, al momento de realizar los cálculos de aforo y diseño, con una altura determinada se logra elevar al punto más alto del terreno, el caudal que se necesita para irrigar un área determinada del maíz. En el transcurso de la investigación se determinó que sería más eficiente irrigar las hortalizas, ya que su requerimiento hídrico es menor al del maíz. La hipótesis se cumplió parcialmente ya que es factible el riego de las hortalizas.

- Contrastación de la hipótesis específica 1: La característica topográfica de la zona de estudio se identifica por tener un relieve relativamente llano, con pendiente de 2 a 3% y un suelo con un bajo índice de permeabilidad.

La primera hipótesis específica se cumplió totalmente. Porque al momento de hacer el levantamiento topográfico y cálculos de gabinete, el terreno tiene una pendiente de 2% y también se realizó el estudio de la permeabilidad del suelo y se determinó que el terreno es Leptosol lítico, cumple con la premisa de tener un bajo índice de permeabilidad.

- Contrastación de la hipótesis específica 2: Los parámetros hidráulicos podrían ser carga, potencia, caudal y estructura metálica que de forma armónica permite la construcción de la bomba de ariete.

La segunda hipótesis específica se cumplió totalmente. Porque se determinó que los parámetros hidráulicos son el caudal de suministro, entrega y desechado, así como la carga, potencia, etc. Y se determinó que la estructura de la bomba de ariete será de PVC y Fierro Galvanizado esto prevé a la bomba una mayor estabilidad. Y con ello garantizar una entrega eficiente de recurso hídrico hacia el regadío. Los elementos de PVC serán las tuberías de 2" y 1"; y los de fierro galvanizado son los accesorios. La cámara de aire será un extintor de 15cm de diámetro y 0.70 m de altura.

- Contrastación de la hipótesis específica 3: El canal será de forma trapezoidal con ancho de base de 0.20m, talud de 1:0.5, altura de tirante de 0.05m y altura total de 0.10m, sin revestimiento y con la misma pendiente del terreno.

La tercera hipótesis específica no se cumplió. Al inicio planteamos realizar un canal trapezoidal, pero por condiciones del terreno se determinó que el canal de riego tendrá una sección triangular y revestida con polietileno. Su ancho de solera es de 0 m ya que es triangular, el talud es de 1:0,5, el tirante hidráulico es de 0,068 m. El caudal que fluye por el canal triangular es de 0,00223 m³/s. Si bien el terreno tiene baja permeabilidad, se decidió revestirlo para así optimizar al máximo el fluido hacia la zona de cultivo.

- Contrastación de la hipótesis específica 4: El área de riego para el cultivo de maíz en el valle del río Pativilca será de 2 hectáreas.

La cuarta hipótesis específica no se cumplió. Al inicio se planteó regar 2 hectáreas de maíz, pero luego de obtener su requerimiento hídrico y una baja altura de suministro por condiciones del terreno, se consiguió regar solo 0,015 hectáreas. Por ello se definió que el cultivo a regar será las hortalizas, su requerimiento hídrico es mínimo a comparación del maíz, se consiguió regar 8,120 hectáreas de cultivo. Esto hace que la bomba de ariete sea óptima para el riego de las hortalizas y para el maíz se necesitaría mayor carga de agua.

CONCLUSIONES

1. El levantamiento topográfico de la zona se define como un relieve relativamente Ondulado, este posee una pendiente de 13% y de con un intervalo de cotas relativas de 4 m como desnivel en una distancia de 30 metros correspondiente al sector de estudio, cabe precisar que la quebrada del Rio Pativilca posee una variación de cotas que va entre los 0 a los 6 000 msnm. Además, el suelo en la zona de estudio tiene un bajo índice de permeabilidad con un coeficiente K de 0,117 cm/s teniendo un suelo coluvial con presencia de roca fracturada y canto rodado.
2. Los parámetros de diseño de la bomba de ariete estarán constituidas a un diámetro de tubería de captación será de 5,08 mm con material de manguera de captación de HDPE, la bomba de ariete estará ejecutada con accesorios de tuberías de material de acero galvanizado, con un diámetro de tubería de impulsión de 1inch y con una manguera de material HDPE, midiendo el proceso de acumulación de presión con un manómetro de 15 mca para medir con precisión los cambios de presión dentro de la bomba de ariete.
3. El canal de riego será un canal revestido de polietileno de sección triangular con un tirante de 6.8 cm y un ancho de espejo de agua 6.8 cm trasladando 2,23 l/s, para cubrir el requerimiento hídrico del maíz de la zona.
4. En función al caudal entregado por la bomba de ariete, se regará un área de riego de maíz de 0.015 ha debido al poco caudal de captación en la zona, y la gran demanda de agua del maíz teniendo un consumo de 4400 m³/ha, dando como cultivo alternativo la producción de hortalizas que este tiene un requerimiento hídrico menor de 8 m³/ha, con este valor se pueden producir 8.12 ha de hortalizas con el caudal impulsado de la bomba de ariete que pudo ser rescatado.

RECOMENDACIONES

1. Es recomendable usar un distanciómetro laser para medir las distancias entre los puntos de control del levantamiento, esto aumentará la precisión en los datos obtenidos en campo, alternativamente en función al presupuesto se puede utilizar un nivel de ingeniero para la medida de los datos. Respecto al suelo se recomienda utilizar herramientas como pico o barreta debido a la morfología del suelo de la zona.
2. Se recomienda utilizar una manguera que sea de mejor calidad esto reducirá la fricción, por ende, las perdidas longitudinales aumentando el caudal. Estos parámetros de diseño están dentro de una relación entre sus diámetros y alturas buscando la eficiencia.
3. Se debe utilizar en otras investigaciones otro material de revestimiento del canal debido a su alto costo
4. Se recomienda cosechar otros cultivos como las hortalizas por su bajo requerimiento hídrico de esa manera se aprovechará todo el caudal impulsado de la bomba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Torres, R. E. y Ventura Gómez, H. Y. (2017). “Diseño y construcción de un módulo de laboratorio para el estudio experimental del comportamiento de bombas hidráulicas en serie y paralelo”. Universidad Nacional del Altiplano en Puno, Puno.
- Aguirre, H. (2015). Performance Evaluation and Development of Daily Reference Evapotranspiration Model. *Irrigation and Drainage Systems Engineering*, 05(01), 1–6.
- Autoridad Nacional del Agua. (2015). Evaluación de Recursos Hídricos en la Cuenca de Pativilca. Recuperado de https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/3/ANA0000055_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arangurí Cayetano, D. J. (2018). “Efectividad del Sistema de Bombeo con Ariete Hidráulico en la Zona Rural de La Provincia de San Pablo – Cajamarca”. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.
- Borja Suarez, M. (2012). Metodología de la investigación científica para ingenieros. Chiclayo – Perú.
- Cahuana Andia, A. y Yugar Morales, W. (2009). Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología. Universidad San Simón, Bolivia.
- Camacho Ramírez, D. E. y Meza Reina, J. D. (2017). “Diseño y construcción de un sistema de bombeo de ariete hidráulico multipulsor a escala de laboratorio”. Universidad Central, Ecuador.
- Campaña Calero, C. N. y Guamán Alarcón, D. A. (2011). “Construcción y diseño de una bomba de ariete hidráulico”. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.
- Carrillo Gutiérrez, A. (13 de Noviembre de 2015). Nuevas tecnologías en topografía. *Cienciamx noticias*. Recuperado de <http://www.cienciamx.com/index.php/ciencia/la-tierra/4003-tecnologia-permite-realizar-estudios-topograficos>

- Chero – Lizana, A. (2018). Diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico. Universidad de Piura, Perú.
- Cortes Arango, L. A. (2016). “Determinación de relaciones de geometría hidráulica para el río Cauca en su valle alto (Tramo Salvajina – la Virginia)”. Universidad del Valle, Colombia
- FAO & FIDA. (2013). Captación y almacenamiento de agua de lluvia opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Recuperado de <http://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf>
- (Fatahi-alkouhi et al., 2015). “Determine The Efficiency of Hydraulic Ram-Pumps”. En P. Goodwin, Asociación Internacional de Ingeniería e Investigación Hidroambiental. Conferencia llevada a cabo en la IAHR Asociación Internacional de Ingeniería e Investigación Hidroambiental, Holanda.
- Fernández Chavez, C. S. y Salas Rimarachín, M. (2018). “Diseño del sistema de abastecimiento de agua utilizando la bomba de ariete en la localidad Limabamba, Soritor, Moyobamba, 2018”. Universidad César Vallejo, Trujillo.
- Franzini J. B. y Finnemore E. J. (1999). Mecánica de fluidos con aplicaciones en ingeniería. España: Editorial Mc Graw Hill.
- Fuentes Guzmán, J. E. (2012). Topografía. México: Editorial Red Tercer Milenio S.C.
- Gonzales Huamani, M. A. (2020). “Diseño e instalación de una bomba de ariete hidráulico con partes de material reciclado para la captación y almacenamiento de agua Calango-Cañete”. Universidad César Vallejo, Trujillo.
- ICC. (2017). Manual de medición de caudales. Recuperado de <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medici%C3%B3n-de-caudales-ICC.pdf>
- Lofrio Gonzales, A. (2020). Estudio paramétrico de la bomba de ariete. Universidad politécnica de Cartagena, Colombia.
- Mataix C. (1986). Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. México: Alfaomega.
- MINEM. (1998). Estudio de evaluación ambiental territorial y de planteamientos para reducción o eliminación de la contaminación de origen minero en la cuenca del río Pativilca. Recuperado de

<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/publicaciones/evats/pativilca/Pativilca.PDF>

- Mott, R. L. (1996). *Mecánica de fluidos aplicada*. Lima: Pearson Educación.
- Montes de Oca, M. (1989). *Topografía*. México: Editorial Alfaomega.
- Ortega Corrales, L. (1995). *Selección e instalación del ariete hidráulico*. Chile: Centro Regional de Investigación Remehue
- Oti Isla, P. (2017) *Ariete hidráulico para riego Diseño, construcción y montaje*. Universidad de Cantabria, España.
- Pazos Roldan, V. H. (s/f). *Hidrología Agrícola*. Editorial Cidepro
- Peralta Surco, H. (2015). “Aplicación del golpe de ariete hidráulico para el aprovechamiento del agua de manantial en Quequerana Moho”. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Rengifo Hincapié, S. y Gallego Cadena, J. D. (2016). “Diseño y construcción de un sistema de ariete hidráulico para el aprovechamiento de aguas de lluvias”. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Rivadeneira Carlosama, S. X. y Silva Espinosa, L. F. (2013). *Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico con el desarrollo de un software para su dimensionamiento*. Universidad Politécnica Salesiana. Quito.
- Romero Guerrero, J. M. & Gutierrez, L. L. (2014). *El ariete hidráulico. Proyecto e instalación en Ntongui (Angola)*. España.
- Rusvel Poli, P. C. (2018). *Diseño de bomba de ariete hidráulico, en la asociación San Miguel - Yacango Distrito Torata Región Moquegua*. Universidad José Carlos Mariátegui. Moquegua.
- Salinas Maldonado, C. (12 de abril de 2021). *La sequía abrasa el 83% del territorio de México*. El País. Recuperado de <https://elpais.com/mexico/2021-04-12/la-sequia-abrasa-el-83-del-territorio-de-mexico.html>
- Santamaría Peña, J. y Sanz Méndez, T. (2005). *Manual de prácticas de topografía y cartografía*. España: Editorial Universidad de la Rioja.
- Tamayo, M (2007). *El proceso de Investigación Científica*. México: Editorial Limusa

Villón Béjar, M. (2003). Diseño de estructuras hidráulicas. Cartago – Costa Rica: Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Villón Béjar, M. (2007). Hidráulica de canales. Lima – Perú: Editorial Villon.

Yanangómez Agila, L. V. (2018). Evaluación del requerimiento hídrico del cultivo de maíz morado (*Zea mays* L) en la parroquia Malacatos sector “San José”. Universidad Nacional de Loja, Ecuador.

ANEXOS

Aspectos Administrativos

Anexo 1: Cronograma de actividades

Tabla 49. Cronograma de actividades

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE LA INVESTIGACION			AÑO 2021																							
			Mayo	Junio			Julio			Agosto			Set.	Octubre			Nov.			Dic.						
			2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
“Propuesta de una bomba de ariete para el riego de cultivo de maiz en el valle del río Pativilca”																										
CAPITULO I	Planteamiento del problema	Busqueda de informacion																								
CAPITULO II	Marco Teorico	Interpretacion de la informacion																								
CAPITULO III	Sistema de Hipotesis	Formulacion de hipotesis																								
CAPITULO IV	Metodologia de estudio	Aplicación de la metodologia																								
		Entrega de plan de tesis																								
CAPITULO I	Planteamiento del problema	Levantamiento de Observaciones																								
CAPITULO II	Marco Teorico	Levantamiento de Observaciones																								
CAPITULO III	Sistema de Hipotesis	Levantamiento de Observaciones																								
CAPITULO IV	Metodologia de estudio	Levantamiento de Observaciones																								
CAPITULO V	Presentacion y analisis de resultados de la investigacion	Tecnicas e instrumentos de recoleccion de datos																								
		Descripcion de procesamiento de analisis																								
CAPITULO V	Presentacion y analisis de resultados de la investigacion	Levantamiento de Observaciones																								
		Conclusiones y Recomendaciones																								
		Entrega y Sustentacion Final																								

Fuente: Elaboración Propia usando el software Microsoft Excel 2016

Anexo 2: Presupuesto

Tabla 50. Presupuesto

ITEM	DESCRIPCION	UND	METRADO	P.U.	TOTAL S/.
1	PERSONAL				14700.00
1.1	Grado de Bachiller	und	2	1200.00	2400.00
1.2	Curso de Titulacion por Tesis	und	2	6000.00	12000.00
1.3	Viaticos	und	1	300.00	300.00
2	EQUIPOS UTILIZADOS				728.50
2.1	Fuentes de Informacion (Papers, Libros, Tesinas)	und	1	100.00	100.00
2.2	Materiales para la construccion de la Bomba	und	1	628.50	628.50
3	MATERIALES DE GABINETE				650.00
3.1	Papel Bond A-4	millar	1	150.00	150.00
3.2	Materiales de Gabinete	glb	1	200.00	200.00
3.3	Fotocopias, Impresiones y Empastados	glb	1	300.00	300.00
Total del Presupuesto					S/ 16,078.50

Fuente: Elaboración Propia usando el software Microsoft Excel 2016

Anexo 3: Matriz de Consistencia

Tabla 51. Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	ALCANCE DE INVESTIGACIÓN	UNIVERSO INVESTIGADO	TÉCNICA E INSTRUMENTOS	TAMAÑO MUESTRAS Y ENSAYOS
¿Cuál es la propuesta de bomba de ariete para optimizar el riego de cultivo de maíz en el valle del río Pativilca?	Proponer una bomba de ariete para el riego de cultivo de maíz en el valle del río Pativilca..	La propuesta de bomba de ariete será la que logre optimizar eficientemente el riego del cultivo de maíz con estricto cumplimiento de parámetro hidráulicos y mecánicos.				
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS				
¿Cuáles serán las características de la topografía y del suelo del área de estudio?	Caracterizar la topografía y suelo del área de estudio	La característica topográfica de la zona de estudio se identifica por tener un relieve relativamente llano, con pendiente de 2 a 3% y un suelo con un bajo índice de permeabilidad.	Descriptiva-Explicativa (Cuantitativo)	Una bomba de ariete, la cual va ayudar al riego de cultivo de maiz.	<p>Técnica: Observación directa Observación participativa</p> <p>Instrumento: Normas técnicas peruanas: OS.080 Estaciones de bombeo de aguas residuales y OS.090 (2009) Plantas de Tratamiento de aguas residuales. Estudio de la autoridad nacional del agua (ANA) Evaluación de Recursos Hídricos en la Cuenca de Pativilca. Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje. Manual para productores – Minagri. Catálogos de bombas. Catalogo PVC.</p> <p>Los softwares que se utilizarán en esta investigación son los siguientes: Google Earth Pro, AutoCAD CIVIL 3D 2020, H CANALES v.3.0 y Microsoft Office 2016: Excel, Word y Power Point.</p>	La muestra es nuestra bomba de ariete que sera ubicada en el valle del rio Pativilca para el riego de cultivo de maiz
¿Cuáles serán los parámetros hidráulicos y estructurales para el diseño de la bomba de ariete?	Determinar los parámetros hidráulicos y estructurales para el diseño de la bomba de ariete	Los parámetros hidráulicos podrían ser carga, potencia, caudal y estructura metálica que de forma armónica permite la construcción de la bomba de ariete				
¿Cuáles serán las dimensiones optimas del canal de riego para el cultivo de maíz?	Dimensionar el canal de riego para el cultivo de maíz	El canal será de forma trapezoidal con ancho de base de 0.20m, talud de 1:0.5, altura de tirante de 0.05m y altura total de 0.10m, sin revestimiento y con la misma pendiente del terreno.				
¿Cuál será el área de riego para el cultivo de maíz?	Proponer el área de riego en función de la bomba de ariete para el cultivo de maíz	El área de riego para el cultivo de maíz en el valle del rio Pativilca será de 2 hectáreas				

Fuente: Elaboración Propia

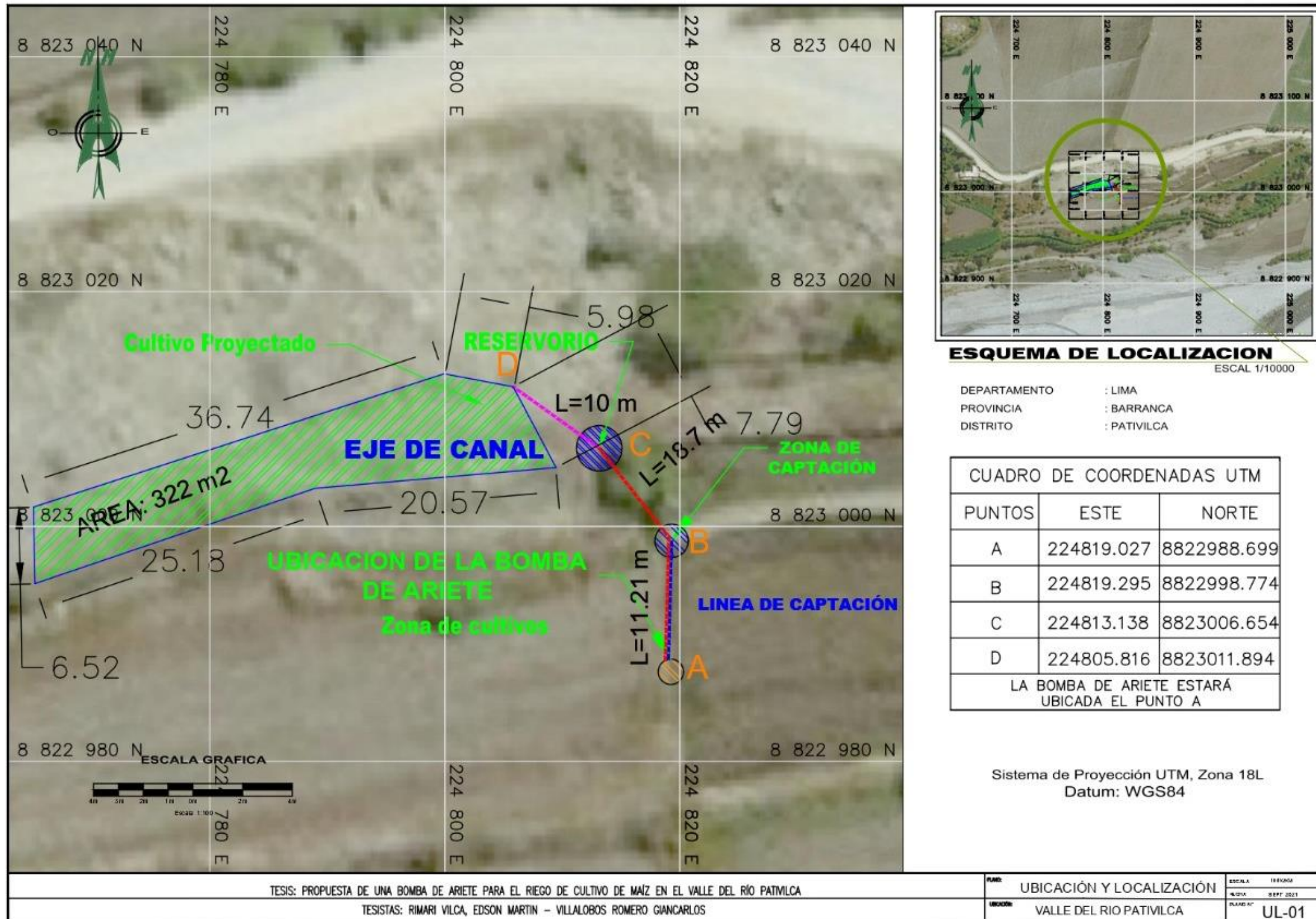
Anexo 4: Matriz de Operacionalización

Tabla 52. Matriz de Operalización de variables

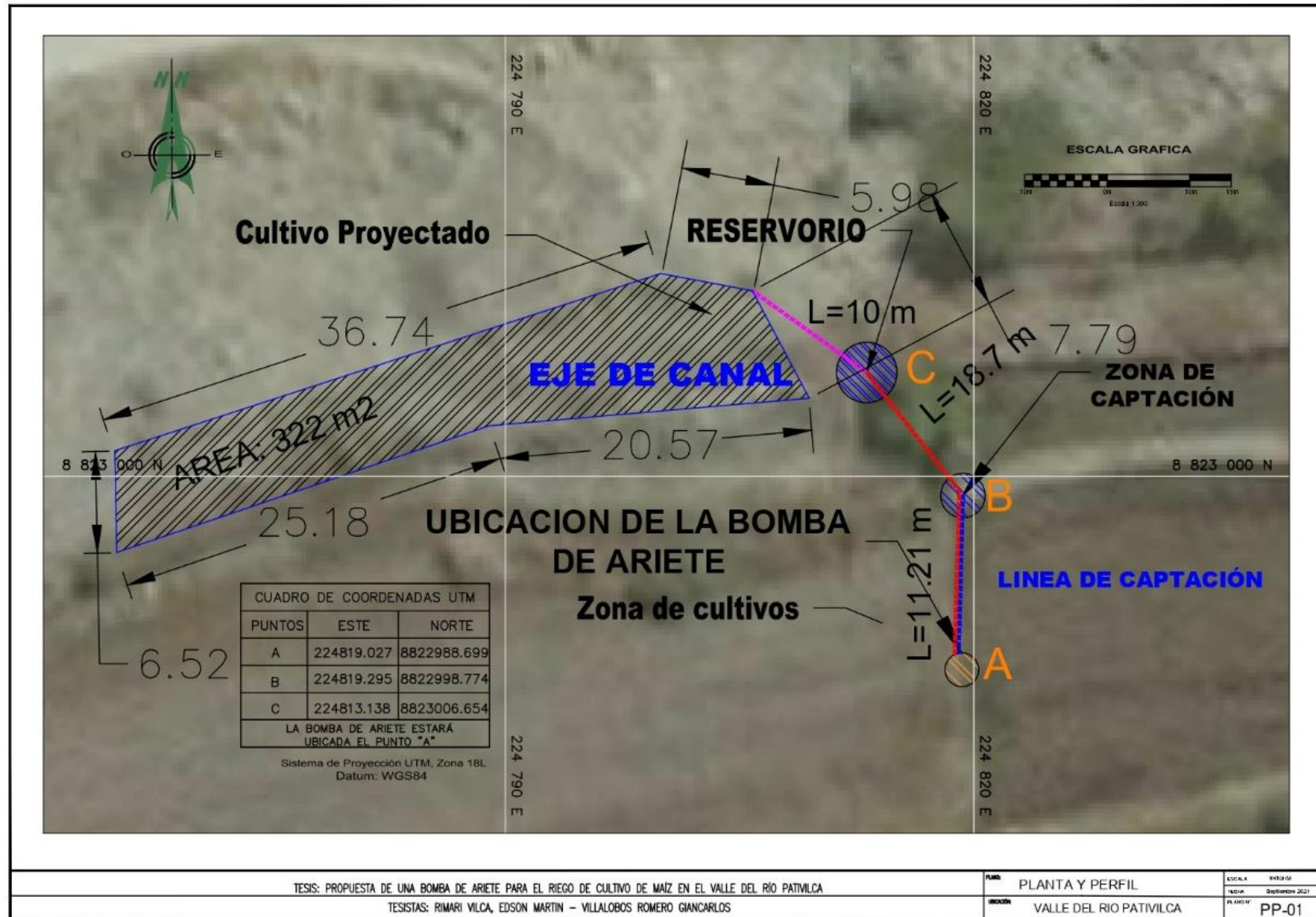
Variables	Definicion Operacional	Indicadores	Instrumentos
Variable Independiente: Bomba de ariete	Es una máquina hidráulica que utiliza la energía de una cantidad de agua situada a una altura ligeramente superior (el desnivel de un río, presa, acequia u otro depósito o caudal), con el propósito de elevar una parte de esa agua hasta una altura superior, sin usar la energía eléctrica o combustibles fósiles. El agua suministrada desde la fuente de captación desciende por gravedad por la tubería de carga hasta la bomba para provocar una sobrepresión ocasionada por la apertura y cierre continuo de una válvula. Esta sobrepresión producida es el origen del fenómeno físico conocido como golpe de ariete y es el principio para su funcionamiento. (p.224).	Diseño de la bomba de ariete Altura de elevacion Caudal de salida Potencia de la Bomba Eficiencia de la Bomba Carga de la Bomba	Manual de Hidrologia, hidraulica y drenaje Catalogo de bombas Catalogo PVC
Variable Dependiente: Riego de Cultivo	Las definiciones clásicas de riego establecían de un medio de aplicar agua artificialmente a los cultivos para complementar la acción de la lluvia. El estudio de las relaciones hídricas en el suelo y de los parámetros que intervenían en el riego, llevaron a la conclusión de que esta definición era muy general, pues había, además que poner el agua a disposición de la planta para que está pudiera aprovecharla eficientemente. Así surge una definición más concreta del riego, como un medio artificial de aplicar agua a la zona radicular de las plantas cultivadas de forma que la utilicen al máximo. (p.413).	Recurso Hídrico necesario del maíz, Tipo de Riego, Caudal, Tirante Hidráulico, Perímetro mojado Espejo de Agua Radio Hidráulico Pendiente Coeficiente de Manning Volumen Caudal de salida y entrada	Manual de hidráulica Microsoft Excel Programa H CANALES Manual de abastecimiento de Agua o riego.

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 5: Plano de Ubicación

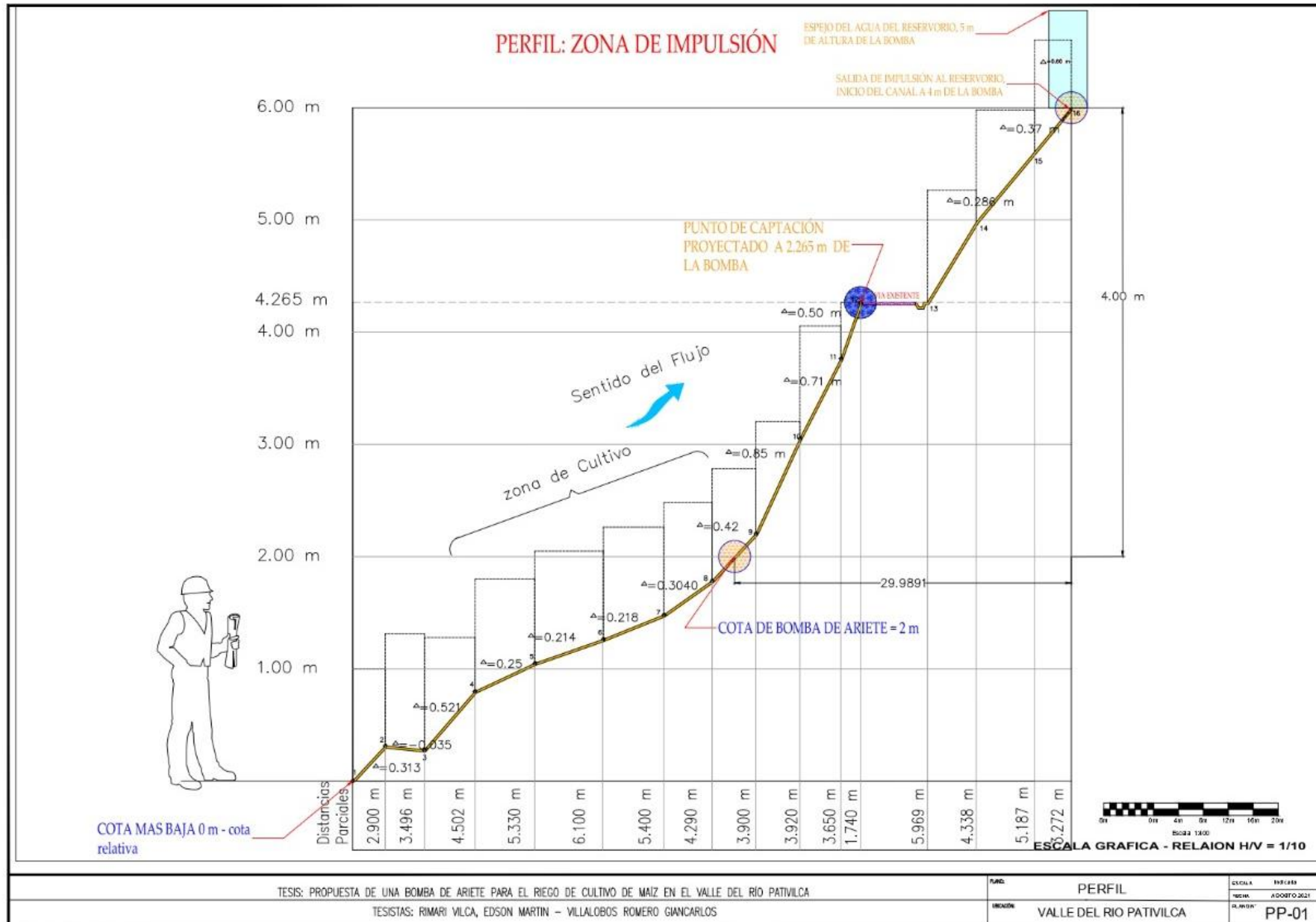


Fuente: Elaboración Propia usando el software AutoCAD Civil 3D 2020



Fuente: Elaboración Propia usando el software AutoCAD Civil 3D 2020

Anexo 7: Plano de Perfil



Fuente: Elaboración Propia usando el software AutoCAD Civil 3D 2020