



**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

## **TESIS**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE  
AGUA MEDIANTE IMPULSIÓN POR GOLPE DE  
ARIETE HIDRÁULICO EN LA COMUNIDAD ANANSAYA  
DISTRITO DE NICASIO - LAMPA - PUNO - 2016**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. HUBERT CHAIÑA CHAIÑA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**JULIACA – PERÚ**

**2016**



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**ACTA DE TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

En Juliaca, siendo las 16:00 Hrs. del 10 de diciembre del 2016, bajo la presidencia del catedrático:

**Mg. HUGO ANSELMO CCAMA CONDORI**

Se inició la Sesión Pública de Sustentación y Evaluación correspondiente, para obtener el Título Profesional de **INGENIERO CIVIL**, bajo la modalidad de Sistema de Tesis (Resolución 3175-2003-R-UAP), en la que:

**CHAIÑA CHAIÑA, HUBERT**

Sustento la Tesis titulada:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA MEDIANTE IMPULSIÓN DE GOLPE DE ARIETE HIDRÁULICO EN LA COMUNIDAD DE ANANSAYA DISTRITO DE NICASIO - LAMPA - PUNO - 2016”**

Ante el Jurado integrado por los señores catedráticos:

<b>Mg. HUGO ANSELMO CCAMA CONDORI</b>	<i>(Presidente)</i>
<b>Ing. ALFREDO PONCE FLORES</b>	<i>(Miembro/Secretario)</i>
<b>Ing. LUIS ALBERTO SUPO QUISPE</b>	<i>(Miembro)</i>

Sustentado el mismo, el graduando obtuvo el siguiente resultado:

**APROBADO POR UNANIMIDAD**

En fe de lo cual se asentó la presente Acta que firman el Señor Presidente y los demás miembros del Jurado.

  
.....  
**Ing. ALFREDO PONCE FLORES**  
Miembro/Secretario

  
.....  
**Ing. LUIS ALBERTO SUPO QUISPE**  
Miembro

  
.....  
**Mg. HUGO ANSELMO CCAMA CONDORI**  
Presidente

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme fuerza y voluntad para seguir mis estudios y concluir satisfactoriamente. Por guiar mis pasos y metas en todo momento.

A mis queridos padres, Antonio y Fabiana por el esfuerzo, sacrificio y cariño, a que día a día supieron ser mi pilar, apoyarme y guiarme; gracias a ellos estoy culminando una etapa más de mi vida.

A mis hermanos Vidal, Jesusa y Rosa por el cariño, por ser mi ejemplo y el apoyo incondicional.

A los amigos cercanos que compartimos todos estos años de amistad y estudio.

**CHAIÑA CHAIÑA, Hubert**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al personal docente y administrativo de la escuela profesional de Ingeniería Civil, de la UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS, por sus enseñanzas, intelectuales, culturales, sociales éticos morales, vividas durante mi formación profesional. Por su accesibilidad y apoyo incondicional, quien nos ha incentivado y fortalecido, en la ejecución y desarrollo del presente proyecto.

## RESUMEN

La presente investigación “Diseño de un sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad Anansaya Distrito de Nicasio – Lampa – Puno – 2016”, se realizó con el objetivo de solucionar la problemática de falta de agua en la comunidad de Anansaya distrito del Nicasio, donde viven 52 familias, ya que la fuente natural de agua presenta escasez de agua en temporada de estiaje, dado sus escasos recursos económicos de la comunidad, no pueden solventar la implementación de sistemas de abastecimiento de agua por medio de bombas electromecánicas, y utilizando el recurso hídrico de la zona, se plantea diseñar un sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico. La bomba de ariete hidráulico funciona bombeando una pequeña cantidad de agua, procedente de una fuente de abastecimiento, y elevándola a un nivel mucho mayor que la misma fuente. Las bombas de ariete no son nada nuevo, estas han sido utilizadas desde 1796, es por esta razón que su aplicación está aflorando de nuevo en varios países porque su instalación manejo y mantenimiento son simples, los objetivos de este diseño son determinar los parámetros de diseño más óptimos para satisfacer la demanda de agua de la comunidad, se determinó el caudal máximo de entrega de 0.41 lts/seg para un periodo de 10 años, se determinó la altura máxima de impulsión que resulto de 25 m la más óptima para la instalación hacia el tanque de almacenamiento debido, se determinó que el diámetro y la altura disponible de captación más óptimo para generar este caudal de 0.41 lts/seg a una altura de impulsión de 25 m, que fue de 2 plg y 2 m respectivamente, La instalación de la bomba de ariete fue con materiales de PVC y Bronce.

**Palabras Clave:** Bombas electromecánicas, Captación, Caudal máximo, Demanda de agua, Dotación, Golpe de ariete, Impulsión, Recursos hídricos.

## **ABSTRACT**

This research was carried out with the objective of solving the problem of lack of water in the community. The present research "Design of a system of water supply by hydraulic ram stroke in the Anansaya district of Nicasio - Lampa - Puno - 2016" Of Anansaya district of the Nicasio, where 52 families live, since the natural source of water has the particular problem that is the scarcity of water in the dry season, given their scarce economic resources of the community, cannot solve the implementation of systems Of water supply by electromechanical pumps, and using the water resource of the area, it is proposed to design a water supply system by means of hydraulic ram blow. The hydraulic ram pump works by pumping a small amount of water from a source of supply and raising it to a much higher level than the same source. Water pumps are nothing new, they have been used since 1796, it is for this reason that their application is surfacing again in several countries because their installation management and maintenance are simple, the objectives of this design are to determine the design parameters More optimal to meet the community water demand, the maximum delivery rate of 0.41 liters / sec was determined for a period of 10 years, the maximum discharge height that resulted from 25 m was the most optimum for installation to The storage tank due, it was determined that the diameter and the most optimum available catchment height to generate this flow of 0.41 lts / sec at a discharge height of 25 m, which was 2 in. And 2 m respectively. The water pump was made of PVC and Bronze materials.

**Key Words:** Electromechanical pumps, Uptake, Maximum flow, Water demand, Manning, Water hammer, Impulse, Water resources.

# INDICE

INTRODUCCION.....	13
CAPITULO I .....	15
1. PLANTEAMIENTO METODOLOGICO.....	15
1.1. DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	15
1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACION.....	16
1.2.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL .....	16
1.2.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL.....	17
1.2.3. DELIMITACIÓN SOCIAL CONDUCTUAL .....	17
1.2.4. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL.....	18
1.3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN.....	19
1.3.1. PROBLEMA GENERAL .....	19
1.3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS .....	19
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	20
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	20
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	21
1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	21
1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	21
1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN .....	22
1.6.1. VARIABLES INDEPENDIENTES.....	22
1.6.2. VARIABLES DEPENDIENTES .....	22
1.6.3. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES.....	22
1.7. VIABILIDAD.....	23
1.7.1. VIABILIDAD ECONÓMICA .....	23
1.7.2. VIABILIDAD TÉCNICA .....	24
1.7.3. VIABILIDAD OPERATIVA .....	24
1.8. METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	25
1.8.1. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN .....	25
1.8.2. DISEÑO Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	26
1.9. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
1.9.1. POBLACIÓN .....	29
1.9.2. MUESTRA DE ESTUDIO.....	29
1.9.3. ANÁLISIS DE DATOS.....	29

1.10.	TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	30
1.10.1.	TÉCNICAS.....	30
1.10.2.	INSTRUMENTOS .....	30
1.11.	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	31
1.11.1.	JUSTIFICACIÓN .....	31
1.11.2.	IMPORTANCIA .....	33
1.11.3.	LIMITACIONES .....	33
CAPITULO II .....		34
2.	MARCO TEÓRICO.....	34
2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	34
2.2.	BASES TEÓRICAS.....	36
2.2.1.	EL ABASTECIMIENTO DE AGUA Y SALUD HUMANA .....	36
2.2.2.	EL ABASTECIMIENTO DE AGUA A PEQUEÑAS COMUNIDADES DE PAÍSES EN DESARROLLO.....	36
2.2.3.	SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE .....	37
2.2.4.	COMPONENTES DEL SISTEMA.....	39
2.2.5.	POBLACIÓN DE DISEÑO Y DEMANDA DE AGUA.....	41
2.2.6.	DEMANDA DE AGUA .....	42
2.2.7.	FUENTES DE ABASTECIMIENTO.....	52
2.3.	LA BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO .....	59
2.3.1.	RESEÑA HISTÓRICA .....	59
2.3.2.	CONFIGURACIÓN GENERAL DE LA BOMBA DE ARIETE .....	62
2.3.3.	FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA.....	63
2.3.4.	CICLO HIDRÁULICO DE LA BOMBA DE ARIETE .....	65
2.3.5.	UTILIZACIÓN DE VÁLVULAS.....	71
2.3.6.	DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO FÍSICO GOLPE DE ARIETE.....	72
2.3.7.	TIPOS DE INSTALACIONES DE ARIETES.....	78
2.3.8.	ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE .....	78
2.4.	DEFINICION DE TERMINOS BASICOS.....	79
CAPITULO III .....		82
3.	PROPUESTAS TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	82
3.1.	DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROBLEMA.....	82
3.2.	PROPUESTA TÉCNICA EXPERIMENTAL .....	83
3.2.1.	FUNDAMENTACIÓN .....	83

3.3.	DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA UNIDAD DE IMPULSIÓN .....	83
3.3.1.	MATERIALES E INSUMOS.....	83
3.3.2.	EQUIPOS E INDUMENTARIA NECESARIA.....	86
3.3.3.	MONTAJE.....	86
3.3.4.	MATERIALES, COSTOS E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE IMPULSIÓN.....	88
3.3.5.	DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL CAUDAL DE ENTREGA.....	91
3.3.6.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	95
CAPITULO IV .....		97
4.	PRESENTACION, INTERPRETACION Y ANALISIS DE RESULTADOS .....	97
4.1.	CALCULO DE LA POBLACIÓN FUTURA.....	97
4.2.	CALCULO DEL CAUDAL DE DISEÑO.....	98
4.3.	PRESENTACION E INTERPRETACION DE RESULTADOS.....	99
4.3.1.	ANÁLISIS DE CAUDAL DE ENTREGA EN FUNCIÓN A ALTURA DE DESCARGA... 103	
4.3.2.	ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA ALTURA DISPONIBLE DE CAPTACION. ....	117
4.3.3.	ANÁLISIS Y SELECCIÓN DEL DIAMETRO DE TUBERIA DE ALIMENTACION. ....	118
4.4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	119
4.5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO MEDIANTE REGRESION LINEAL Y VARIANZA .....	121
4.5.1.	EFFECTOS ESTIMADOS PARA CAUDAL DE ENTREGA .....	121
4.5.2.	COEFICIENTES DE REGRESION LINEAL.....	124
4.5.3.	MATRIZ DE CORRELACION DE EFFECTOS ESTIMADOS.....	126
4.5.4.	ESTIMACION DE CAUDALES DE ENTREGA.....	127
4.5.5.	CAMINO DE MAXIMO ASCENSO AL CAUDAL DE ENTREGA.....	130
4.5.6.	OPTIMIZACION DE RESPUESTA .....	131
4.6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	132
CONCLUSIONES .....		134
RECOMENDACIONES.....		136
BIBLIOGRAFÍA.....		137
ANEXOS .....		139

## LISTA DE TABLAS:

Tabla 1. Operacionalización de variables .....	23
Tabla 2. Periodo de diseño.....	43
Tabla 3. Dotación de agua según DIGESA.....	47
Tabla 4. Dotación de agua según OMS.....	48
Tabla 5. Dotación de agua según Fondo Perú-Alemania .....	48
Tabla 6. Diferencia entre agua superficial y subterránea .....	58
Tabla 7. Ventajas y desventajas de las fuentes de abastecimiento de agua.....	59
Tabla 8. Costos de accesorios para montaje de bomba de ariete de 2 plg.....	88
Tabla 9. Costos de accesorios para montaje de bomba de ariete de 1 1/2 plg.....	89
Tabla 10. Costos de accesorios para montaje de bomba de ariete de 1 plg.....	90
Tabla 11. Intervalo de las variables independientes.....	93
Tabla 12. Variable respuesta. ....	94
Tabla 13. Símbolo de combinaciones .....	94
Tabla 14. Diseño factorial $2^K$ .....	95
Tabla 15. Población de la Provincia de Lampa según INEI.....	98
Tabla 16. Primera ficha de aforo de caudal de agua .....	100
Tabla 17. Segunda ficha de aforo de caudal de agua .....	101
Tabla 18. Tercera ficha de aforo de caudal de agua.....	102
Tabla 19. Caudal de entrega en función de altura de impulsión para $h=2$ m y $\phi=2$ plg.....	103
Tabla 20. Caudal de entrega en función de altura de impulsión para $h=2$ m y $\phi=1$ 1/2 plg. ....	105
Tabla 21. Caudal de entrega en función de altura de impulsión para $h=2$ m y $\phi=1$ plg.....	106
Tabla 22. Caudal de entrega en función de altura de impulsión para $h=1.5$ m y $\phi=2$ plg.....	108
Tabla 23. Caudal de entrega en función de altura de impulsión para $h=1.5$ m y $\phi=1$ 1/2 plg. .	109
Tabla 24. Caudal de entrega en función de altura de impulsión para $h=1.5$ m y $\phi=1$ plg.....	111
Tabla 25. Caudal de entrega en función de altura de impulsión para $h=1$ m y $\phi=2$ plg.....	112
Tabla 26. Caudal de entrega en función de altura de impulsión para $h=1$ m y $\phi=1$ 1/2 plg. ....	114
Tabla 27. Caudal de entrega en función de altura de impulsión para $h=1$ m y $\phi=1$ plg.....	115
Tabla 28. Altura disponible de captación.....	117
Tabla 29. Diámetro de tubería de alimentación .....	118
Tabla 30. Valores de caudal de entrega con respecto al caudal requerido. ....	120
Tabla 31. Efectos estimados para caudal de entrega lts/seg.....	121
Tabla 32. Análisis de varianza para caudal de entrega .....	122
Tabla 33. Coeficientes de regresión para caudal de entrega .....	124
Tabla 34. Correlación para los efectos estimados .....	126
Tabla 35. Resultados estimados para caudal de entrega .....	127
Tabla 36. Máximo ascenso para caudal de entrega.....	130
Tabla 37. Valores máximos recomendados.....	131

## LISTA DE FIGURAS:

Figura 1. Factores que intervienen para la impulsión por golpe de ariete hidráulico .....	26
Figura 2. Esquema general de un sistema de abastecimiento de agua potable .....	38
Figura 3. Población del distrito de Nicasio .....	46
Figura 4. Población de la Provincia de Lampa.....	47
Figura 5. Variaciones de consumo .....	50
Figura 6. Captación de agua de lluvia.....	53
Figura 7. Captación de agua superficial .....	56
Figura 8. Captación de agua subterránea (manantial).....	58
Figura 9. Esquema de funcionamiento del ariete ideada por John Whitehorse .....	60
Figura 10. Ariete hidráulico ideado por Joseph Michael Montgolfier .....	61
Figura 11. Configuración de la bomba de ariete .....	62
Figura 12. Esquema del principio de funcionamiento del ariete hidráulico.....	65
Figura 13. Eventos que se presentan en un ciclo.....	66
Figura 14. Representación gráfica de los periodos velocidad - tiempo.....	67
Figura 15. Cierre de las válvulas de impulsión .....	68
Figura 16. Amortiguación en la cámara de aire .....	69
Figura 17. Cierre de la válvula de descarga .....	70
Figura 18. Reapertura de las válvulas nuevo ciclo de trabajo. ....	70
Figura 19. Onda de presión en el cierre instantáneo de una válvula .....	72
Figura 20. Tubería sin perturbaciones.....	74
Figura 21. Cierre instantáneo de la válvula.....	74
Figura 22. Propagación de la onda de presión. ....	74
Figura 23. Llegada de la sobrepresión al embalse. ....	75
Figura 24. Tubería con la parte izquierda contraída.....	75
Figura 25. Diámetro de la tubería normal. ....	76
Figura 26. Depresión en la mitad de la tubería. ....	76
Figura 27. Depresión en toda la tubería. ....	76
Figura 28. Tubería con la parte izquierda en movimiento. ....	77
Figura 29. Diámetro de la tubería normal. ....	77
Figura 30. Tipos de instalaciones de bombas de ariete. ....	78
Figura 31. Sistema de bombeo. ....	87
Figura 32. Esquema de la unidad de impulsión. ....	95

## LISTA DE GRÁFICAS:

Gráfica 1. Caudal de entrega vs altura de impulsión para $h=2\text{m}$ y $\varphi=2\text{plg}$ .....	104
Gráfica 2. Caudal de entrega vs altura de impulsión para $h=2\text{m}$ y $\varphi=1\ 1/2\text{plg}$ .....	105
Gráfica 3. Caudal de entrega vs altura de impulsión para $h=2\text{m}$ y $\varphi=1\text{plg}$ .....	107
Gráfica 4. Caudal de entrega vs altura de impulsión para $h=1.5\text{m}$ y $\varphi=2\text{plg}$ .....	108
Gráfica 5. Caudal de entrega vs altura de impulsión para $h=1.5\text{m}$ y $\varphi=1\ 1/2\text{plg}$ .....	110
Gráfica 6. Caudal de entrega vs altura de impulsión para $h=1.5\text{m}$ y $\varphi=1\text{plg}$ .....	111
Gráfica 7. Caudal de entrega vs altura de impulsión para $h=1\text{m}$ y $\varphi=2\text{plg}$ .....	113
Gráfica 8. Caudal de entrega vs altura de impulsión para $h=1\text{m}$ y $\varphi=1\ 1/2\text{plg}$ .....	114
Gráfica 9. Caudal de entrega vs altura de impulsión para $h=1\text{m}$ y $\varphi=1\text{plg}$ .....	116
Gráfica 10. Selección de la altura disponible de captación.....	117
Gráfica 11. Selección del diámetro de tubería de alimentación.....	118
Gráfica 12. Parapeto estandarizado para caudal de entrega.....	122
Gráfica 13. Efectos para caudal de entrega.....	124
Gráfica 14. Interacción caudal de entrega.....	125
Gráfica 15. Probabilidad normal para caudal de entrega.....	127
Gráfica 16. Superficie de respuesta estimada.....	129
Gráfica 17. Contornos de la superficie de respuesta estimada.....	131
Gráfica 18. Residuos para caudal de entrega.....	132

## INTRODUCCION

En la actualidad el abastecimiento de agua es un problema relevante, especialmente para la población rural que se ve limitada en el uso de este recurso tan importante para su desarrollo. En la actualidad en la comunidad de Anansaya del Distrito de Nicasio, Provincia de Lampa de la Región Puno, donde viven 52 familias (263 habitantes), cuya economía está basada en la agricultura y ganadería, dado sus escasos recursos económicos no pueden solventar la implementación de un sistema de abastecimiento de agua por medio de bombas electromecánicas, y utilizando las grandes probabilidades del recurso hídrico que posee la zona, se plantea diseñar un sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico, buscando satisfacer el abastecimiento de agua a la comunidad de Anansaya y mejorar su calidad de vida.

El estudio de la presente investigación se ha dividido en cuatro capítulos; en los cuales se detallan los temas necesarios para su consecuente desarrollo, donde el primer capítulo se inicia con la introducción. Describiendo la situación del sistema de abastecimiento de agua potable con problemas de carencia de sistemas de impulsión, para ello, presentamos los antecedentes de la temática; seguidamente se realiza el planteamiento del problema de investigación, seguido de las preguntas de investigación, planteamiento del objetivo general y específicos al igual que presentando la hipótesis general y específicos; además se plantean los alcances y límites de la investigación, las variables de investigación, la metodología a emplearse, las técnicas e instrumentos a emplear, y concluyendo con la justificación del estudio.

En el segundo y tercer capítulo, presentamos el marco teórico de la investigación, la cual contiene definiciones y conceptos empleados para la investigación, de igual forma se presenta el marco teórico contextual utilizado como soporte de la investigación,

mostrando la descripción del sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico, los materiales y equipos empleados, el procedimiento experimental, procedimiento de toma de muestras y análisis respectivos; donde concluimos con la propuesta técnica de un componente estructural que se podría implementar a escala real en los sistemas de abastecimiento de agua potable rural con similar problemas del estudio.

En el capítulo 4, se presentan los resultados, análisis e interpretación de los resultados obtenidos mediante pruebas de funcionamiento realizadas a condiciones reales de operación, para ello empleamos gráficos y cuadros estadísticos para su mejor comprensión; donde finalmente, el estudio se cierra presentando las conclusiones, recomendaciones anexos y registros bibliográficos empleados y elaborados durante el proceso de la investigación.

## **CAPITULO I**

### **1. PLANTEAMIENTO METODOLOGICO**

#### **1.1. DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

El abastecimiento del agua ha sido un problema grave, especialmente para la comunidad de Anansaya del Distrito de Nicasio, que se ve limitada en el uso de este recurso tan importante debido a la temporada de estiaje donde la fuente de agua de la cual son abastecidos carece del caudal necesario para su demanda de agua, la comunidad Anansaya del Distrito de Nicasio es una comunidad rural de 52 familias, la cual no cuenta con los servicios básicos indispensables como agua potable. Dado que el agua es necesaria para la buena salud y subsistencia de sus pobladores, es indispensable diseñar y construir un sistema de suministro de agua, Dado sus escasos recursos económicos, no pueden solventar la implementación de sistemas de abastecimiento de agua por medio de bombas electromecánicas, y utilizando las grandes posibilidades del recurso hídrico que posee la zona, se plantea diseñar un sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico, La solución planteada es bombear agua desde un pequeño río adyacente hasta un tanque de almacenamiento y potabilizar el agua para luego distribuirla entre los habitantes de la comunidad, partiendo de la premisa de que el

sistema a diseñar debe ser mantenido por la comunidad y debe ser de bajo costo de instalación y mantenimiento.

La investigación se realizó teniendo en consideración la falta de abastecimiento de agua en la comunidad Anasaya del Distrito de Nicasio, a pesar que en la actualidad el Gobierno Peruano ha enfatizado estrategias de intervención articulada y políticas nacionales que conllevan a reducir el porcentaje de viviendas que carecen de acceso sostenible al agua potable; y dentro de ellas, tenemos los programas del estado como FONCODES, PRONASAR, PNSR, SANBASUR, SABA y algunas ONGs como CARE y LA ASOCIACION SER; todos ellos en su conjunto tienen como prioridad apoyar en la elaboración y ejecución de Proyectos de Saneamiento Básico en zonas rurales de nuestro país y al mismo tiempo poder satisfacer uno de los objetivos invaluable al 2021 que es contar con agua potable y de calidad en cada una de las viviendas de nuestro país, especialmente en zonas rurales que muy difícilmente son atendidos de manera adecuada por nuestras autoridades y/o instituciones competentes por encontrarse aislados o por estar ubicados en zonas de difícil acceso.

## **1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACION**

### **1.2.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL**

El ámbito de estudio de la presente investigación es el espacio territorial de la comunidad Anansaya, Distrito de Nicasio, Provincia de Lampa de la Región Puno donde se ejecutó un proyecto de abastecimiento de agua potable para 52 viviendas del sector y que se encuentra con un problema de desabastecimiento de agua en temporada de estiaje, la comunidad geográficamente se encuentra ubicado en su coordenada 15°15'06.68" S y

70°16'15.15" O, con una altura promedio de 3855 m.s.n.m. Se tiene acceso a la zona de estudio desde la ciudad de Juliaca mediante la carretera Interoceánica vía terrestre asfaltada hasta el desvío al distrito de Nicasio, para posteriormente dirigirse a la comunidad de Anansaya mediante trocha carrozable a 2.5 km del Distrito de Nicasio.

### **1.2.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL**

La presente investigación se realizó entre meses de abril a septiembre del 2016, tiempo en el que se realizó la planificación, se efectuó los trabajos de campo, consistente en la implementación del sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico con una cota de 3844m.s.n.m. hacía el tanque de almacenamiento instalado en una cota superior de 3880 m.s.n.m. en la comunidad de Anansaya del Distrito de Nicasio, También se logró con éxito el procesamiento de datos, para obtener los resultados esperados con el nuevo sistema de abastecimiento.

### **1.2.3. DELIMITACIÓN SOCIAL CONDUCTUAL**

La investigación se realizó en el contexto social del ámbito rural de la comunidad de Anansaya, distrito de Nicasio y Provincia de Lampa de la Región Puno, donde se instaló un nuevo sistema de abastecimiento de agua, comunidad en la que no se cuenta con un adecuado sistema de abastecimiento de agua, la particularidad problemática es que su fuente natural de agua presenta escases de agua como es el manantial del cual actualmente reciben agua para su consumo.

#### **1.2.4. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL**

##### **Línea de impulsión**

Es la línea que transporta el agua desde la captación hasta el punto de entrega, que usualmente es el reservorio de regulación, pero eventualmente puede ser la planta de tratamiento o puede ser directamente a la red de distribución cuando el caudal de conducción corresponde al caudal máximo horario, lo que hace innecesario el reservorio de regulación. (Garcia, 2009).

##### **Energía hidráulica**

La energía hidráulica es la energía del agua en movimiento. La cantidad de potencia hidráulica disponible depende de la caída y del caudal. Los principales tipos de equipos de bombeo movidos por energía hidráulica utilizados en suministros de agua para comunidades pequeñas son: bombas de ariete hidráulico, turbinas hidráulicas y bombas de corriente de río. Estas bombas pueden operar continuamente sin un suministro de combustible pero requieren obras civiles, tales como presas, ataguías, estructuras de entrada y tuberías, cuyo tamaño y costos dependen de las condiciones de cada sitio. (Quispe, 2005).

##### **Golpe de ariete hidráulico**

El golpe de ariete\* o “waterhammer” puede definirse como el fenómeno hidráulico ocasionado por rápidas fluctuaciones en el flujo debido a la interrupción o inicio súbitos del flujo en una tubería, produciendo una variación de presión por encima o debajo de la presión de operación y cambios bruscos en la velocidad del flujo. El golpe

de ariete es el resultado de una transformación repentina de energía cinética a energía de presión. (Pérez, 2005).

### **1.3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN**

Actualmente la comunidad de Anansaya del Distrito de Nicasio tiene problemas en el sistema de abastecimiento de agua debido a la temporada de estiaje. La poca agua de la que disponen es obtenida de una captación de ladera, pozos artesianos que son transportados en recipientes por sus pobladores. Esta carencia de agua potable aumenta los riesgos de enfermedades y limita el surgimiento próspero en la zona mencionada.

#### **1.3.1. PROBLEMA GENERAL**

- ¿Serán óptimos los valores de los parámetros de diseño del sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad Anansaya Distrito de Nicasio - Lampa - Puno - 2016?

#### **1.3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Será óptimo el caudal máximo entregado por la línea de impulsión al tanque de almacenamiento por el sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad Anansaya Distrito de Nicasio - Lampa - Puno - 2016?

- ¿Será óptima la altura de impulsión máxima para el bombeo en la línea de entrega para el sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad Anansaya Distrito de Nicasio - Lampa - Puno - 2016?
- ¿Cuánto será la altura disponible de captación adecuada hacia sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad Anansaya Distrito de Nicasio - Lampa - Puno - 2016?
- ¿Cuál será el diámetro de tubería de alimentación más óptimo para el funcionamiento hacia el sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad Anansaya Distrito de Nicasio - Lampa - Puno - 2016?

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

##### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

- Determinar los valores de los parámetros de diseño del sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad Anansaya Distrito de Nicasio - Lampa - Puno - 2016.

##### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer el caudal máximo de entrega al tanque de almacenamiento por el sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad Anansaya Distrito de Nicasio - Lampa - Puno - 2016.

- Calcular la altura de impulsión máxima para el bombeo por el sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad Anansaya Distrito de Nicasio - Lampa - Puno - 2016.
- Establecer la altura disponible de captación más adecuada hacia el sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad Anansaya Distrito de Nicasio - Lampa - Puno - 2016.
- Establecer el diámetro de tubería de alimentación más óptimo para el funcionamiento hacia sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad Anansaya Distrito de Nicasio - Lampa - Puno - 2016.

## **1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL**

- Los valores de los parámetros de diseño serán los más óptimos para el funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad Anansaya Distrito de Nicasio - Lampa - Puno - 2016.

### **1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- El caudal máximo de entrega de la línea de impulsión al tanque de almacenamiento es el óptimo según el sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad Anansaya Distrito de Nicasio - Lampa - Puno - 2016.

- La altura máxima de impulsión será la adecuada y óptima para la instalación del tanque de almacenamiento del sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad Anansaya Distrito de Nicasio - Lampa - Puno - 2016.
- La altura disponible de captación será el más óptimo para el sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad Anansaya Distrito de Nicasio - Lampa - Puno - 2016.
- El diámetro de tubería de alimentación será el más óptimo para el sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad Anansaya Distrito de Nicasio - Lampa - Puno - 2016.

## **1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.6.1. VARIABLES INDEPENDIENTES**

- Altura de impulsión
- Altura disponible de captación
- Diámetro de tubería de alimentación

### **1.6.2. VARIABLES DEPENDIENTES**

- Caudal máximo de entrega

### **1.6.3. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES**

Este punto se muestra en la tabla N° 1 y a continuación se detalla

Tabla 1.  
Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSION	INDICADOR	DATO	INSTRUMENTO
<b>Variables</b>				
<b>Independientes: (X)</b>	<b>Equipo de bombeo</b>			
Altura de impulsión		Elevación	m	Wincha de lona
Altura disponible de captación		Altura	m	Flexometro
Diámetro de tubería de alimentación		Diámetro	plg	Vernier
<b>Variable Dependiente: (Y)</b>	<b>Caudal requerido para el abastecimiento de agua</b>			
Caudal de entrega		Caudal	lts/seg	Envase de 5 lts

Fuente: Elaboración propia.

## 1.7. VIABILIDAD

### 1.7.1. VIABILIDAD ECONÓMICA

El diseño de un sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico para la comunidad Anansaya del distrito de Nicasio es a nivel experimental, implica la construcción de un prototipo con materiales existentes en el mercado, implica su montaje en la comunidad, este sistema se requiere un presupuesto de S/. 7,300.00 nuevos soles, lo que hace viable a la ejecución del presente estudio en comparación con sistemas de abastecimiento de agua con equipos de bombeo electromecánico valorizados en S/. 11,500.00 nuevos soles, estudios realizados por (Rivadeneira & Silva, 2013), apoyados por un software para el análisis.

### **1.7.2. VIABILIDAD TÉCNICA**

En los proyectos de abastecimiento de agua potable en comunidades rurales se podría encontrar con este problema y de todas maneras debe ser solucionado, Con la utilización de bombas de ariete hidráulico que permitirá dotar de agua a esta zona necesitada, con la ventaja que no tendrán que pagar energía eléctrica ni combustible, por la configuración del ariete el cual aprovecha un salto de altura y el caudal disponible de la zona, pero como esta investigación pretende dotar de servicio de agua potable en poblaciones, es que el estudio resultaría técnicamente viable para su ejecución.

### **1.7.3. VIABILIDAD OPERATIVA**

En la presente investigación el funcionamiento de la bomba de ariete es bastante simple y de fácil manejo. El agua procedente de un depósito, acequia o río desciende por gravedad por la tubería de alimentación o impulso bajo la acción de un desnivel en relación con el ariete hidráulico. El agua llega hasta el cuerpo o caja de válvulas con velocidad suficiente para que la presión dinámica cierre la válvula de impulso o ímpetu. El cierre brusco de esta válvula produce el efecto conocido como 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. Esta agua provoca la compresión del aire existente y cierta cantidad de agua asciende por la tubería de bombeo o descarga hasta llegar al depósito de descarga, todos estos criterios en su conjunto hacen que la investigación sea operativamente viable.

## **1.8. METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.8.1. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **a) Tipo de investigación**

El tipo de investigación por sus características se enmarcan dentro del enfoque cuantitativo, debido a que se utilizaron instrumentos estandarizados y se cuantificaron los resultados para avalar e interpretar se utilizaron las herramientas estadísticas como el programa STATGRAPHICS para el análisis estadístico mediante regresión lineal y varianza, de acuerdo al propósito que se tiene como investigador es fundamental o básico, ya que solamente está orientada a demostrar la aplicabilidad del sistema de abastecimiento por golpe de ariete hidráulico; sin embargo, por su naturaleza explicativo, pretende analizar los diámetros de tubería adecuado y la altura adecuada del tubo de alimentación, diseño y especificaciones técnicas del objeto de estudio, se dará en el ámbito natural de las variables observadas.

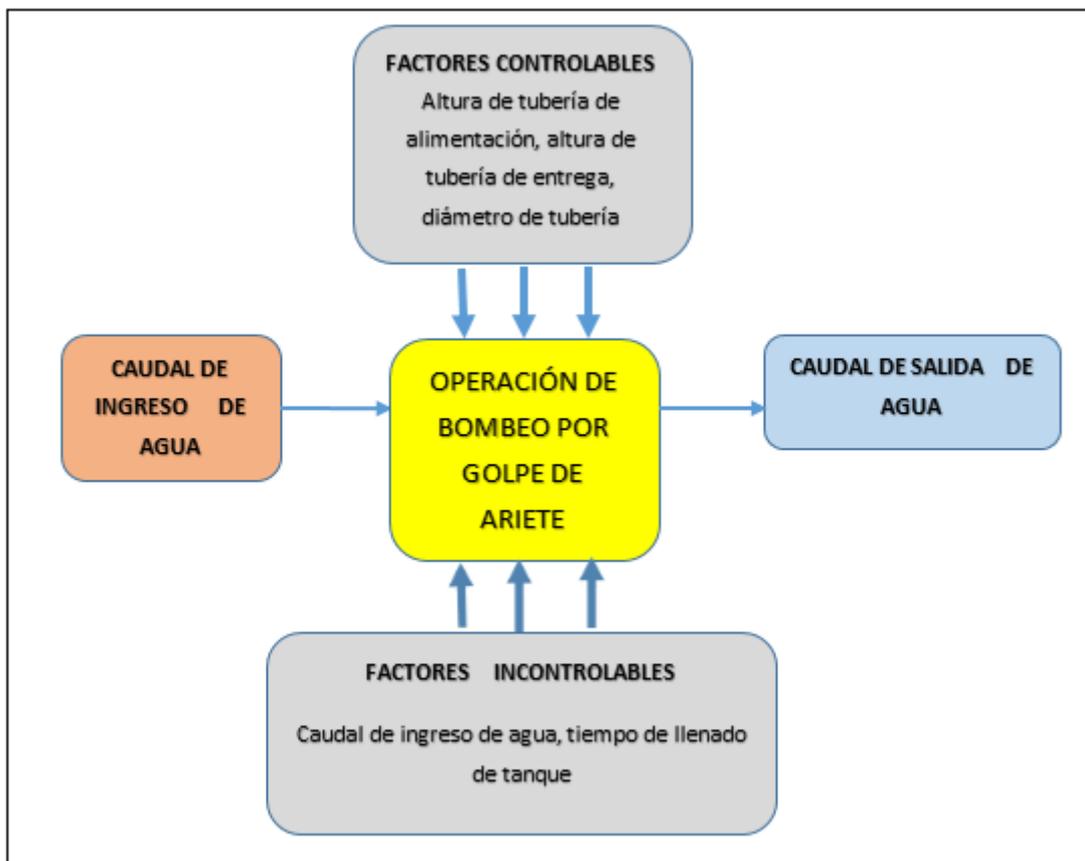
#### **b) Nivel de investigación**

El nivel de la investigación es experimental – analítico, porque se aplicara el diseño de un sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico con el fin de encontrar el caudal de entrega necesario para su aprovechamiento y distribución.

## 1.8.2. DISEÑO Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

### a) Diseño de investigación

El diseño corresponde a una investigación experimental – transversal, dado que se manipula la variable independiente en contexto natural para después analizarlos; es decir, se manipulo la variable en estudio. Así mismo los datos se recolectaron en un solo momento, en un tiempo real al momento de la aplicación del bombeo por golpe de ariete.



*Figura 1. Factores que intervienen para la impulsión por golpe de ariete hidráulico*

*Fuente: Elaboración propia.*

## **Fases de la investigación**

### **a.1) Fase 1. Fase preparatoria.**

En esta fase inicial se planificó el plan de trabajo, en el cual se definieron los objetivos y la hipótesis, como también se analizó las variables de estudio, luego se decide la planificación de las actividades que se ejecutaron en las siguientes fases

### **a.2) Fase 2. Fase trabajo en campo.**

En esta fase se fue accediendo al lugar de estudio progresivamente, en primer momento el acceso al lugar de estudio se pidió un permiso a la población de la comunidad, para poder realizar las observaciones y analizar la geografía del terreno, para más tarde recolectar la información adicional para adquirir los conocimientos relacionados, con el objeto de estudio. Posteriormente se identificó la unidad de análisis, para lograr la recolección de datos se utilizará los siguientes instrumentos:

- Protocolo de aforo de caudal.
- Registro de datos estadísticos.
- Recursos informáticos (Internet).
- Registro fotográfico.
- Trabajo de campo (observación directa).
- Registro en cuaderno de apuntes.

### **a.3) Fase 3. Fase analítica.**

Tras el trabajo de campo se procede a analizar la información recogida, en esta etapa se organizó e interpretó los resultados. Para la interpretación de datos se utilizó programas estadísticos a fin de analizar las variables de estudio que se detalla a continuación.

- Microsoft office Excel (software que se utilizó para el procesamiento de tablas y gráficos).
- Microsoft office Word. (software utilizado para la edición del trabajo de investigación).
- Statgraphics Centurión xvii (software que se utilizó para hacer el análisis estadístico de los resultados mediante regresión lineal y varianza).

### **a.4) Fase 4. Fase informativa.**

El proceso de investigación culminó con la presentación y difusión de los resultados, de esta forma se llegó a comprender el fenómeno objeto de estudio que es la impulsión de agua por golpe de ariete hidráulico.

### **b) Método de investigación**

El método para el presente caso de investigación es la de inductivo, analítico y sintético a causa de que se busca demostrar de manera experimental los parámetros de diseño del sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico de tal modo que se determinara si el caudal y la máxima altura de entrega son

adecuados en la comunidad Anansaya del Distrito de Nicasio a través de ensayos y observación directas de los hechos.

## **1.9. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.9.1. POBLACIÓN**

En la presente investigación se contara con una población de 63 testigos (caudal de aforo) las cuales fueron distribuidas en grupo de 7 testigos (caudales de entrega), con diferentes con diferentes diámetros de tubería de alimentación de 1 plg, 1 ½ plg y 2 plg, diferentes alturas disponibles de captación entre 1 , 1.5 y 2 m respectivamente y diferentes alturas de impulsión que van desde 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 m desde el punto de instalación de la bomba de ariete hacia el tanque de almacenamiento.

### **1.9.2. MUESTRA DE ESTUDIO**

La muestra de estudio es el sistema de bombeo de agua por golpe de ariete hidráulico, as pruebas y análisis del caudal de entrega por su caracterización cuantitativa se realizaron en el mismo lugar de trabajo realizando aforos de caudal de entrega requeridos para el abastecimiento de agua a la comunidad de Anansaya.

### **1.9.3. ANÁLISIS DE DATOS**

Los datos obtenidos no han sido del todo satisfactorio, especialmente la altura de bombeo, en cual se obtiene el caudal necesario para el sistema de abastecimiento de agua.

El punto deseado para la colocación del tanque de almacenamiento se encuentra a una diferencia de cota mínima de 25 m respecto al río, esto representa una altura significativa respecto a los escasos 2 m de altura de captación.

## **1.10. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

### **1.10.1. TÉCNICAS**

#### **a) Medición.**

Se realizarán mediciones directas en campo, para lo cual se elaborarán fichas con la finalidad de contar con la lectura de datos in situ de los valores del caudal de entrega hacia el tanque de almacenamiento, altura de impulsión, diámetro de tubería de alimentación y altura disponible de captación.

#### **b) Observación.**

Se realizarán las observaciones correspondientes en campo, con respecto a la función del sistema implementado y como también a los resultados obtenidos como son caudal de entrega, altura de impulsión, diámetro de tubería de alimentación y altura disponible de captación, parámetros de sistema de bombeo por golpe de ariete.

### **1.10.2. INSTRUMENTOS**

#### **a) Flexómetro de 3 m STANLEY**

Es un instrumento de medición el cual es coincido con el nombre de cinta métrica, con la particularidad de que está construido por una delgada cinta metálica flexible,

dividida en unidades de medición, y que se enrolla dentro de una carcasa metálica o de plástico.

**b) Cronómetro HS – 1000 CASIO**

Un cronómetro es un reloj de precisión que se emplea para medir fracciones de tiempo muy pequeñas.

**c) Huincha de lona de 100 m STONEX**

Es un instrumento de medición de lona, dividida en unidades de medición, y que se enrolla dentro de una carcasa metálica o de plástico, ideal para mediciones entre 50 y 100 m.

**d) GPS Etrex 30 GARMIN**

Instrumento que posee un sistema que permite determinar la posición de un objeto en toda la Tierra.

## **1.11. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.11.1. JUSTIFICACIÓN**

Es política nacional que las poblaciones rurales cuenten con el servicio de agua potable de calidad y saludable, puesto que el acceso a los servicios de agua y saneamiento tiene implicancias positivas en el logro de indicadores favorables de nutrición, salud e incluso educación. La población rural sin servicios de agua y saneamiento tiene un alto

porcentaje que debe ser revertido; y si cuentan con el servicio, estas poblaciones reciben el agua con pésima calidad y pobre sostenibilidad (MVCS, 2004)

El presente proyecto tiene como fin mejorar la calidad de vida de los moradores de la comunidad Anansaya del Distrito de Nicasio, el presente estudio está encaminado en aprovechar el recurso hídrico y las condiciones geográficas del lugar, la misma que ayuda a aprovechar dicha energía para bombear una parte del caudal existente hacia un tanque de almacenamiento para su tratamiento y distribución, Con la instalación del sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico se permitirá distribuir agua en la comunidad de Anansaya, con la ventaja que no tendrán que pagar el costo de energía eléctrica.

Este proyecto presenta una alternativa que reduce la utilización de fuentes de energías convencionales, mediante la información revisada y en proyectos ya realizados, se conoce que el principio del golpe de ariete permitirá transportar y elevar fluidos en condiciones geográficas adversas sin producir impactos negativos al medio ambiente. Además de su aplicación en lugares donde no se dispone de energía eléctrica, como zonas rurales, se hace indispensable disponer de energías alternativas y limpias sin desechos tóxicos y no contaminantes. No requiere electricidad, combustible ni trabajo humano para su funcionamiento. Todo el equipo es de bajo costo y sus piezas son de fácil recambio, materiales de reparación de fácil acceso, requiere un mínimo de manutención, funciona automáticamente ante un suministro de agua y puede usarse todo el año en los cuerpos de agua disponibles.

### **1.11.2. IMPORTANCIA**

La presente investigación es de carácter muy importante y debe ser difundido debido a que en las poblaciones rurales aún se desconoce la contaminación natural de los acuíferos y los proyectos de abastecimiento de agua para el consumo humano en estas zonas son ejecutados casi en su totalidad sin tomar en cuenta este aspecto. No requiere electricidad, combustible ni trabajo humano para su funcionamiento. Todo el equipo es de bajo costo y sus piezas son de fácil recambio, materiales de reparación de fácil acceso, requiere un mantenimiento mínimo, funciona automáticamente ante un suministro de agua y puede usarse todo el año en los cuerpos de agua disponibles.

### **1.11.3. LIMITACIONES**

Una de las grandes limitaciones es que en nuestro país no existe la suficiente información con respecto al tema así como tesis de pregrado y otros estudios o algunos documentos relacionados al tema que puedan servir como instrumento base para la presente investigación, pero se encontraron trabajos relacionados al tema por internet artículos y tesis en otros países de Latinoamérica como son Ecuador, Bolivia, Venezuela donde si les interesa este tipo de sistemas de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete.

Las bombas de ariete poseen rendimientos bajos a comparación con las electrobombas. La altura de impulsión a la que se desea bombear depende de la caída de agua, el bombeo por pulsación bombea poco caudal para poblaciones con gran número de habitantes, pero si es adecuado para poblaciones pequeñas de escasos recursos económicos.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

**Ortiz y Gustv, (2006).** Realizaron la investigación en su tesis “**El golpe de ariete en sistemas de abastecimiento de agua potable**” concluyo que el golpe de ariete puede originarse de dos maneras, por interrupción rápida del flujo en una tubería, debido al arranque o paro de una bomba, o a la apertura o cierre momentáneo de una válvula. Así mismo concluye que las variaciones de presión que genera un golpe de ariete pueden dañar los elementos de un sistema de abastecimiento de agua potable, afectando bombas, estropeando válvulas y otros accesorios y haciendo colapsar tuberías.

**Paredes y Turquina, (2012).** Realizaron la investigación en su tesis “**Diseño e instalación de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en la comunidad de Airón Cebadas**” concluyo al hacer una comparación entre el bombeo mediante ariete hidráulico y bombeo mediante bombas a gasolina, nuestra inversión se recupera a los cuatro años si se hace una comparación al implementarse bombas electromecánicas ya que solo en la adquisición tienen el precio elevado y requiere de energía eléctrica para su funcionamiento, el uso de bombas de arietes hidráulicos es rentable en comparación con otros sistemas de bombeo bajo determinadas condiciones de diseño.

**Freitas y Sánchez, (2002).** Realizaron la investigación en su tesis **“Diseño y construcción de un sistema de suministro de agua para una comunidad agrícola”** concluye que a medida que se exige mayor altura en la descarga de la bomba (mayor presión de descarga), se bombea menos agua, ya que por menos tiempo se abre la válvula de retención, concluyo también que no era factible la instalación de una bomba de ariete directamente desde el río “Las Comadres” hasta la población de Guareguere debido a la diferencia de cotas.

**Rivadeneira y Silva, (2013).** Realizó la investigación en su tesis **“Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico con el desarrollo de un software para su dimensionamiento”** En el análisis costo beneficio bomba de ariete hidráulico vs bomba centrifuga concluye que dependiendo de la calidad de construcción de la bomba de ariete, esta puede tener una vida útil de aproximadamente 20 años o más. En este análisis se considerará una vida útil de un año para compararla con su similar una bomba centrifuga, como datos técnicos y costo de la bomba de ariete construida se tiene un máximo caudal de elevación 7.2 l/min, máxima altura de elevación de 12 m, potencia de 0.010 Hp y costo total de la bomba \$. 384.00 (dólares), haciendo una comparación con los datos técnicos y costo de la bomba centrifuga Pedrollo que se tiene como máximo caudal de elevación de 10 l/min, máxima altura de elevación de 20 m, potencia de 0.5 Hp y costo total de la bomba \$.195.00 (dólares). Esto justifica el costo de inversión para el presente proyecto considerando que la bomba de ariete tiene la capacidad de trabajar 24 horas seguidas todo el año sin interrupción, ninguna bomba centrifuga está diseñada para resistir estas condiciones de trabajo. Por lo que la bomba de ariete ofrece mayores prestaciones y ventajas para esta aplicación que la bomba centrifuga, justificando la inversión en una bomba de ariete en menos de un año de operación.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. EL ABASTECIMIENTO DE AGUA Y SALUD HUMANA**

La molécula de agua es una combinación de un átomo de oxígeno y dos de hidrogeno. Esta molécula aparentemente muy simple es la base misma de toda la vida sobre la tierra. Además el agua limpia es un derecho humano básico pues implica disponibilidad de llevar una vida digna y saludable, participando plenamente dentro de la sociedad por todo ello, es también nuestro deber el cuidarla y mantenerla pura. El agua potable es un factor importante en el control de muchas enfermedades. Esto en particular ha quedado bien establecido si se trata de enfermedades como diarrea, cólera, fiebre tifoidea y paratifoidea, hepatitis infecciosa, disentería amebiana y bacilar. Se ha estimado que no menos del 80% de todas las enfermedades en el mundo se asocia con el agua o potable o de mala calidad. (Quispe, 2005).

### **2.2.2. EL ABASTECIMIENTO DE AGUA A PEQUEÑAS COMUNIDADES DE PAÍSES EN DESARROLLO.**

En la mayoría de los pueblos pequeños y de las comunidades rurales en los países en desarrollo, las condiciones de abastecimiento de agua existentes son muy diferentes a las condiciones de las instalaciones urbanas. Por lo general el número de gente a ser servida por ese sistema de abastecimiento de agua es pequeño, y la baja densidad de población hace que la distribución del agua por tuberías sea costosa. (Quispe, 2005).

Un factor importante es el requerimiento de los usos de una tecnología que sea apropiada para las condiciones locales. Esta tecnología deferirá de la tecnología convencional, la cual fue desarrollada principalmente, para aplicarse a los sistemas más grandes de abastecimiento de agua de ciudades y pueblos de países desarrollados. (Quispe, 2005).

### **2.2.3. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE**

Un sistema de abastecimiento de agua potable es un conjunto de componentes contruidos para captar, conducir, tratar, almacenar y distribuir agua apta para consumo humano a los usuarios a quienes está destinado. (Fair & Charles, 2002).

Está compuesto por:

- a) Fuente de abastecimiento
- b) Obra de captación
- c) Línea de conducción
- d) Tanque de distribución
- e) Distribución del agua
- f) Colector de aguas residuales

La configuración de un sistema de abastecimiento de agua potable puede observarse en la figura 2.

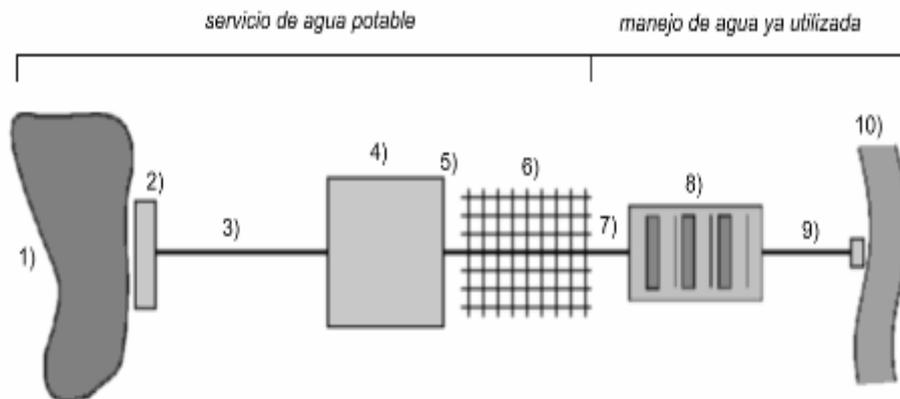


Figura 2. Esquema general de un sistema de abastecimiento de agua potable

Fuente: (Fair & Charles, 2002).

Donde:

- 1) Fuente de abastecimiento
- 2) Obra de captación
- 3) línea de conducción
- 4) Tanque de distribución
- 5) Línea de alimentación
- 6) Red de distribución
- 7) Conductor de aguas residuales
- 8) Planta de tratamiento de aguas residuales
- 9) Descarga de agua tratada
- 10) Cuerpo receptor

## **2.2.4. COMPONENTES DEL SISTEMA**

### **a) Fuente de abastecimiento**

Una fuente es el lugar del cual proviene el agua que deseamos llevar hacia alguna población determinada, en dicho lugar debe de observarse la calidad del agua y la cantidad disponible. Un sistema de abastecimiento de agua potable puede contar con una o más fuentes de abastecimiento, esto depende de la demanda de agua potable que se requiera. Existen dos tipos de fuentes de abastecimiento: superficiales (ríos, arroyos, lagos, lagunas y embalses o presas) y subterráneas (pozos y yacimientos). (Fair & Charles, 2002).

### **b) Obra de captación**

Una obra de captación es la estructura o grupo de estructuras que nos permiten tomar de manera eficiente el agua de la fuente elegida. En dicha obra deben de considerarse ciertos aspectos, independientemente del tipo de fuente, con la finalidad de garantizar un correcto desempeño de la misma, son los siguientes:

- Evitar el acceso de agua, tierra, hojas, etc. en su superficie para prevenir la contaminación del agua captada de la fuente.
- Debe contar con ventilación y algún dispositivo de rebalse.
- El acceso a la obra debe estar restringido para garantizar la seguridad, estabilidad y funcionamiento de la misma.

### **c) Línea de conducción**

La línea de conducción tiene la función de conducir o llevar el agua captada de la fuente hasta el lugar de su almacenamiento, tratamiento o distribución. La conducción puede realizarse de dos maneras, por gravedad o por bombeo, esto depende de las condiciones topográficas del terreno por donde pasará la línea. La conducción por gravedad puede realizarse a través de canales o tuberías, dependiendo de la capacidad de la fuente para brindar el caudal requerido, de los recursos disponibles, de la mano de obra y otros factores más (Fair & Charles, 2002).

### **d) Tanque de distribución.**

El tanque de distribución o tanque de regularización es una estructura cuya función principal es el almacenamiento del agua a distribuir, nivelar las variaciones de consumo y mantener presiones adecuadas de servicio. Es importante tomar en cuenta que el tanque debe estar a un nivel más elevado que la red de distribución, tal que permita llevar el agua a su destino por medio de gravedad, es decir, evitar el uso de equipo de bombeo para distribuir el agua. Dependiendo de su posición con respecto al suelo, los tanques de distribución pueden ser elevados, superficiales o enterrados (parcial o totalmente). (Fair & Charles, 2002).

### **e) Distribución del agua**

La distribución comprende las obras necesarias para hacer llegar el agua almacenada hacia la población. Abarca dos partes: la línea de alimentación y la red de distribución. La línea de alimentación es la tubería instalada desde el tanque de distribución hasta la primera derivación de caudal. La red de distribución es el conjunto

de tuberías instaladas subterráneamente desde las cuales se derivan la toma domiciliarias que llevan el agua hacia cada uno de los usuarios del sistema. (Fair & Charles, 2002).

#### **f) Colector de aguas residuales**

El colector de aguas residuales no forma parte del sistema de abastecimiento de agua potable directamente, pero es importante recolectar el agua ya utilizada (aguas servidas) hacia el lugar en donde será tratada para poder reutilizarla. Esta obra está formada por una red de drenaje y una línea de conducción de aguas residuales hacia la planta de tratamiento. (Fair & Charles, 2002).

### **2.2.5. POBLACIÓN DE DISEÑO Y DEMANDA DE AGUA**

Las obras de agua potable no se diseñan para satisfacer solo una necesidad del momento actual sino que deben prever el crecimiento de la población en un periodo de tiempo prudencial que varía entre 10 y 40 años; siendo necesario estimar cual será la población futura al final de este periodo. Con la población futura se determina la demanda de agua para el final del periodo de diseño. (Aguero, 1997)

La dotación o la demanda per cápita, es la cantidad de agua que requiere cada persona de la población, expresada en litros/habitante/día. Conocida la dotación, es necesario estimar el consumo promedio diario anual, el consumo máximo diario y el consumo máximo horario. El consumo promedio diario anual servirá para el cálculo del volumen del reservorio de almacenamiento y para estimar el consumo máximo diario y horario. El valor del consumo máximo diario es utilizado para el cálculo hidráulico de la

línea de conducción; mientras que el consumo máximo horario, es utilizado para el cálculo hidráulico de la línea de aducción y red de distribución. (Aguero, 1997)

#### **2.2.6. DEMANDA DE AGUA**

Los principales factores que afectan el consumo de agua son: el tipo de comunidad, factores económicos y sociales, factores climáticos y tamaño de la comunidad. Independientemente que la población sea rural o urbana, se debe considerar el consumo doméstico, el industrial, el comercial, el público y el consumo por pérdidas.

Las características económicas y sociales de una población pueden evidenciarse a través del tipo de vivienda, siendo importante la variación de consumo por el tipo y tamaño de la construcción. El consumo de agua varía también en función al clima, de acuerdo a la temperatura y a la distribución de las lluvias; mientras que el consumo per cápita, varía en relación al tamaño de la comunidad (Aguero, 1997).

Para el cálculo de la demanda de agua se requiere analizar cuatro variables, que son:

- Periodo de diseño.
- Población actual y futura.
- Dotación de agua.
- Cálculo de caudales.

##### **a) Periodo de diseño**

En la determinación del tiempo para el cual se considera funcional el sistema, intervienen una serie de variables que deben ser evaluadas para lograr un proyecto económicamente viable. Por lo tanto el periodo de diseño puede definirse como el tiempo

en el cual el sistema será 100% eficiente, ya sea por capacidad en la conducción del gasto deseado o por la existencia física de las instalaciones. (Aguero, 1997).

Para determinar el periodo de diseño se consideran factores como: durabilidad o vida útil de las instalaciones, factibilidad de construcción y posibilidades de ampliación o sustitución, tendencias de crecimiento de la población y posibilidades de financiamiento.

Tomando en consideración los factores señalados se debe establecer para cada caso el periodo de diseño aconsejable. A continuación, se indican algunos rangos de valores asignados para los diversos componentes de los sistemas de abastecimiento de agua potable para poblaciones rurales: (Aguero, 1997)

- Obras de captación: 20 años.
- Conducción: 10 a 20 años.
- Reservorio: 20 años.
- Redes: 10 a 20 años (tubería principal 20 años, secundaria 10 años).

Según DIGESA, el periodo de diseño que debe considerarse de acuerdo al tipo de sistema a implementarse es:

Tabla 2.  
*Periodo de diseño.*

Sistema	Periodo (años)
Gravedad	20
Bombeo	10
Tratamiento	10

Fuente: DIGESA

Debe entenderse sin embargo, que en todos los casos la red de tuberías debe diseñarse para 20 años.

## **b) Población actual y futura**

### **b.1) Métodos de estimación**

Los métodos más utilizados en la estimación de la población futura son:

### **b.2) Métodos comparativos**

Consiste en calcular la población de una ciudad con respecto a otras que tengan características similares y crecimiento superiores. Es un procedimiento gráfico. (Vierendel, 2009)

### **b.3) Métodos analíticos**

Presuponen que el cálculo de la población para una región dada es ajustable a una curva matemática. Es evidente que este ajuste dependerá de las características de los valores de población censada, así como de los intervalos de tiempo en que estos se han medido.

Dentro de los métodos analíticos tenemos el aritmético, geométrico, de la curva normal, logística, de la ecuación de segundo grado, el exponencial, de los incrementos y de los mínimos cuadrados. (Vierendel, 2009)

### **b.4) Método aritmético**

Este método se emplea cuando la población se encuentra en franco crecimiento

$$P = Pa + r(t - ta) \dots \dots \dots \text{Ec. 1}$$

Donde:

P = Población futura.

Pa = Población actual.

r = Razón de crecimiento

t = Tiempo futuro

ta = Tiempo inicial

### **b.5) Método racional**

En este caso para determinar la población, se realiza un estudio socioeconómico del lugar considerando el crecimiento vegetativo que es función de los nacimientos, defunciones, inmigraciones, emigraciones y población flotante. El método más utilizado para el cálculo de la población futura en las zonas rurales es el analítico y con más frecuencia el de crecimiento aritmético. Este método se utiliza para el cálculo de poblaciones bajo la consideración de que estas van cambiando en la forma de una progresión aritmética y que se encuentran cerca del límite de saturación. (Aguero, 1997)

La fórmula de crecimiento aritmético es:

$$Pf = Pa * (1 + \frac{r * t}{1000}) \dots \dots \dots \text{Ec. 2}$$

Donde:

Pf = Población futura.

Pa = Población actual.

r = Coeficiente de crecimiento anual por 1000 habitantes.

t = Tiempo en años.

### b.6) POBLACION EN EL DISTRITO DE NICASIO DEL 2000 AL 2015

Últimas proyecciones y estimaciones anuales de poblaciones elaboradas por el Instituto Nacional de Estadística e Informática para los 24 departamentos, 195 provincias y 1 838 distritos de nuestro país. (INEI, 2015).

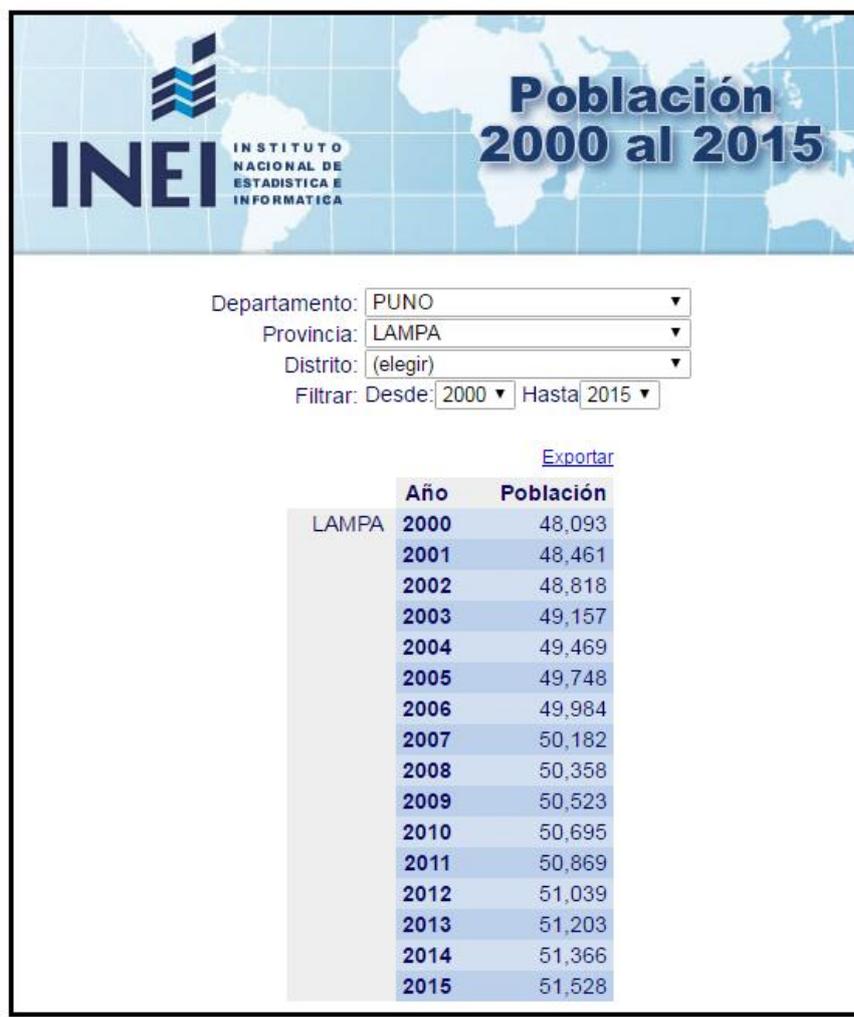


*Figura 3. Población del distrito de Nicasio*

*Fuente: (INEI, 2015)*

### b.7) POBLACION DE LA PROVINCIA DE LAMPA DEL 2000 AL 2015

Últimas proyecciones y estimaciones anuales de poblaciones elaboradas por el Instituto Nacional de Estadística e Informática para los 24 departamentos, 195 provincias y 1 838 distritos de nuestro país. (INEI, 2015).



*Figura 4. Población de la Provincia de Lampa*

*Fuente: (INEI, 2015)*

### c) Dotación de agua

La dotación de agua se expresa en litros por personas al día (lppd) y DIGESA, recomienda para el medio rural los siguientes parámetros (DIGESA, 2009)

Tabla 3.  
*Dotación de agua según DIGESA*

<u>Zona</u>	<u>Módulo (lppd)</u>
Sierra	50
Costa	60
Selva	70

Fuente: DIGESA

La Organización Mundial de la Salud recomienda para proyectos de abastecimiento de aguas para poblaciones rurales los siguientes parámetros: (OMS, 2008)

Tabla 4.  
*Dotación de agua según OMS*

Población	Clima	
	Frio	Cálido
Rural	100	100
2,000 – 10,000	120	150
10,000 – 50,000	150	200
50,000	200	250

Fuente: OMS

En el Fondo Perú Alemania, presento un manual, donde facilita a los proyectistas y a los evaluadores de proyectos de agua potable y saneamiento, en poblaciones rurales (normalmente en poblaciones menores a 5,000 habitantes) en la elaboración de expedientes técnicos y en la evaluación de los mismos. se ha considerado las dotaciones siguientes: (Fondo-Peru-Alemania, 2009)

Tabla 5.  
*Dotación de agua según Fondo Perú-Alemania*

Tipo de proyecto	Dotación (lppd)
Agua potable domiciliaria con alcantarillado	100
Agua potable domiciliaria con letrinas	50
Agua potable con piletas	30

lppd = litros por persona al día

Fuente: Fondo Perú Alemania

#### **d) Caudales de diseño**

##### **d.1) Variaciones periódicas**

Para suministrar eficientemente agua a la comunidad, es necesario que cada una de las partes que constituyen el sistema satisfaga las necesidades reales de la población;

diseñando cada estructura de tal forma que las cifras de consumo y variaciones de las mismas, no desarticulen todo el sistema, sino que permitan un servicio de agua eficiente y continuo. La variación del consumo está influenciada por diversos factores tales como: tipo de actividad, hábitos de la población, condiciones de clima, etc. (Aguero, 1997).

#### **d.2) Consumo promedio diario anual (Qm)**

El consumo promedio diario anual, se define como el resultado de una estimación del consumo per cápita para la población futura del periodo de diseño, expresada en litros por segundo (l/s) y se determina mediante la siguiente relación: (Aguero, 1997)

$$Q_m = \frac{P_f * d}{86,400} \dots \dots \dots \text{Ec. 3}$$

Donde:

- Qm = Consumo promedio diario (l/s)
- Pf = Población futura (hab)
- d = Dotación (l/hab/día)

#### **d.3) Consumo máximo diario (Qmd) y horario (Qmh)**

El consumo máximo diario se define como el día de máximo consumo de una serie de registros observados durante los 365 días del año; mientras que el consumo máximo horario, se define como la hora de máximo consumo del día de máximo consumo (Figura 5). Para el consumo máximo diario (Qmd) se considerara entre el 120% y 150% del consumo promedio diario anual (Qm), recomendándose el valor promedio de 130%. En el caso del consumo máximo horario (Qmh) se considerara como el 100% del promedio diario (Qm). Para poblaciones concentradas o cercanas a poblaciones urbanas se

recomienda tomar valores no superiores al 150%. Los coeficientes recomendados y más utilizados son del 130% para el consumo máximo diario ( $Q_{md}$ ) y del 150%, para el consumo máximo horario ( $Q_{mh}$ ). (Aguero, 1997).

- Consumo máximo diario ( $Q_{md}$ ) = 1.3  $Q_m$  (l/s).
- Consumo máximo horario ( $Q_{mh}$ ) = 1.5  $Q_m$  (l/s).

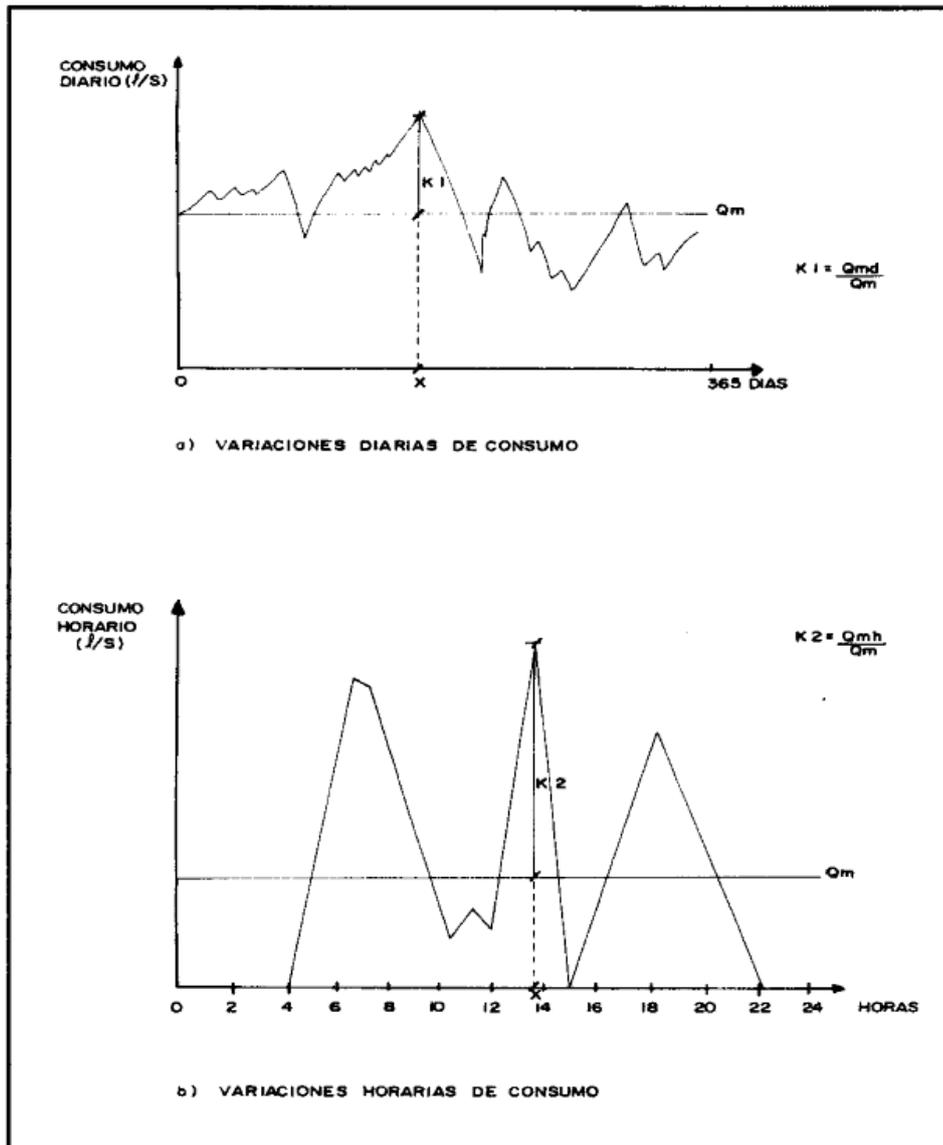


Figura 5. Variaciones de consumo

Fuente: (Aguero, 1997).

#### **d.4) Variación de consumo según fondo - Perú- Alemania**

El caudal  $Q_{max d}$ , servirá para el diseño de la captación y línea de conducción y reservorio. En  $Q_{max h}$ , para el diseño del aductor y sistema de distribución. En caso se pueda y decida captar el caudal máximo horario, se puede prescindir del reservorio en el sistema. Los parámetros para un proyecto de agua potable son los siguientes: (Fondo-Peru-Alemania, 2009).

- Caudal medio diario ( $Q_m$ ).
- Caudal máximo diario ( $Q_{max.d}$ )
- Caudal máximo horario ( $Q_{max.h}$ )

Para el cálculo, se considera las relaciones siguientes:

$Q_m = \frac{\text{módulo de consumo x poblaciones futura}}{86,400 \text{ seg (24 hrs)}}$
$Q_{max d} = 1.3 Q_m$
$Q_{max h} = 2.0 Q_m$

#### **d.5) Variaciones de consumo según R.N.E.**

En los abastecimientos por conexiones domiciliarias, los coeficientes de las variaciones de consumo, referidos al promedio diario anual de la demanda, deberán ser fijados en base al análisis de información estadística comprobada. De lo contrario se podrán considerar los siguientes coeficientes: (R.N.E, 2016)

- Máximo anual de la demanda diaria: 1,3
- Máximo anual de la demanda horaria: 1,8 a 2,5

### **2.2.7. FUENTES DE ABASTECIMIENTO**

Las fuentes de abastecimiento deberán proporcionar en conjunto el gasto máximo diario; Sin embargo, en todo proyecto se deberán establecer las necesidades inmediatas de la localidad siendo necesario que, cuando menos que la fuente proporcione el gasto máximo diario para esa etapa, sin peligro de reducción por sequía o cualquier otra causa.

En los sistemas de agua potable por gravedad, la fuente de agua debe estar ubicada en la parte alta de la población para que el agua fluya a través de tuberías, usando solo la fuerza de la gravedad. En los sistemas de agua potable por bombeo, la fuente de agua se encuentra localizada en elevaciones inferiores a las poblaciones de consumo, siendo necesario transportar el agua mediante sistemas de bombeo a reservorios de almacenamiento ubicados en elevaciones superiores al centro poblado.

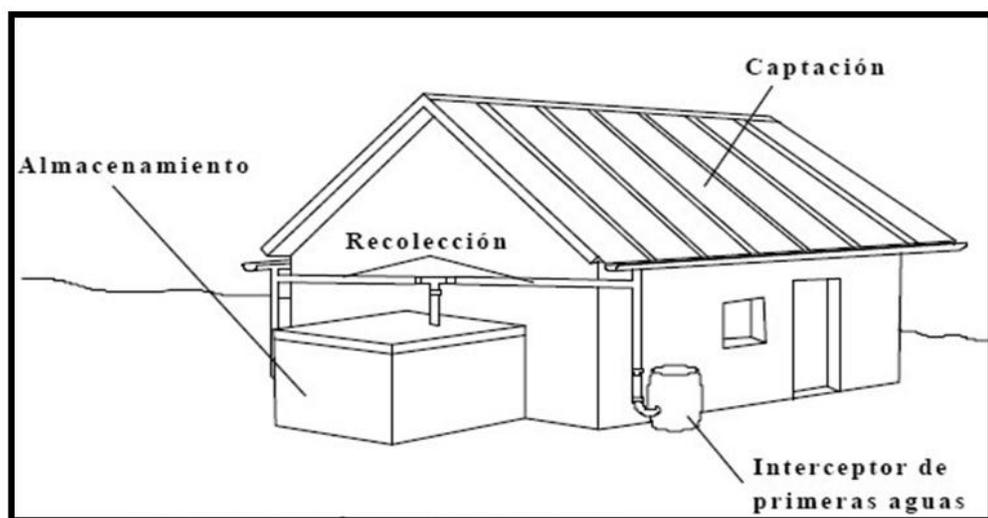
Para el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable, es importante seleccionar una fuente adecuada o una combinación de fuentes para abastecer de agua en cantidad suficiente a la población. De acuerdo a la forma de abastecimiento se consideran tres tipos principales de fuente: aguas de lluvia, aguas superficiales y aguas subterráneas. (Rodríguez, 2001)

Las aguas según su procedencia se clasifican de la siguiente manera:

#### **a) AGUA METEORICAS**

Se les considera aguas meteóricas a las que provienen por precipitación ya sea de lluvias, nieve y granizo. La captación de agua de lluvia se emplea en aquellos casos en los que no es posible obtener aguas superficiales y subterráneas de buena calidad su

empleo es muy restringido porque las lluvias no son constantes; se usa cuando no es posible contar con una mejor fuente de abastecimiento. Un caso típico de este sistema de captación es en la ciudad de Iquitos, en la que los techos de las casas son verdaderos reservorios que reciben el agua mediante una tubería es conducida a un depósito de almacenamiento de apreciable capacidad. En Iquitos la precipitación anual de lluvia alcanza a ser de 1,600 a 1,700 mm. En la figura 6 se muestra la captación del agua de lluvia mediante el techo de una vivienda. (Regal, 2008)



*Figura 6. Captación de agua de lluvia*

*Fuente: (Regal, 2008)*

## **b) AGUAS SUPERFICIALES**

Las aguas superficiales están constituidas por los arroyos, ríos, lagos, etc. que discurren naturalmente en la superficie terrestre. En la captación de agua de ríos las principales etapas que comprenden el estudio de la adaptación de esta clase de fuentes son:

- Investigación de la composición química de las aguas.
- Volumen disponible o caudal del curso de agua.
- Selección del punto o lugar de captación o de toma.

- Construcción de la toma o de las obras de cabecera.

La composición química del agua de un río está necesariamente en relación directa con la naturaleza de los terrenos de atraviesa. Así, se comprende que el agua de un río que corre en un cauce formado de rocas tales como granitos, sienitas u otras similares, será muy puro químicamente, por ser dichas rocas insolubles en el agua. (Regal, 2008)

En cambio, los ríos que se abren paso a través de formaciones calizas, se irán cargando poco a poco de carbonato cálcico, y cargándose de una fuerte cantidad de esta sustancia. Y por último si el río al acercarse al mar corre sobre terrenos impregnados de sal, su agua disolverá también una gran cantidad de sal y se hará salobre, perdiendo su potabilidad.

La composición del agua de los ríos no es tan constante como la del agua de los manantiales, pues está sujeta a variar por distintas causas. Entre ellas debemos anotar las crecientes, en las que aumentando considerablemente la cantidad de agua esta baña otros terrenos y se carga de los principios solubles contenidos en ellos. También sucede a veces, que copiosas lluvias parciales caen sobre un espacio reducido de territorio bañado por un tributario del río principal y cuya constitución geológica puede ser muy distinta. En este caso, el río tributario hallándose muy crecido, lleva al principio una cantidad de ciertas materias minerales mucho mayor que aquella con la cual contribuye ordinariamente. (Regal, 2008).

El mayor o menor declive que tenga cauce de un río puede ser otra causa para variar de un trecho a otro, la composición de su agua. Así, por ejemplo, un río que corre

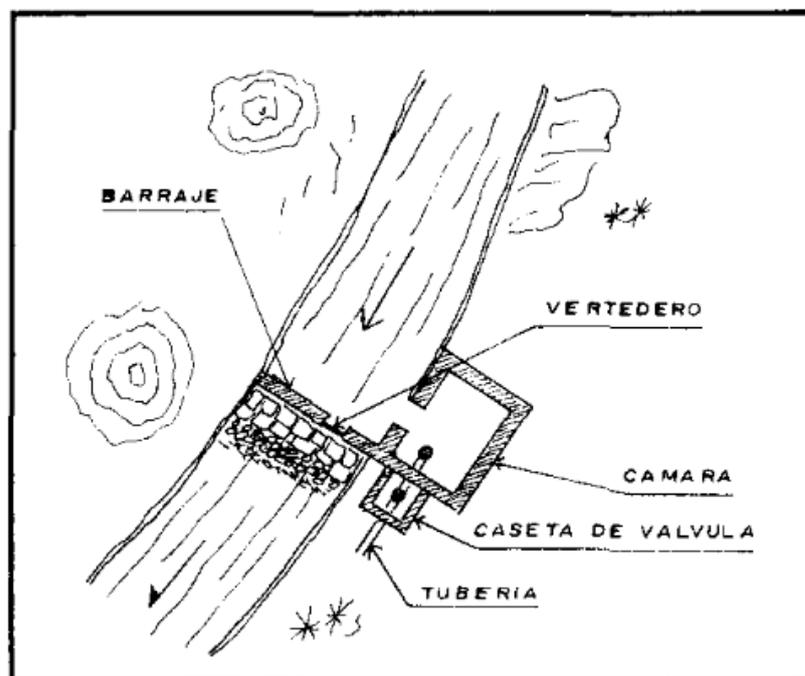
tranquilamente en un terreno casi lleno, y cuya agua tenga en disolución una fuerte cantidad de cal y magnesia al estado de bicarbonato, al llegar a un punto donde el declive entre las piedras y por su choque contra éstas y contra las desigualdades del lecho del río, una gran parte del ácido carbónico se desprende; entonces los carbonatos de cal y magnesia, no pudiendo quedar en disolución se precipitan, variando de este modo no solo la composición del agua, sino disminuyendo así mismo la cantidad de las materias minerales que contengan más arriba. (Regal, 2008)

Sucede también, que a veces se verifican verdaderas reacciones químicas entre los elementos que contienen el agua y la roca de que se halla formado el cauce del río. Así por ejemplo, el agua de algunos ríos nacen en terrenos de naturaleza volcánica, contienen muchas veces una cierta cantidad de sulfato de alúmina o de peróxido de hierro, y en algunos casos ácido sulfúrico o clorhídrico libre, que no solo hacen a estas aguas malsanas, sino peligrosas. Pero hasta que un agua de esta naturaleza corra por cierto trecho sobre una formación caliza, para que se verifique una reacción entre los sulfatos de fierro y de alúmina contenidos en el agua y el carbonato cálcico del lecho del río. Lo anterior en cuanto a la composición química de las aguas superficiales, vemos ahora lo referente a materia orgánica. (Regal, 2008).

Las aguas superficiales deben contener oxígeno disuelto, porque una deficiencia en este elemento significa que la materia orgánica lo ha consumidos en partes; si el oxígeno no se presenta en estas aguas se puede decir que ellas están, con muchas probabilidades contaminadas. Algunas veces se presenta en las aguas superficiales una sobresaturación de oxígeno, ocasionada por la presencia de ciertas algas que le dan olor y gusto característico. El crecimiento de vegetación en la superficie de las aguas puede

dar también como resultado el incremento de la materia orgánica, afectando en consecuencia su gusto, olor y color. (Regal, 2008).

Se comprende que las condiciones del agua, que acabamos de exponer, pueden cambiar notablemente corriendo ellas por el cauce y teniendo así oportunidad de airearse. Al ocuparnos de la purificación del agua insistiremos sobre la aireación y su influencia en la constitución orgánica de las aguas. Todo lo anterior nos conduce, pues a la conclusión de que es necesario tomar muestras a lo largo del río, que se trata de utilizar como fuente de aprovechamiento, y que además este muestreo debe ejecutarse en diferentes épocas del año, en relación con los cambios de volumen del curso del agua. (Ver Figura 7). (Regal, 2008)



*Figura 7. Captación de agua superficial*

*Fuente:* (Aguero, 1997).

### c) AGUAS SUBTERRANEAS

El agua del subsuelo es uno de los recursos naturales más valiosos de la tierra, el agua que se almacena en los poros, hendidura y abertura del material rocoso del subsuelo se le conoce como agua subterránea. La palabra acuífero se utiliza para describir una formación subterránea que es capaz de almacenar y transmitir agua. La calidad y la cantidad del agua varían de un acuífero a otro y en ocasiones cambia dentro del mismo sistema. Algunos acuíferos producen millones de litros de agua al día y mantienen su nivel, mientras que otros solo producen pequeñas cantidades. En ciertas áreas es posible que los pozos se hagan perforando a cientos de metros para llegar al agua utilizable, mientras que en otros, estos se encuentran a solo unos cuantos metros. Un sitio puede concentrar varios acuíferos ubicados a distintas profundidades, mientras que otro puede contener poco o nada de agua. La edad del agua subterránea varía de un acuífero a otro, por ejemplo un acuífero superficial no confinado podría contener agua de hace solo unos cuantos días, semanas o meses; en tanto que un acuífero profundo, cubierto por una o más capas impermeables, podría contener agua con cientos e incluso miles de años de antigüedad. La velocidad de desplazamiento subterránea varía de acuerdo al material rocoso de la formación a través de la que se mueve. Cuando el agua se infiltra hacia el manto freático, se transforma en agua subterránea y comienza a moverse lentamente en gradiente hacia abajo. El movimiento del agua corresponde a las diferencias en los niveles de energía. Las energías que hacen que el agua subterránea fluya se expresan como Energía Gravitacional y Presión energética. En la Figura 8 se observa una de las muchas formas de aprovechamiento del agua subterránea con fines de consumo humano. (Rodríguez, 2001).

- Movimiento del agua a través de la grava.

- Movimiento del agua a través de la arena.
- Movimiento del agua a través de la arcilla.

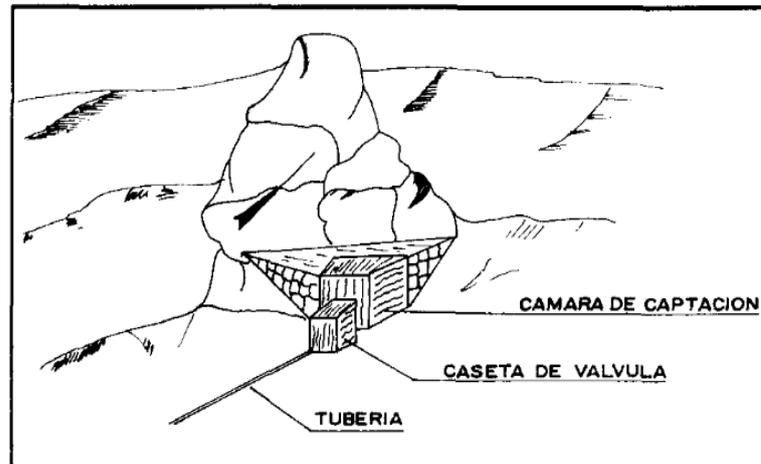


Figura 8. Captación de agua subterránea (manantial)

Fuente: (Aguero, 1997).

#### d) Principales diferencias entre aguas superficiales y aguas subterráneas

Tabla 6.

Diferencia entre agua superficial y subterránea

CARACTERÍSTICAS	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS SUBTERRÁNEAS
TEMPERATURA	Variable según las estaciones	Relativamente constante
Turbiedad, material en suspensión	Variables a veces elevadas	Bajas o nulas
Mineralización	Variable en función de los terrenos Precipitación, vertido, etc.	Sensiblemente constante, Mayor que en las aguas Superficiales
Hierro y Manganeso	Generalmente ausente	Generalmente presentes
Gas carbónico agresivo Amoniaco	Generalmente ausente Presente solo en aguas contaminadas	Normalmente ausente Presente frecuente sin ser índice de contaminación
Sulfuro de Hidrógeno	Ausente	Normalmente presente
Sílice	Contenido moderado	Contenido normalmente elevado
Nitratos	Muy bajo en general	Contenido a veces elevado
Elementos vivos	Bacterias, virus, plancton	Ferró bacterias.
Oxígeno disuelto	Normalmente próximo a la saturación	Normalmente ausente o muy bajo.

Fuente: (Rodríguez, 2001).

e) **Ventajas y desventajas de las fuentes de abastecimiento de agua potable superficiales y subterráneas.**

Tabla 7.

*Ventajas y desventajas de las fuentes de abastecimiento de agua*

SUPERFICIALES		SUBTERRÁNEAS	
VENTAJAS	DESVENTAJAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Disponibilidad	Fácilmente Contaminada	Protección	Alto Sulfuro de Hidrógeno
Visibles	Calidad variable	Bajo color	Alta dureza
Limpiables	Alto color	Baja turbiedad	Relativa
Bajo fierro y Manganeseo	Alta turbiedad	Calidad constante	No limpiables
Bajo Sulfuro de Hidrógeno	Olor y color	Baja corrosividad	
Baja dureza	Alta materia orgánica	Bajo contenido de Materia orgánica	

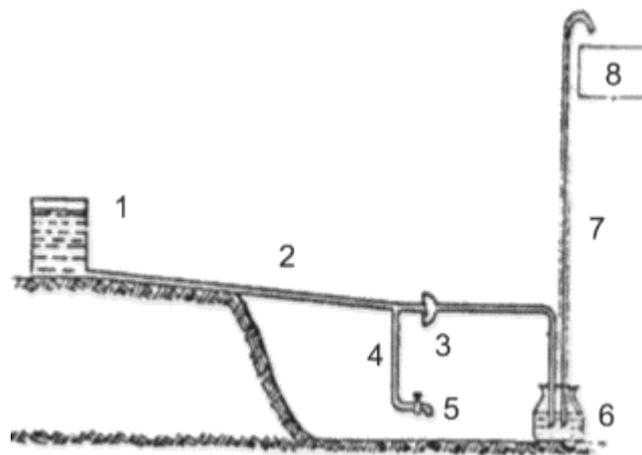
Fuente: (Rodríguez, 2001)

## 2.3. LA BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO

### 2.3.1. RESEÑA HISTÓRICA

Las bombas se utilizaron en el antiguo Egipto, China, India y Roma, ya que estas son unas de las máquinas más antiguas. En la actualidad estas ocupan el segundo lugar luego de los motores eléctricos. La bomba de Ariete Hidráulico nace en la era de los grandes inventos, y tiene tanto alcance como las máquinas de vapor y el motor de combustión interna. Uno de los equipos más antiguos conocidos, fue utilizado por los griegos en el año 300 AC.

El uso de este dispositivo se suspendió y revivió en el siglo 16, cuando una traducción al alemán de la palabra griega que describe la bomba fue publicada. Se a disertado mucho sobre el verdadero creador empírico de esta bomba, pero una de las crónicas aceptadas es en la cual se atribuye la invención al inglés John Whitehurst en el año de 1775, “fermentó su ingenio para construir un aparato con un principio de funcionamiento novedoso, accionaba manualmente un grifo en la tubería conectada a un tanque de abasto, en un nivel superior, para provocar el fenómeno físico conocido como golpe de Ariete, que permitía elevar el líquido a un tanque de almacenamiento colocado a una altura mayor, (Figura 9), aunque su aplicación no fue tan apetecida por el gran ruido y vibración propios de dicho equipo, además era manual. Este ariete fue capaz de levantar el agua hasta una altura de 4.9 m. El invento fue reconocido en 1776, y posteriormente después de la muerte del inglés fue precedida por los investigadores que se ocuparon de añadir bondades al equipo y descubrir los secretos de una aparente magia.



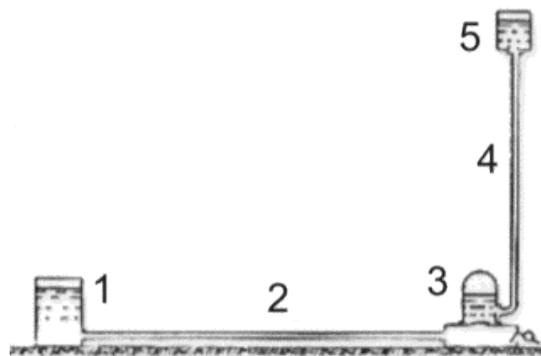
*Figura 9. Esquema de funcionamiento del ariete ideada por John Whitehorse*

*Fuente:* <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia25/HTML/articulo05.htm>

Donde:

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

La sagacidad humana añadió elementos al invento cervecero, y seis años antes de los dos famosos hermanos franceses: Joseph Montgolfier junto a su hermano Étienne, inventaran el globo aerostático, concibieron un ariete autoactivante, en principio, similar a los contemporáneos, aunque entonces lo denominó “le belierhydraulique” (traducido al español, el golpe hidráulico) (Figura 10). La mejora con la anterior radica en que ya no se utilizaba fuerza extrema para abrir la válvula de impulso, sino la fuerza inherente del agua en movimiento se encargaba de realizar ésta tarea.



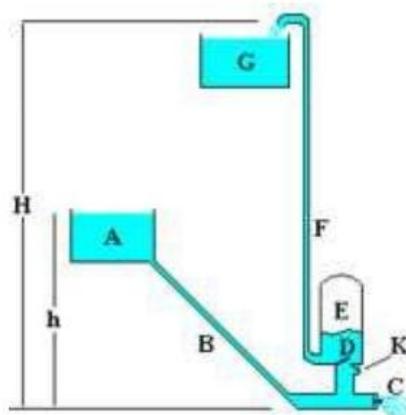
*Figura 10. Ariete hidráulico ideado por Joseph Michael Montgolfier*

*Fuente:* <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia25/HTML/articulo05.htm>

El ariete hidráulico fue patentado en 1796, por Joseph Montgolfier, que como en la actualidad consistía en una máquina que aprovecha únicamente la energía de un pequeño salto de agua para elevar parte de su caudal a una altura superior. Su trabajo fue mejorado por Pierre François Montgolfier, su hijo (1816), quien diseñó una válvula para introducir el aire en la cámara del hidráulico esto mejoró su rendimiento, se informó que bombeo a una altura de 48m. A partir de su investigación, el ariete hidráulico tuvo una amplia difusión por todo el mundo, como por ejemplo, en las fuentes del Taj Majal en la india. El interés en las bombas de ariete, disminuyó en los años 50 y 60 a consecuencia del boom del petróleo, además de su uso fue merced al avance arrollador de la bomba centrífuga.

### 2.3.2. CONFIGURACIÓN GENERAL DE LA BOMBA DE ARIETE

La configuración generalizada de cada ariete depende de su diseño y fabricación, pero el principio de funcionamiento sigue siendo el mismo en todos.



*Figura 11. Configuración de la bomba de ariete*

*Fuente: wikipedia.org/Bomba de ariete*

En donde:

H: altura de impulsión a la cual el agua será elevado tomando como nivel de referencia el ariete hidráulico.

h: altura disponible entre el tanque de captación y el punto más bajo del ariete hidráulico.

A: Reservorio de alimentación.

B: Tubería de alimentación

C: Válvula de impulsión

D: Válvula de retención, descarga

E: Cámara de aire

F: Tubería de entrega.

K: Válvula de aire.

### **2.3.3. FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA**

La bomba de ariete es una de las maquinas más sencillas. A continuación presentamos el ciclo de funcionamiento generalizado de un ariete hidráulico. El agua de la fuente de alimentación (1) puede inyectarse al depósito (9) que se halla a una cota más elevada. El dispositivo funciona de la siguiente manera:

Al descender el agua por efecto de la gravedad por la tubería de alimentación (2), tiene una cierta presión H debida a la diferencia de nivel, esta se derrama en la válvula de impulso (3), alcanzando una presión dinámica que sea capaz de cerrarla, contrarrestando su peso.

El cierre repentino de la válvula de impulso produce una sobrepresión en la tubería de alimentación, este fenómeno es conocido como golpe de ariete. La válvula check (6) se abre por el efecto de dicha sobrepresión, y deja pasar cierta cantidad de agua hacia la cámara de aire (7), comprimiendo el aire existente, y haciendo que fluya cierta cantidad de agua ( $q$ ) por la tubería de descarga (8).

El retroceso del agua en la tubería de alimentación, produce una ligera succión en la caja de válvulas (4), creando una caída de presión que produce la apertura de las válvulas de impulsión y el cierre de la válvula check (6). De esta forma, el proceso se vuelve automático. El aire comprimido continúa impulsando el líquido almacenado en ella por la tubería de descarga, entre ciclos de operaciones; lográndose una entrega de agua casi uniforme hacia el tanque de almacenamiento (9).

El aire que es parte de la cámara de aire se consume en el flujo bombeado, sino se renovase, manteniendo el nivel se saturaría toda la cámara de agua, por esta razón se coloca la válvula de aire. (5) En su posición óptima que es debajo de la válvula check. Esta válvula funciona aprovechando la onda de presión negativa que produce una depresión en la caja del ariete y al producirse dicha depresión, succiona una pequeña cantidad de aire que va a renovar el aire de la cámara. El dispositivo trabajará automáticamente mientras el caudal  $Q$  entre en la cámara. Su mayor parte el caudal  $Q - Q_p$ , se verterá afuera en el tanque reservorio.

La longitud del tubo no influye directamente en el caudal. Sí influye en el tiempo de ciclo del transporte mediante la masa del agua que contiene y el tiempo de aceleración. Una tubería larga tiene tiempos de aceleración largos y tiempos de ciclo altos. Si las

tuberías son demasiado cortas, la dinámica propia de la válvula de impulsión y de la válvula check, ejercen una influencia negativa. Debido a su inercia, las válvulas no tienen tiempo suficiente para abrirse y cerrarse por completo en un mismo ciclo. (Chi, 2002).

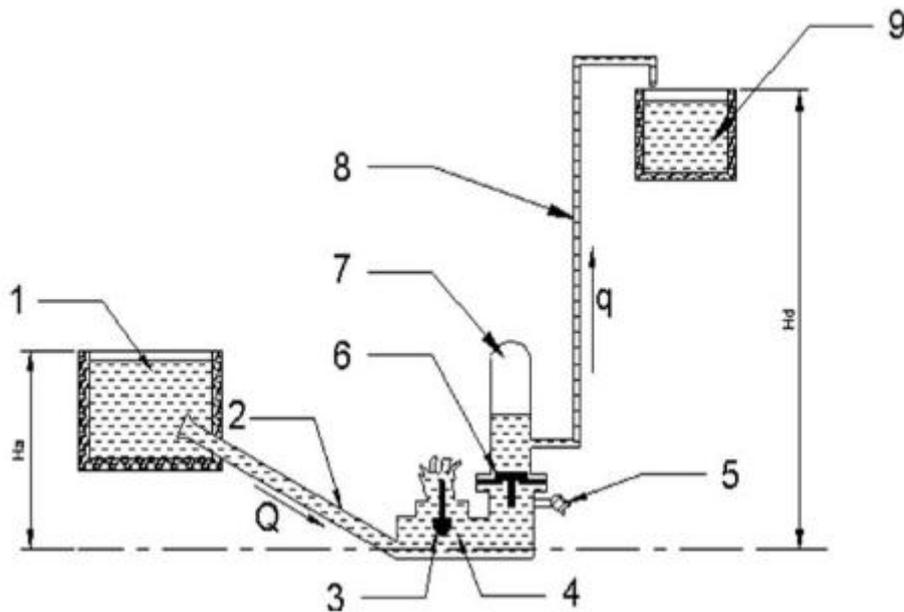


Figura 12. Esquema del principio de funcionamiento del ariete hidráulico

Fuentes: Ma Chi. Hydraulic Ram Handbook, Zhejiang University of Technology

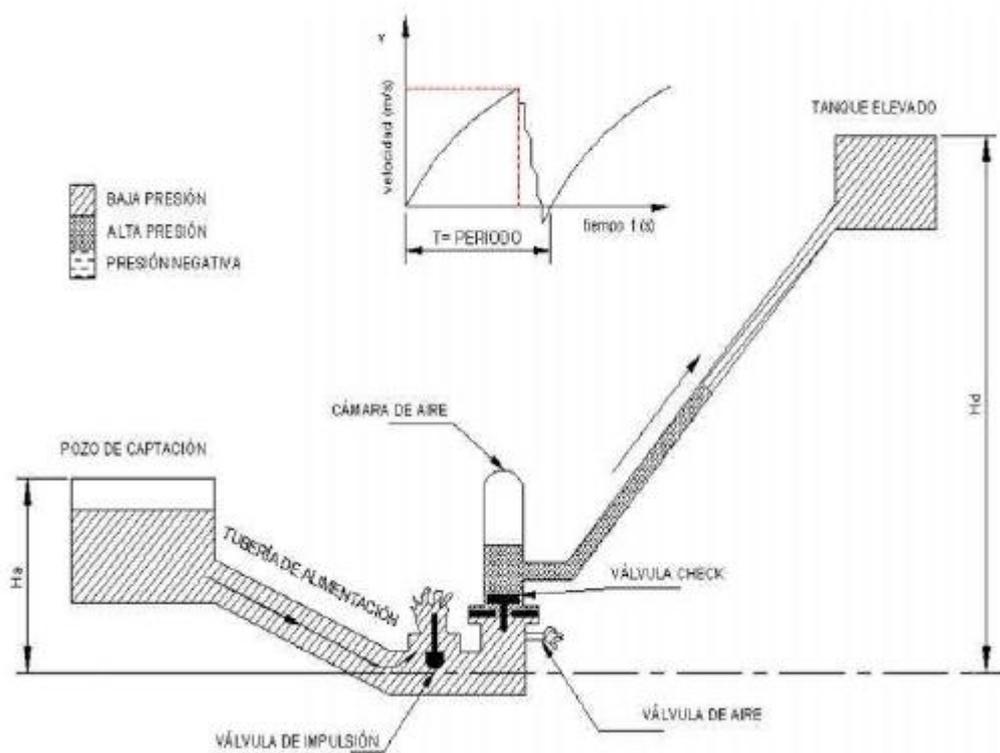
#### 2.3.4. CICLO HIDRÁULICO DE LA BOMBA DE ARIETE

##### a) Períodos en que se divide el ciclo de trabajo del ariete hidráulico.

El aprovechamiento del golpe de ariete se divide en 3 periodos bien definidos durante un ciclo de operación. En las figuras que se encuentran a continuación se muestra de manera más comprensiva.

Como partida se inunda el sistema aguas abajo, la válvula de impulsión se cierra debido

a la presión inicial  $H_a$ , el agua hace que se abra la válvula check, hasta el nivel  $H_a$  debido al principio de vasos comunicantes. Seguido de este primer paso, se debe accionar la válvula de impulsión manualmente, así se extrae el aire de las tuberías, hasta que el ariete comience a funcionar automáticamente. (Chi, 2002).



*Figura 13. Eventos que se presentan en un ciclo*

*Fuentes: Ma Chi. Hydraulic Ram Handbook, Zhejiang University of Technology*

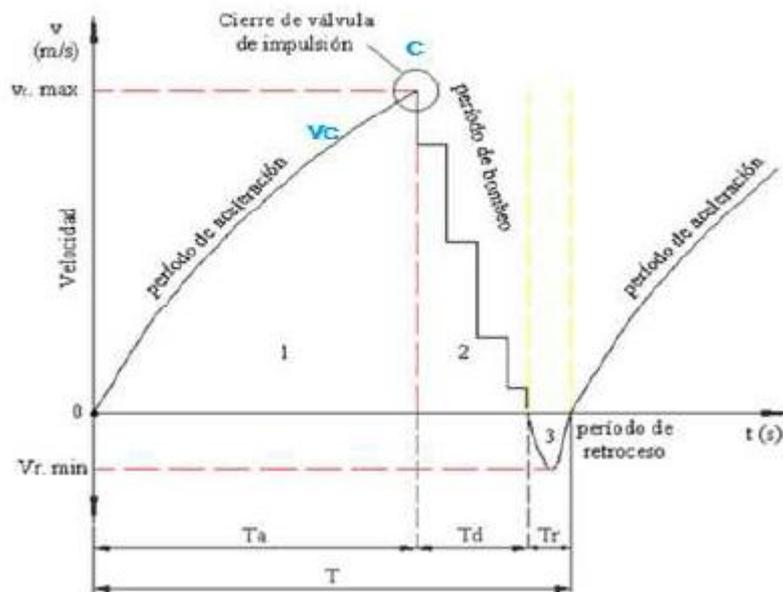


Figura 14. Representación gráfica de los periodos velocidad - tiempo

Fuente: Ayala Manuel, *Diseño de un Ariete Hidráulico UNL*, 2004.

De la figura 14 se tiene la siguiente ecuación que nos ayuda a determinar el tiempo de duración del ciclo.  $T = T_a + T_d + T_r$  (1)

Dónde:

$T$  = Tiempo de duración del ciclo (s).

$T_a$  = Tiempo de duración del periodo de aceleración en (s).

$T_d$  = Tiempo de duración de bombeo (s).

$T_r$  = Tiempo de duración del periodo de retroceso (s).

$v_c$  = Velocidad del agua en la tubería de alimentación en el momento del cierre de la válvula de impulsión (m/s).

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

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

### b) Período 1: Aceleración.

Se podría decir que este fenómeno inicia desde que la energía cinética del agua es nula, por lo que la velocidad es igualmente cero, es decir el agua todavía se encuentra en el tanque de captación, seguido de esto el agua empieza a acelerar debido a la gravedad, las válvulas se encuentran en su posición baja hasta que el agua llega con una presión que está en función directa con la altura de alimentación  $H_a$ , haciendo que se cierren, terminando el período 1 e iniciando el período 2

### c) Período 2: Bombeo

El instante en que las válvulas de impulso se cierran, inicia el período 2, este finaliza el momento que se produce una desaceleración del flujo en la cámara de aire como podemos observarlo en la figura 15. En este instante en el sector de la válvula de impulso se produce una presión muy alta, esta es amortiguada en la cámara de aire. (Chi, 2002)

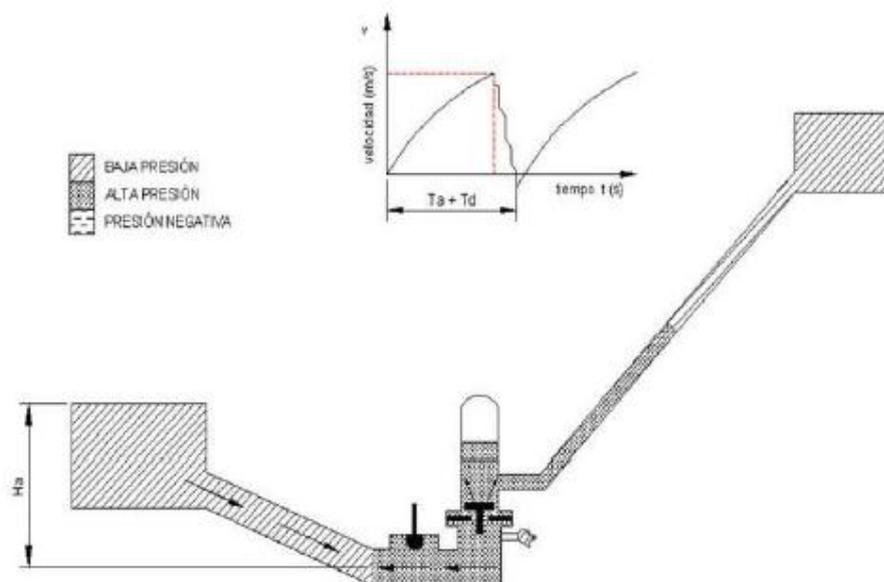


Figura 15. Cierre de las válvulas de impulsión

Fuente: Ma Chi. *Hydraulic Ram Handbook*, Zhejiang University of Technology

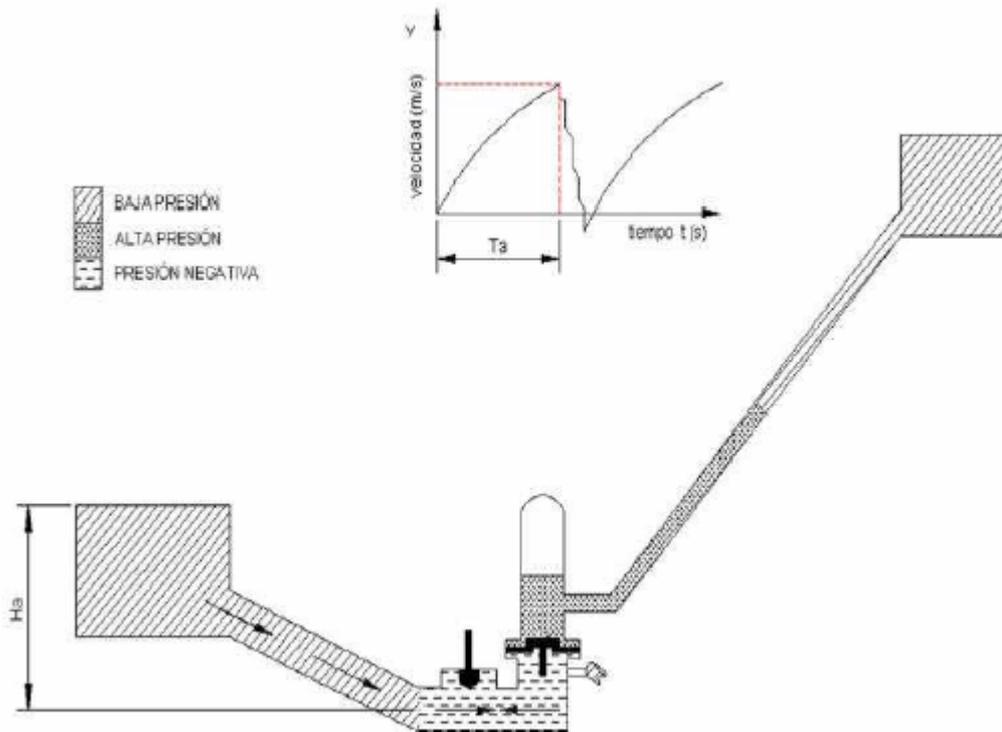


Figura 16. Amortiguación en la cámara de aire

Fuente: Ma Chi. *Hydraulic Ram Handbook*, Zhejiang University of Technology

d) **Período 3: Retroceso.**

El período 3 se observa en la figura 10, el cual consta de 3 partes: la caída de presión, la reapertura de la válvula de impulso, y el tiempo durante el cual se cierra la válvula check. Aquí la velocidad vuelve hacer cero, teniendo un nuevo ciclo en progreso. Se observa que el colchón de aire que existe en la cámara de aire ejerce una presión sobre la válvula check haciendo que se cierre, el agua fluya por la tubería de descarga y no retorne a la tubería de impulsión. Al retroceder el agua por la tubería de alimentación se produce una sección de baja presión en el cuerpo del ariete, de esta manera se genere una renovación de aire en la cámara neumática por la válvula de aire, al mismo tiempo se abre nuevamente la válvula de impulsión, empezando un nuevo ciclo de trabajo. (Chi, 2002).

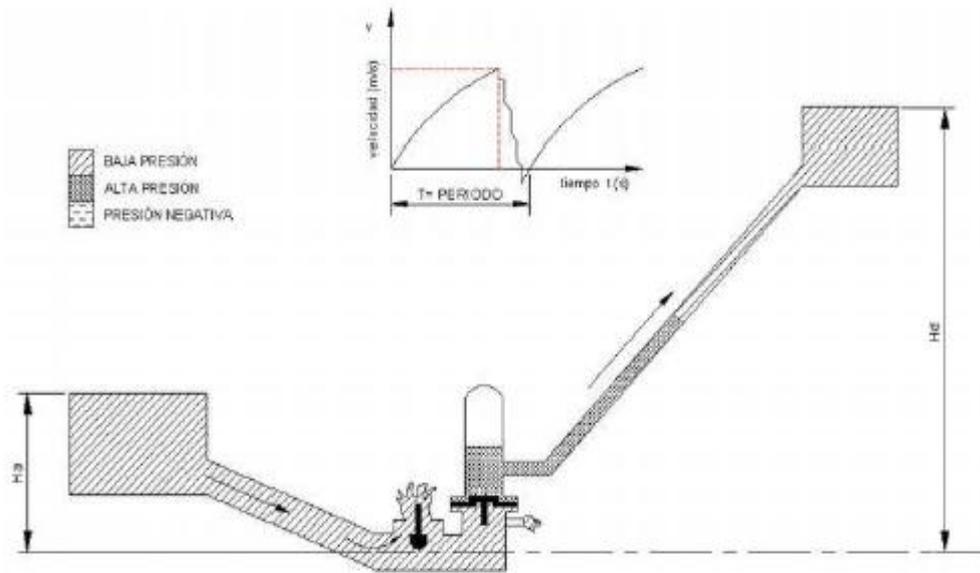


Figura 17. Cierre de la válvula de descarga

Fuente: Ma Chi. *Hydraulic Ram Handbook*, Zhejiang University of Technology

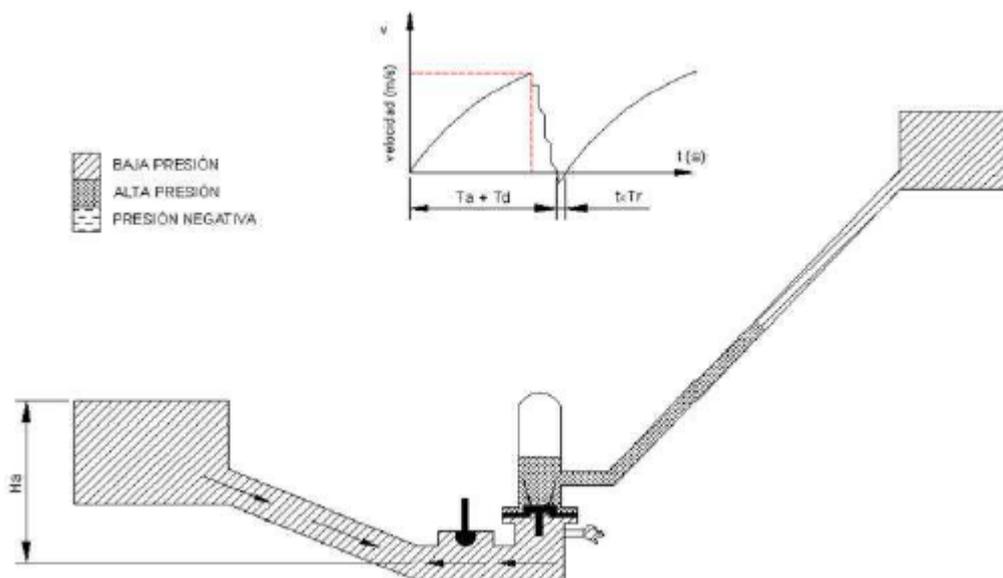


Figura 18. Reapertura de las válvulas nuevo ciclo de trabajo.

Fuente: Ma Chi. *Hydraulic Ram Handbook*, Zhejiang University of Technology

### **2.3.5. UTILIZACIÓN DE VÁLVULAS**

Las válvulas son accesorios de tuberías que se utilizan para controlar el caudal que fluye a través de una tubería. Existen diferentes tipos de válvulas, entre los cuales pueden mencionarse:

#### **a) Válvulas de retención (check)**

Las válvulas de retención (check) son integrales y se destinan a impedir la inversión del flujo en una tubería. La presión del fluido circulante abre la válvula; el peso del mecanismo de retención y cualquier inversión en el flujo la cierra. Los discos y componentes móviles relativos a los mismos pueden estar en movimiento constante si la fuerza de la velocidad no es suficiente para mantenerlas en posición estable de apertura total, los componentes principales de estas válvulas son el cuerpo, el disco, pasador oscilante y tapa. (W. Greene, 1996).

#### **b) Válvulas de compuerta.**

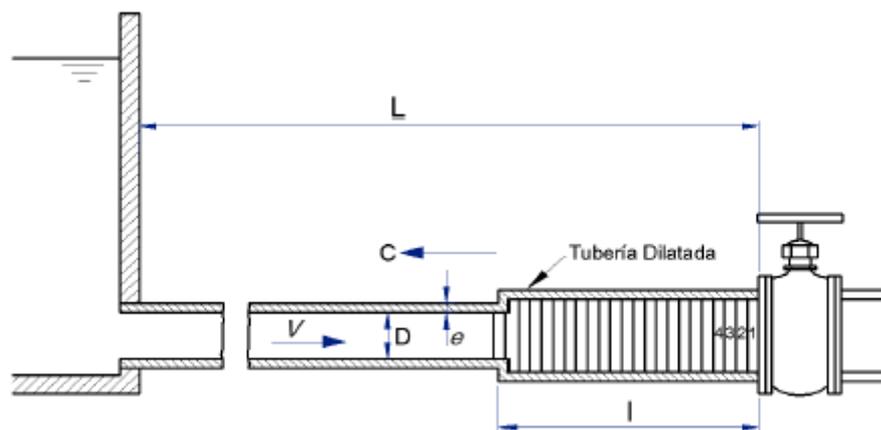
La válvula de compuerta supera en número a los otros tipos de válvulas en servicio donde se requieren circulación ininterrumpida y poca caída de presión. Las válvulas de compuerta no se recomiendan para servicios de estrangulación, porque la compuerta y el sello tienden a sufrir erosión rápida cuando restringen la circulación y producen turbulencia con la compuerta parcialmente abierta. (W. Greene, 1996).

### 2.3.6. DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO FÍSICO GOLPE DE ARIETE

#### a) Golpe de Ariete el fenómeno físico

Para el estudio del fenómeno del golpe de ariete hay que abandonar dos hipótesis normalmente utilizadas que son: fluido incompresible y régimen permanente. El golpe de ariete es un fenómeno transitorio y por ende de régimen variable, donde la tubería ya no es rígida y además el líquido es compresible. (Mataix, 1986).

Este fenómeno se produce en los conductos al cerrar o abrir una válvula, al poner en marcha o parar una máquina hidráulica y también al disminuir el caudal bruscamente.



*Figura 19. Onda de presión en el cierre instantáneo de una válvula*

*Fuente: Claudio Mataix*

En la Figura 19. Se detalla la velocidad de propagación de la onda (  $C$ ), la velocidad del fluido (  $V$ ), una tubería de longitud (  $L$ ), espesor (  $e$ ) y diámetro interior (  $D$ ) por la que circula agua proveniente de un embalse y que en su extremo derecho termina

en un obturador. Si este se cierra rápidamente, se producirá una sobrepresión o golpe de ariete, este fenómeno tiene que ver con el principio de conservación de la energía, ya que al detener el líquido disminuye su energía cinética, la cual se va transformando en un trabajo de compresión del fluido que llena la tubería y dilata la misma.

### **b) Explicación del fenómeno**

A pesar de que no se puede cerrar una válvula instantáneamente, es necesario utilizar esa consideración para realizar el estudio en casos reales. Al cerrarse por completo instantáneamente la válvula de la Figura 19, si dividimos imaginariamente todo el fluido que llena la tubería en rodajas, como 1, 2, 3 y 4, se quedará primero en reposo la rodaja 1 y a continuación la 2, 3, 4, etc.; necesitando un cierto tiempo. Es decir, en la válvula se ha originado una onda de presión que se propaga con velocidad  $C$ , la cual en el instante considerado tiene dirección contraria a la velocidad del fluido: se ha creado una onda elástica o bien una onda de presión que se propaga por la tubería, se refleja en el embalse, vuelve a la válvula, de nuevo al embalse, y así sucesivamente; originando sobrepresiones y depresiones en la tubería, la cual se dilata o contrae al paso de la onda. Siendo  $C$  la velocidad de la onda y  $L$  la longitud de la tubería, el tiempo que tarda la onda en recorrer una vez la distancia entre la válvula y el embalse es  $t_o = \frac{L}{c}$  (Mataix, 1986).

Si Consideramos una serie de acontecimientos en la tubería se tiene lo siguiente:

1. No hay perturbación. Régimen permanente. El líquido en la tubería se desplaza con velocidad  $V$  del embalse a la válvula, ver figura 20.

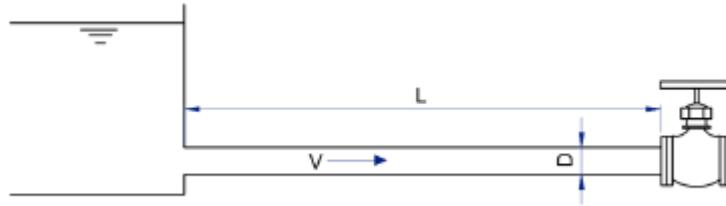


Figura 20. Tubería sin perturbaciones

Fuente: Claudio Mataix

2. Tiempo 0. La válvula se cierra instantáneamente. La velocidad del líquido se anula a partir de la válvula, ver figura 21.

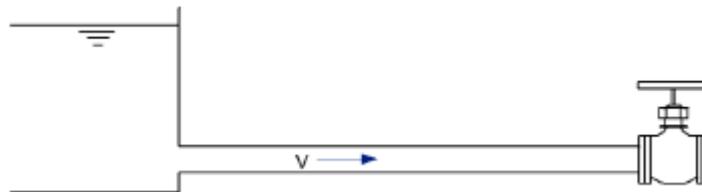


Figura 21. Cierre instantáneo de la válvula

Fuente: Claudio Mataix

3. Tiempo  $\frac{t_0}{2} = \frac{1L}{2C}$ . La onda de presión se ha propagado hacia el embalse con celeridad C, la tubería se dilata por la sobrepresión, ver figura 22.

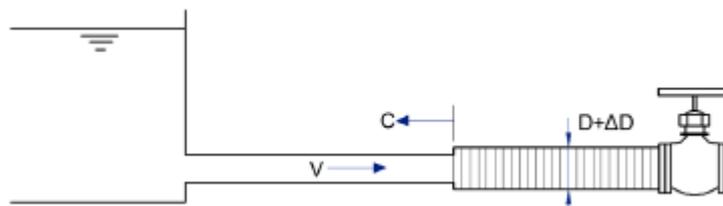


Figura 22. Propagación de la onda de presión.

Fuente: Claudio Mataix

4. Tiempo  $t_o = \frac{L}{c}$ . Toda la tubería esta dilatada, ver figura 23.



Figura 23. Llegada de la sobrepresión al embalse.

Fuente: Claudio Mataix.

5. Tiempo  $\frac{3}{2}t_o = \frac{3L}{2c}$ . La parte izquierda de la tubería se ha contraído a su diámetro normal. La onda sigue propagándose hacia la derecha con velocidad C. En la mitad izquierda de la tubería el fluido circula con la velocidad V, ver figura 24.

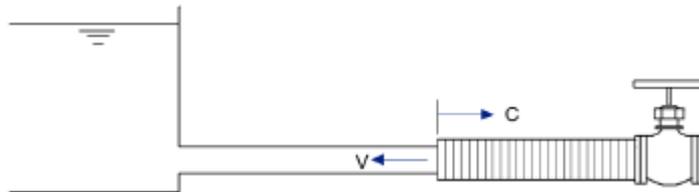


Figura 24. Tubería con la parte izquierda contraída.

Fuente: Claudio Mataix.

6. Tiempo  $2t_o = \frac{2L}{c}$ . No hay sobrepresión en ninguna parte de la tubería, pero por la inercia la presión continua disminuyendo, la onda elástica se sigue propagando, ahora con depresión desde la válvula hacia el embalse con la velocidad C; el diámetro de la tubería ira disminuyendo por debajo de su diámetro normal, ver figura 25

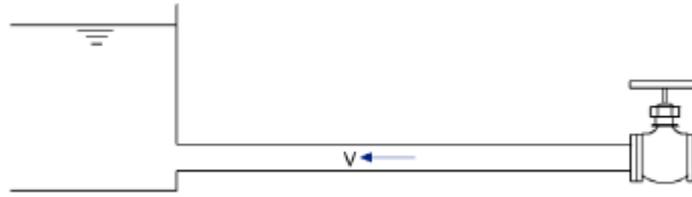


Figura 25. Diámetro de la tubería normal.

Fuente: Claudio Mataix.

7. Tiempo  $\frac{5}{2}t_o = \frac{5L}{2c}$ . La depresión ha alcanzado la mitad de la tubería. La mitad derecha de la tubería contiene agua en reposo y a una presión por debajo de la normal, el diámetro de la tubería en esta mitad es inferior al normal, ver figura 26.

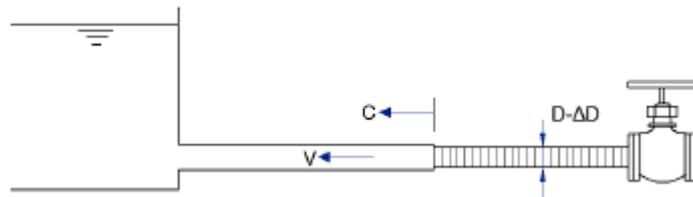


Figura 26. Depresión en la mitad de la tubería.

Fuente: Claudio Mataix.

8. Tiempo  $3t_o = 3\frac{L}{c}$ . El agua inicia su movimiento desde el embalse a la válvula con velocidad  $V$ , dirigida hacia la derecha. La depresión está presente en toda la tubería, el diámetro de la tubería es inferior al normal, ver figura 27.



Figura 27. Depresión en toda la tubería.

Fuente: Claudio Mataix.

9. Tiempo  $\frac{7}{2}t_o = \frac{7L}{2c}$ . En la mitad izquierda de la tubería el fluido está en movimiento con velocidad  $V$  hacia la válvula, la mitad derecha el líquido continúa en reposo y en depresión. El diámetro de la parte izquierda es normal. El diámetro de la mitad derecha es menor que el normal;  $C$  y  $V$  tienen el mismo sentido, ver figura 28.

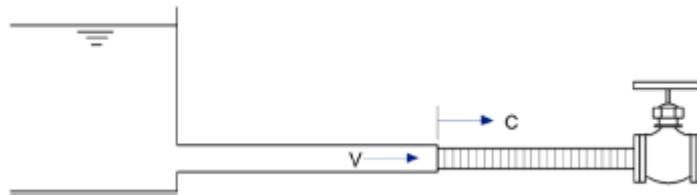


Figura 28. Tubería con la parte izquierda en movimiento.

Fuente: Claudio Mataix.

10. Tiempo  $4t_o = 4\frac{L}{c}$ . El diámetro de la tubería vuelve a la normalidad, todo el fluido se encuentra en movimiento con velocidad  $V$  hacia la válvula, ver figura 29.

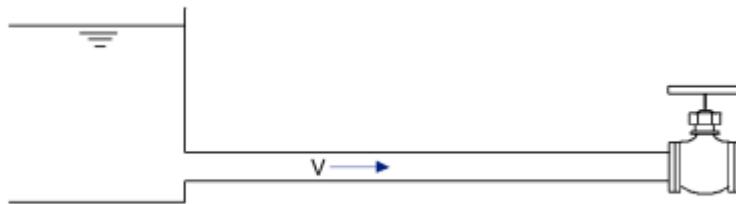


Figura 29. Diámetro de la tubería normal.

Fuente: Claudio Mataix.

### 2.3.7. TIPOS DE INSTALACIONES DE ARIETES

A continuación se muestra las cinco diferentes formas de instalación de un sistema de bombeo por golpe de ariete hidráulico.

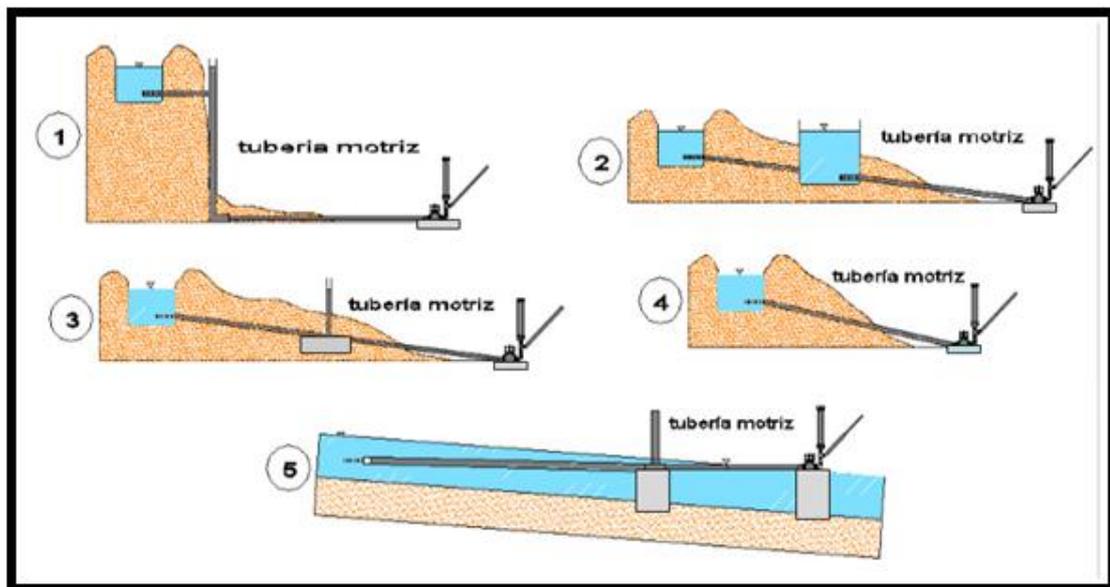


Figura 30. Tipos de instalaciones de bombas de ariete.

Fuente: <http://es.slideshare.net/rcavero/bomba-de-ariete-pablo-cavero>.

### 2.3.8. ANÁLISIS DEL GOLPE DE ARIETE

El análisis de golpe de ariete debe realizarse en:

- Proyectos de nuevas aducciones por bombeo.
- Proyectos de nuevas aducciones por gravedad.
- En instalaciones existentes en las que se verifique ampliaciones debidas a un aumento de caudal, instalación de nuevas bombas, construcciones de nuevos tanques de almacenamiento o variaciones de presión en cualquier sección de la aducción.

- En las instalaciones existentes cuando hay cambio de las condiciones de operación normal y de emergencia.
- En instalaciones existentes que van a ser incorporadas a un nuevo sistema aun cuando no sufran modificaciones de cualquier naturaleza.

El análisis de golpe de ariete debe ser realizado estudiando diversos dispositivos de control a fin de seleccionar aquel que ofrezca la mayor protección posible a menor costo. (Magno Syllón, 2008).

Los dispositivos a considerar para el control del golpe de ariete son: válvulas de retención, válvulas con una o dos velocidades de cierre, válvulas de alivio, cámara de aire bajo presión, ventosas de doble efecto, tanque de compensación unidireccionales, chimeneas de equilibrio, volante y rotación en sentido inverso de las bombas centrifugas con cierre lento de válvulas. (Magno Syllón, 2008).

#### **2.4. DEFINICION DE TERMINOS BASICOS**

**Abastecimiento de agua.-** Es un sistema de obras de ingeniería, concatenadas que permiten llevar hasta la vivienda de los habitantes de una ciudad, pueblo o área rural relativamente densa, el agua potable.

**Demanda de agua.-** Volumen de agua, en cantidad y calidad, que los usuarios están dispuestos a adquirir para satisfacer un determinado objetivo de producción o consumo.

**Agua potable.-** Sustancia líquida, inodora, insípida e incolora, sanitariamente segura y apta para su consumo.

**Temporada de estiaje.-** El estiaje es el nivel de caudal mínimo que alcanza un río o laguna en algunas épocas del año, debido principalmente a la sequía.

**Canal.-** Conducto en que circula un líquido con una superficie libre.

**Altura de entrega.-** La altura de entrega total se define como el trabajo que debe desempeñar la bomba para bombear el medio hasta una unidad de altura definida. En palabras más sencillas, la altura de entrega es igual a la presión medida en el puerto de descarga menos la presión de entrada aplicada en el puerto de aspiración.

**Caudal de entrega.-** Volumen de fluido por unidad de tiempo que pasa a través de una sección transversal al flujo y que es descargado en un punto elevado.

**Altura de alimentación o altura disponible.-** Es la altura entre el tanque de captación y el punto más bajo de una bomba mecánica

**Diámetro de tubería.-** El diámetro de tubería es el diámetro interior, varía el diámetro en función de la cédula, la cédula es el nombre que se le da a un espesor de tubo, el cual generalmente varía a medida que varía el diámetro del tubo,

**Tanque de almacenamiento.-** Es un depósito de agua permanente con disponibilidad para los usuarios en horas de máximo consumo y permitir el almacenamiento en horas de bajo consumo

**Carga disponible.-** También llamada presión o carga hidráulica, es la diferencia entre la cota piezométrica y la cota del centro de una tubería en un mismo punto de referencia.

**Densidad.-** Cantidad de masa contenida en un volumen unitario.

**Energía cinética.-** Energía de movimiento (por velocidad).

**Fluido.-** Cuerpo que cambia fácilmente su forma bajo la acción de fuerzas muy pequeñas. Son fluidos los líquidos y los gases.

**Línea piezométrica.-** Línea que describe la altura o carga resultante de sumar las alturas de presión, de movimiento y de posición geodésica.

**Módulo de compresibilidad.-** Relación de cambio relativo de densidad a cambio de presión.

**Peso específico.-** Peso por unidad de volumen.

**Presión de operación.-** Valor promedio de presión, al cual opera un sistema de abastecimiento de agua.

**Tubería.-** Conducto de sección circular utilizado para transportar fluidos en su interior

## **CAPITULO III**

### **3. PROPUESTAS TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROBLEMA**

Actualmente la zona poblada de la comunidad de Anansaya del Distrito Nicasio, Provincia de Lampa, del departamento de Puno requieren de abastecimiento de agua debido a la temporada de estiaje y se requiere de fuentes de agua, debido a que su geografía no permite que todos los pobladores sean beneficiados igualmente con el recurso hídrico del río Pucara que atraviesa esta comunidad; se ven en la necesidad de realizar viajes diarios desde los alrededores para conseguir agua.

En la zona se necesita bombear agua a un tanque elevado para después ser utilizado en el abastecimiento de la comunidad Anansaya donde existen en la actualidad 52 familias, por lo cual se instaló un sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico adecuado para elevar agua de modo que cumpla con los requerimientos de caudal necesarios para su disposición.

## **3.2. PROPUESTA TÉCNICA EXPERIMENTAL**

### **3.2.1. FUNDAMENTACIÓN**

Cuando se instala un ariete es fundamental realizar los ensayos previos in situ con elementos que permitan determinar el consumo de agua del ariete, su presión de bombeo y la medida del agua bombeada. Esta operación es necesaria para asegurar su correcto funcionamiento y disponer de datos concretos de su instalación. Si la distancia de bombeo es muy larga el manómetro es imprescindible para asegurar el correcto funcionamiento de la misma. La operación del ensayo previo es fundamental, se determina el salto de agua disponible, el cual se puede establecer con manguera transparente tipo de nivel, usado comúnmente por la albañilería desde el espejo de agua hasta la base de la bomba de ariete. También se puede verificar este dato con el manómetro ubicado antes de la bomba. Así también se debe establecer el consumo de agua del ariete “Q”, el agua de bombeo se mide en un tarro calibrado y manteniendo todo el tiempo la presión de elevación, según sea la altura del reservorio.

## **3.3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA UNIDAD DE IMPULSIÓN**

### **3.3.1. MATERIALES E INSUMOS**

#### **a) Ensamblaje del equipo de bombeo**

El ensamble del ariete hidráulico se realiza de forma manual y fácil, una vez lista las piezas se colocan de acuerdo a las guías encontradas y centrando cada una de las piezas se tiene que tener en cuenta que se debe ubicar bien los empaques y ajustar correctamente los accesorios, dando el debido apriete. Cada uno de las partes del

ariete deben estar bien acopladas de tal manera que deben estar completamente libres de fugas ya que esto desemboca en pérdidas de energía. El uso de las herramientas adecuadas facilita el ensamble y ajuste de cada una de las piezas a montar. Las válvulas tanto la de impulso como de entrega deben moverse libremente, y al momento del cierre se debe asegurar una correcta juntura del asiento de las válvulas con sus respectivas bridas. Colocar, y fijar el ariete hidráulico en el sitio adecuado es de suma importancia ya que esto evita las vibraciones provocadas por el golpeteo del agua en la válvula de impulso, entonces está lista para proceder a la unión de las tuberías tanto la de suministro como la de entrega.

#### **b) Tanque de captación**

Para la construcción del tanque de captación se debe tomar en cuenta que la ubicación de este debe estar lo más cercano a la toma de agua y el tanque debe quedar al nivel del terreno ya que este es pendiente y con el tiempo se puede producir erosión de la tierra ya sea por el viento o erosión por la lluvia, debido a la presión del agua el tanque también tiende a destruirse.

#### **c) Tubería de alimentación**

Para la alimentación del ariete se utiliza tubería que soporte altas presiones y tenga una buena resistencia a la corrosión. Para este proyecto se selecciona tuberías de PVC y diámetro nominal de 2 plg, 1.5 plg y 1 plg, las mismas que son unidas por medio de uniones y para evitar fugas y para un buen sellamiento se utiliza teflón en cada unión que se hace. Las tuberías antes de instalarse se deben limpiar con agua limpia y además se las debe inclinar a 30° desde la salida del

tanque de captación hasta el ariete, esto facilita que las tuberías queden lo más recto posible, evitando pérdidas y sobrepresiones.

#### **d) Tubería de descarga**

Para descargar el agua donde los usuarios necesitan, reservar en un tanque y luego hacer uso de esta para abastecimiento a la población, se utiliza una tubería en Polietileno de 1 plg de diámetro en un rollo de 180m ubicando la descarga del fluido a 25 m sobre el nivel de la bomba de ariete hidráulico.

#### **e) Tanque de almacenamiento**

El tanque almacenamiento se instala con un tanque rotoplas de 600 litros ya que facilita el trabajo, una vez ubicado este tanque tiene la forma cilíndrica, además alrededor de este tanque se construye un cerramiento para la protección del mismo y evitar el ingreso de animales o insectos que causen daño al tanque de almacenamiento. De lo visto anteriormente, una vez instalado el ariete, la única opción de mover variables es cambiando la altura de entrega a cada 5 m, la optimización de la potencia desarrollada está en determinar una combinación adecuada de los diámetros en la línea de succión y la altura del caudal de entrega.

### **3.3.2. EQUIPOS E INDUMENTARIA NECESARIA**

#### **a) Caja de herramientas**

Se utilizan diferentes medidas de llaves para el ensamblaje del equipo de bombeo.

#### **b) Guantes de seguridad**

Se utiliza un par de guantes de seguridad de cuero para el momento de realizar el montaje y puesta en marcha del equipo de bombeo, con el propósito de evitar lesiones a las manos de la persona.

#### **c) Lentes de seguridad**

Las gafas de seguridad se utilizan para el cuidado de los ojos del individuo antes cualquier posible salpicadura de partículas al momento del ensamblaje y puesta en marcha del equipo de bombeo.

#### **d) Casco de seguridad**

Un casco es una forma de prenda protectora usada en la cabeza y hecha generalmente de metal o de algún otro material resistente

### **3.3.3. MONTAJE**

Para realizar el montaje del sistema de impulsión por golpe de ariete a escala experimental, se debe contar con todos los materiales e insumos requeridos y mencionados en la parte superior; posteriormente identificamos la ubicación adecuada cercana al río donde pueda permanecer libremente durante todo el tiempo del proceso de experimentación; en primer lugar, tomamos las aguas de la fuente para recepcionarlo en

el tanque receptor de agua , para luego conectarlo a la bomba de ariete, y finalmente, impulsar el agua que será recepcionada en un tanque de almacenamiento rotoplas de 500 litros donde concluirá el sistema de impulsión; todas las conexiones entre tanque – bomba de ariete - tanque serán realizadas con tuberías de PVC y/o materiales flexibles recomendados con diámetros de 2 plg 1.5 plg y 1 plg al igual que los accesorios para controlar los flujos de agua de ingreso y salida. En la fig, 31, mostramos el esquema grafico del funcionamiento del sistema de impulsión continuo; la cual está compuesto por: tanque receptor de agua, unidad de bombeo y un recipiente donde se impulsa el agua; todos ellos interconectados mediante sistemas de tuberías solidas y/o flexibles según sea el caso, además todo el sistema deberá descansar sobre una plataforma para que pueda operar en forma adecuada.

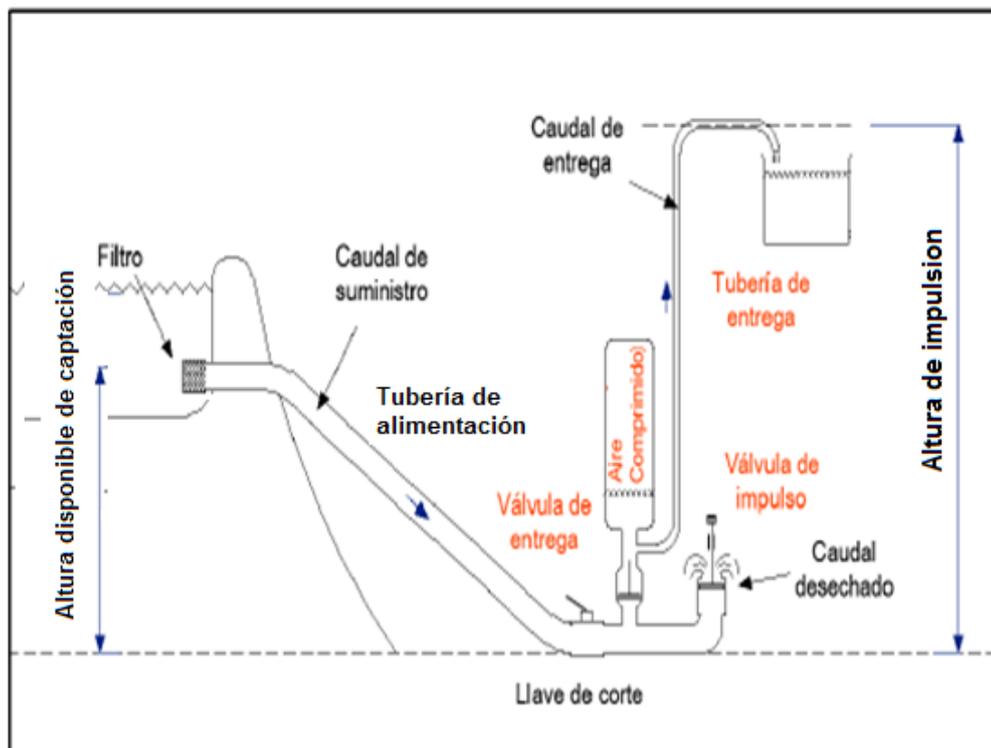


Figura 31. Sistema de bombeo.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.4. MATERIALES, COSTOS E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE IMPULSIÓN.

La propuesta económica para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable para la comunidad de Anansaya del distrito de Nicasio mediante bombeo de ariete hidráulico y a nivel experimental, se estima a un monto de S/. 7,300.00 nuevos soles, la cual se resume en las siguientes tablas:

Tabla 8.  
*Costos de accesorios para montaje de bomba de ariete de 2 plg*

Nro.	DESCRIPCION	U.M.	Cant.	C.U.(S/.)	C.P.(S/.)
1	Tubo de alimentación de 2" PVC	Und.	1	45.00	45.00
2	Codo de 45° de 2" roscado PVC	Und.	1	10.00	10.00
3	Niple de 2" a rosca PVC	Und.	7	5.00	35.00
4	Válvula de paso tipo mariposa de 2"	Und	1	50.00	50.00
5	T de 2" PVC	Und.	2	10.00	20.00
6	Tanque Rotoplas de 600L	Und.	2	800.00	1600.00
7	Codo de 90° de 2" (Fe-Galvanizado)	Und.	1	60.00	60.00
8	Válvula de retención de fondo de 2" (Bronce)	Und.	1	200.00	200.00
9	Tuercas M-8 cincadas	Und.	1	20.00	20.00
10	Arandelas anchas M-8	Und.	3	10.00	30.00
11	Contrapeso ajustable	Und.	1	10.00	10.00
12	Muelle (resorte)	Und.	1	10.00	10.00
13	Válvula de retención check de 2" (Bronce)	Und.	1	180.00	180.00
14	Tubo de 3" de 1.5m de Longitud PVC	Und.	1	30.00	30.00
15	Reductor de 3" a 2" PVC	Und.	1	15.00	15.00
16	Tapón de tubo de 3" PVC	Und.	1	6.00	6.00
17	Reductor de 3" a 1" PVC	Und.	1	12.00	12.00
18	T de 1" PVC	Und.	1	6.00	6.00
19	Manómetro de presión	Und.	1	180.00	180.00
20	Niple de 1" (roscado)	Und.	2	3.00	6.00
21	Válvula de paso tipo mariposa de 1"	Und.	1	25.00	25.00
22	Trípode de soporte	Und.	1	80.00	80.00
23	Manguera de impulsión de 1"	Und.	1	250.00	250.00
24	Pegamento	Und.	10	5.00	50.00
25	Cintas de teflón	Und.	15	2.00	30.00
26	Alquiler de Transporte	Und	1	400.00	400.00
27	Alquiler de Caja de herramientas	Gbl	1	150.00	150.00
		Total	=		3,510.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.

*Costos de accesorios para montaje de bomba de ariete de 1 1/2 plg*

Nro.	DESCRIPCION	U.M.	Cant.	C.U.(S/.)	C.P.(S/.)
1	Tubo de alimentación de 1 1/2" PVC	Und.	1	40.00	40.00
2	Codo de 45° de 1 1/2" roscado PVC	Und.	1	10.00	10.00
3	Niple de 1 1/2" a rosca PVC	Und.	7	5.00	35.00
4	Válvula de paso tipo mariposa de 1 1/2"	Und	1	40.00	40.00
5	T de 1 1/2" PVC	Und.	2	10.00	20.00
6	Codo de 90° de 1 1/2" (Fe-Galvanizado)	Und.	1	45.00	45.00
7	Válvula de retención de fondo de 1 1/2" (Bronce)	Und.	1	180.00	180.00
8	Tuercas M-8 cincadas	Und.	1	5.00	5.00
9	Arandelas anchas M-8	Und.	3	5.00	15.00
10	Contrapeso ajustable	Und.	1	10.00	10.00
11	Muelle (resorte)	Und.	1	10.00	10.00
12	Válvula de retención check de 1 1/2" (Bronce)	Und.	1	150.00	150.00
13	Tubo de 3" de 1.5m de Longitud PVC	Und.	1	20.00	20.00
14	Reductor de 3" a 1 1/2" PVC	Und.	1	10.00	10.00
15	Tapón de tubo de 1 1/2" PVC	Und.	1	6.00	6.00
16	Reductor de 1 1/2" a 1" PVC	Und.	1	12.00	12.00
17	T de 1" PVC	Und.	1	6.00	6.00
18	Manómetro de presión	Und.	1	180.00	180.00
19	Niple de 1" (roscado)	Und.	2	3.00	6.00
20	Válvula de paso tipo mariposa de 1"	Und.	1	20.00	20.00
21	Trípode de soporte	Und.	1	80.00	80.00
22	Manguera de impulsión de 1"	Und.	1	150.00	150.00
23	Pegamento	Und.	10	5.00	50.00
24	Cintas de teflón	Und.	15	2.00	30.00
25	Alquiler de Transporte	Und	1	600.00	600.00
26	Alquiler de Caja de herramientas	Gbl	1	300.00	300.00
		Total	=		2,030.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10.

*Costos de accesorios para montaje de bomba de ariete de 1 plg*

Nro.	DESCRIPCION	U.M.	Cant.	C.U.(S/.)	C.P.(S/.)
1	Tubo de alimentación de 1" PVC	Und.	1	30.00	30.00
2	Codo de 45° de 1" roscado PVC	Und.	1	5.00	5.00
3	Niple de 1" a rosca PVC	Und.	7	5.00	35.00
4	Válvula de paso tipo mariposa de 1"	Und.	1	35.00	35.00
5	T de 1" PVC	Und.	2	5.00	10.00
6	Codo de 90° de 1" (Fe-Galvanizado)	Und.	1	35.00	35.00
7	Válvula de retención de fondo de 1" (Bronce)	Und.	1	80.00	80.00
8	Tuercas M-8 cincadas	Und.	1	5.00	5.00
9	Arandelas anchas M-8	Und.	3	5.00	15.00
10	Contrapeso ajustable	Und.	1	10.00	10.00
11	Muelle (resorte)	Und.	1	10.00	10.00
12	Válvula de retención check de 1" (Bronce)	Und.	1	50.00	50.00
13	Tubo de 2" de 1m de Longitud PVC	Und.	1	10.00	10.00
14	Reductor de 2" a 1" PVC	Und.	1	10.00	10.00
15	Tapón de tubo de 2" PVC	Und.	1	6.00	6.00
16	T de 1" PVC	Und.	1	5.00	5.00
17	Manómetro de presión	Und.	1	180.00	180.00
18	Niple de 1" (roscado)	Und.	3	3.00	9.00
19	Válvula de paso tipo mariposa de 1"	Und.	1	20.00	20.00
20	Trípode de soporte	Und.	1	80.00	80.00
21	Manguera de impulsión de 1"	Und.	1	150.00	150.00
22	Pegamento	Und.	10	5.00	50.00
23	Cintas de teflón	Und.	10	2.00	20.00
24	Alquiler de Transporte	Und.	1	600.00	600.00
25	Alquiler de Caja de herramientas	Gbl	1	300.00	300.00
		Total	=		1,760.00

Fuente: Elaboración propia

Según la tablas 8, 9 y 10 podemos apreciar que los costos para la implementación del sistema de abastecimiento de agua potable por golpe de ariete hidráulico para la comunidad de Anansaya, ascienden a S/.7,300.00 nuevos soles; y gracias a ello se puede implementar este sistema de bombeo en cualquier otro proyecto de abastecimiento de agua que presente los mismos problemas.

### **3.3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL CAUDAL DE ENTREGA**

#### **a) Determinación de los parámetros y rangos**

Determinación de los parámetros y rangos para el caudal de entrega, estos factores son determinantes para el diseño del sistema de impulsión por golpe de ariete hidráulico, debido a las necesidades en el caso específico para el funcionamiento del sistema de bombeo por golpe de ariete hidráulico, las variables a estudiar influyen en la variable respuesta. El propósito de estas variables es identificar las variables de operación del sistema de impulsión por golpe de ariete, y encontrar el mayor caudal de entrega, las variables elegidas que podemos controlar son:

##### **a.1) Altura de impulsión**

La altura de impulsión viene dada por el requerimiento de elevar el fluido a un nivel determinado, para orientar la utilización del líquido hacia una función específica entre las cuales se pueden mencionar; riego, almacenamiento de agua, distribución, potabilización del agua, entre otros. se trabajó en un rango de 10 m a 40 m.

##### **a.2) Altura disponible de captación**

El objetivo principal de la altura disponible de captación es la de generar energía potencial para luego convertirla en energía cinética a través de la tubería de alimentación, se trabajó en un rango de 1 m a 2 m.

### **a.3) Diámetro de tubería de alimentación**

La tubería de alimentación tiene dos objetivos primordiales que son:

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

Se utilizó tuberías comerciales entre un rango de 1 plg a 2 plg. Las dimensiones, tanto del diámetro como la longitud de la tubería de suministro son factores determinantes para garantizar el buen funcionamiento de la bomba de ariete, ya que conduce el agua desde la fuente a la bomba y retiene la onda de presión producida por el golpe de ariete. Estas deben cumplir con ciertas relaciones desarrolladas de manera experimental y obviamente de acuerdo al espacio físico disponible.

### **b) Diseño factorial $2^K$**

$$Y = 2^K \quad (\text{para } K = 3)$$

El diseño factorial se basa en generar datos ortogonales si las variables son ortogonales. Sus vectores y el producto de los mismos suman cero y se interceptan en el espacio en ángulos rectos.

Tabla 11.  
Intervalo de las variables independientes.

Símbolo	Nombre de variable	Unidad	Xmin	Xmáx
X <sub>1</sub>	Altura de impulsión	m	10	40
X <sub>2</sub>	Altura disponible de captación	m	1	2
X <sub>3</sub>	Diámetro de tubería de alimentación	plg	1	2

Fuente: Elaboración propia

Estas variables se cambian a variables codificadas mediante las siguientes operaciones:

#### Para la altura de impulsión (H)

- Calculo del promedio :  $H = (40 + 10)/2 = 25 \text{ m}$
- Calculo de la diferencia :  $D = (40 - 10)/2 = 15 \text{ m}$
- Cambio de variable :  $X_1 = (H - 25)/15$

#### Luego:

- Si  $H = 10 \text{ m}$  →  $X_1 = -1$
- Si  $H = 40 \text{ m}$  →  $X_1 = +1$
- Si  $H = 25 \text{ m}$  →  $X_1 = 0$

#### Para la altura disponible de captación (h)

- Calculo del promedio :  $h = (2 + 1)/2 = 1.5 \text{ m}$
- Calculo de la diferencia :  $D = (2 - 1)/2 = 0.5 \text{ m}$
- Cambio de variable :  $X_2 = (h - 1.5)/0.5$

**Luego:**

- Si  $h = 1 \text{ m}$   $\rightarrow X_1 = -1$
- Si  $h = 2 \text{ m}$   $\rightarrow X_1 = +1$
- Si  $h = 1.5 \text{ m}$   $\rightarrow X_1 = 0$

**Para el diámetro de tubería de alimentación ( $\phi$ )**

- Calculo del promedio :  $\phi = (2 + 1)/2 = 1.5 \text{ m}$
- Calculo de la diferencia :  $D = (2 - 1)/2 = 0.5 \text{ m}$
- Cambio de variable :  $X_3 = (\phi - 1.5)/0.5$

**Luego:**

- Si  $\phi = 1 \text{ plg}$   $\rightarrow X_1 = -1$
- Si  $\phi = 2 \text{ plg}$   $\rightarrow X_1 = +1$
- Si  $\phi = 1.5 \text{ plg}$   $\rightarrow X_1 = 0$

Tabla 12.  
*Variable respuesta.*

Símbolo	Nombre de variable	Unidad
Y	Caudal de entrega	lts/seg

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13.  
*Símbolo de combinaciones*

Nombre de variable	Símbolo de combinaciones
Altura de impulsión (H)	A
Altura disponible de captación (h)	B
Diámetro de tubería de alimentación ( $\phi$ )	C

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14.  
Diseño factorial  $2^K$

Experimentos	Relación de variables	Matriz de diseño (Variables codificadas)			
		X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
1	1	1	-1	-1	-1
2	A	1	1	-1	-1
3	B	1	-1	1	-1
4	AB	1	1	1	-1
5	C	1	-1	-1	1
6	AC	1	1	-1	1
7	BC	1	-1	1	1
8	ABC	1	1	1	1

La tabla 14. Muestra las combinaciones de las variables independientes codificadas.

### 3.3.6. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El la figura 32. Podemos apreciar el sistema de flujo, y damos a conocer el procedimiento a realizar para la puesta en marcha del sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad de Anansaya Distrito de Nicasio, Provincia de Lampa Región Puno.

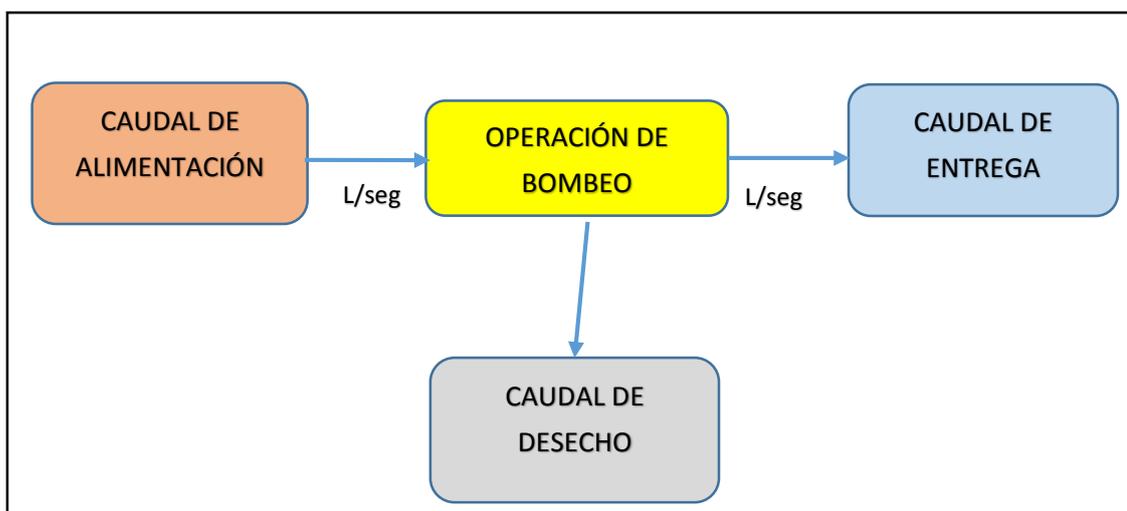


Figura 32. Esquema de la unidad de impulsión.

Fuente: Elaboración propia.

### **a) Puesta en marcha del sistema de impulsión**

Para poner en marcha el sistema de abastecimiento de agua mediante bombeo de ariete hidráulico; en primer lugar, debemos contar con todos los insumos, materiales e instrumentos requeridos con el propósito de evitar contratiempos y/o inconvenientes; inmediatamente procedemos con la puesta en marcha correspondiente siguiendo el procedimiento:

- Acondicionamos el área de trabajo en un radio de 2 m alrededor del RIO, verificando y contrastando las pendientes necesarias para poner en funcionamiento el proceso.
- Instalamos las tuberías de alimentación con diámetros de 2 plg, 1½ plg y 1 plg y a la salida con manguera de 1 plg para cada uno de los tanques a emplear durante la experimentación.
- Realizamos el acondicionamiento del rio para captar el agua su recepción en el tanque de almacenamiento de 500 lts.
- Instalamos las tuberías de conducción, incluyendo todos los accesorios y/o controladores de caudal, desde la fuente misma de agua manantial y finalizando en el recipiente colector de agua tratada; una vez concluido este procedimiento, realizamos las conexiones a cada uno de los tanques correspondientes.

## **CAPITULO IV**

### **4. PRESENTACION, INTERPRETACION Y ANALISIS DE RESULTADOS**

#### **4.1. CALCULO DE LA POBLACIÓN FUTURA**

A continuación se presenta el cálculo de la población futura de la comunidad de Anansaya del distrito de Nicasio conociendo la población actual que es de 263 habitantes (52 familias), según la información por el INEI, en la tasa de crecimiento del Distrito de Nicasio está reduciéndose desde el año 2000 al 2015, por lo que se trajo con la tasa de crecimiento de la Provincia de Lampa, que si está en crecimiento desde el año 2000 al 2015, es por lo tanto que se usaron los datos del crecimiento de la población a nivel Provincial para fines de cálculo del caudal necesario para la comunidad de Anansaya del Distrito de Nicasio, que se muestra a continuación en la tabla 15.

Tabla 15.  
Población de la Provincia de Lampa según INEI

AÑO	P (actual)	t (años)	P (Pa - Pf)	Pa x t	r (P/P a x t)	r x t
2000	48093	5	1655	240465	0.007	0.035
2005	49748	5	947	248740	0.004	0.020
2010	50695	5	833	253475	0.003	0.015
2015	51528					
Total =		Suma = 15				Suma =0.07

$$r = \left( \frac{\text{Total } (r \times t)}{\text{Total } (t)} \right) = \frac{0.07}{15}$$

$$r = 0.00473$$

r = 4.73 por cada 1000 habitantes (4.73‰)

Con el valor de “r” obtenido y para un periodo de diseño de 10 años según DIGESA y reemplazando en la ecuación (2), fórmula de crecimiento aritmético, se determina la población futura como se indica a continuación

$$Pf = 263 * \left( 1 + \frac{4.73 \times 10}{1000} \right)$$

$$Pf = 276 \text{ habitantes}$$

#### 4.2. CALCULO DEL CAUDAL DE DISEÑO

Una vez obtenido el valor de la población futura de la comunidad de Anansaya con un valor de dotación de 100 l/hab/día para poblaciones rurales recomendado por la OMS y el Fondo Perú - Alemania, reemplazamos los datos en la ecuación (3)

$$Q_m = \frac{276 \text{ (hab)} * 100 \left( \frac{l}{\text{hab} \times \text{día}} \right)}{86,400}$$

$$Q_m = 0.319 \text{ l/seg}$$

Seguidamente procedemos al cálculo del caudal máximo diario para el diseño en el tanque de almacenamiento utilizando un coeficiente de 1.3 para consumo máximo diario (Qmd) Recomendado por el R.N.E.

$$Q_{md} = 1.3 \times 0.31 \text{ l/seg}$$

$$Q_{md} = 0.41 \text{ l/seg}$$

El consumo máximo diario (Qmd) = 0.48 l/seg deberá ser conducido por el sistema de impulsión por golpe de ariete hidráulico para la población de la comunidad de Anansaya del Distrito de Nicasio Provincia de Lampa Región Puno.

#### **4.3. PRESENTACION E INTERPRETACION DE RESULTADOS**

En el presente capítulo se presentara las tablas y gráficos estadísticos, referente al diseño de un sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico para la comunidad de Anansaya, Distrito de Nicasio, Provincia de Lampa de la Región Puno – 201, cuyo procesamiento de datos fueron elaborados haciendo uso del Programa Office Microsoft Excel y el paquete estadístico Statgraphics Centurión XVII y se reporta los siguientes resultados. En las siguientes tablas se muestran los valores de caudal de entrega encontrados en campo.

En la tabla 16, se muestran los valores obtenidos del caudal de entrega a 2 m de altura disponible de la captación hacia la bomba de ariete, a diferentes diámetros de tubería de alimentación de 2 plg, 1 ½ plg, 1 plg de material PVC y a diferentes alturas de impulsión, con el objetivo de encontrar el caudal necesario para su aprovechamiento y a una altura adecuada para la instalación del tanque de almacenamiento.

Tabla 16.  
Primera ficha de aforo de caudal de agua

<b>Altura disponible de la captación</b>		<b>(m) = 2</b>		<b>Volumen de recipiente</b>		<b>(Its)= 5</b>			
<b>Fecha</b>	<b>Diámetro de tubería de alimentación</b>	<b>Numero de muestra</b>	<b>Altura de impulsión (m)</b>	<b>Tiempo (T1) (seg)</b>	<b>Tiempo (T2) (seg)</b>	<b>Tiempo (T3) (seg)</b>	<b>Tiempo Promedio (seg)</b>	<b>Caudal (Its/seg)</b>	
10/10/2016	<b>2 plg</b>	M - 01	10	9.82	9.85	9.88	<b>9.85</b>	<b>0.51</b>	
10/10/2016		M - 02	15	10.79	10.75	10.76	<b>10.77</b>	<b>0.46</b>	
10/10/2016		M - 03	20	11.60	11.65	11.70	<b>11.65</b>	<b>0.43</b>	
10/10/2016		M - 04	25	12.18	12.20	12.20	<b>12.19</b>	<b>0.41</b>	
11/10/2016		M - 05	30	14.30	14.10	14.20	<b>14.20</b>	<b>0.35</b>	
11/10/2016		M - 06	35	16.45	16.30	16.00	<b>16.25</b>	<b>0.31</b>	
11/10/2016		M - 07	40	17.50	17.65	17.45	<b>17.53</b>	<b>0.29</b>	
12/10/2016	<b>1 1/2 plg</b>	M - 01	10	11.00	11.05	11.20	<b>11.08</b>	<b>0.45</b>	
12/10/2016		M - 02	15	12.25	12.35	12.00	<b>12.20</b>	<b>0.41</b>	
12/10/2016		M - 03	20	15.65	15.10	15.05	<b>15.27</b>	<b>0.33</b>	
12/10/2016		M - 04	25	19.30	19.35	19.32	<b>19.32</b>	<b>0.26</b>	
12/10/2016		M - 05	30	21.55	20.52	20.60	<b>20.89</b>	<b>0.24</b>	
12/10/2016		M - 06	35	22.90	22.88	22.95	<b>22.91</b>	<b>0.22</b>	
12/10/2016		M - 07	40	23.80	23.85	23.89	<b>23.85</b>	<b>0.21</b>	
13/10/2016	<b>1 plg</b>	M - 01	10	13.18	13.25	13.21	<b>13.21</b>	<b>0.38</b>	
13/10/2016		M - 02	15	16.53	16.80	16.45	<b>16.59</b>	<b>0.30</b>	
13/10/2016		M - 03	20	19.15	19.24	19.08	<b>19.16</b>	<b>0.26</b>	
13/10/2016		M - 04	25	24.30	24.50	24.33	<b>24.38</b>	<b>0.21</b>	
13/10/2016		M - 05	30	26.17	26.35	26.25	<b>26.26</b>	<b>0.19</b>	
13/10/2016		M - 06	35	28.12	28.68	28.50	<b>28.43</b>	<b>0.18</b>	
13/10/2016		M - 07	40	28.95	29.05	29.00	<b>29.00</b>	<b>0.17</b>	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 17, se muestran los valores obtenidos del caudal de entrega a 1.5 m de altura disponible de la captación hacia la bomba de ariete, a diferentes diámetros de tubería de alimentación de 2 plg, 1 ½ plg, 1 plg de material PVC y a diferentes alturas de impulsión, con el objetivo de encontrar el caudal necesario para su aprovechamiento y a una altura adecuada para la instalación del tanque de almacenamiento.

Tabla 17.  
Segunda ficha de aforo de caudal de agua

<b>Altura disponible de la captación (m) = 1.5</b> <b>Volumen de recipiente (lts)= 5</b>								
Fecha	Diámetro de tubería de alimentación	Numero de muestra	Altura de impulsión (m)	Tiempo (T1) (seg)	Tiempo (T2) (seg)	Tiempo (T3) (seg)	Tiempo Promedio (seg)	Caudal (lts/seg)
16/10/2016	<b>2 plg</b>	M - 01	10	12.00	12.10	11.95	<b>12.02</b>	<b>0.42</b>
16/10/2016		M - 02	15	13.18	13.30	13.25	<b>13.24</b>	<b>0.38</b>
16/10/2016		M - 03	20	15.52	15.60	15.72	<b>15.61</b>	<b>0.32</b>
16/10/2016		M - 04	25	17.00	17.10	17.05	<b>17.05</b>	<b>0.29</b>
17/10/2016		M - 05	30	19.45	19.35	19.50	<b>19.43</b>	<b>0.26</b>
17/10/2016		M - 06	35	23.90	23.85	23.88	<b>23.88</b>	<b>0.21</b>
17/10/2016		M - 07	40	24.10	24.20	24.15	<b>24.15</b>	<b>0.21</b>
18/10/2016	<b>1 1/2 plg</b>	M - 01	10	14.55	14.70	14.65	<b>14.63</b>	<b>0.34</b>
18/10/2016		M - 02	15	18.20	18.29	18.30	<b>18.26</b>	<b>0.27</b>
18/10/2016		M - 03	20	20.35	20.24	20.40	<b>20.33</b>	<b>0.25</b>
18/10/2016		M - 04	25	22.10	22.25	22.15	<b>22.17</b>	<b>0.23</b>
18/10/2016		M - 05	30	24.35	24.65	24.30	<b>24.43</b>	<b>0.20</b>
18/10/2016		M - 06	35	26.60	26.42	26.34	<b>26.45</b>	<b>0.19</b>
18/10/2016		M - 07	40	27.10	27.21	27.29	<b>27.20</b>	<b>0.18</b>
20/10/2016	<b>1 plg</b>	M - 01	10	18.05	18.10	18.13	<b>18.09</b>	<b>0.28</b>
20/10/2016		M - 02	15	20.88	20.90	20.95	<b>20.91</b>	<b>0.24</b>
20/10/2016		M - 03	20	23.96	23.90	23.80	<b>23.89</b>	<b>0.21</b>
20/10/2016		M - 04	25	27.15	27.30	27.64	<b>27.36</b>	<b>0.18</b>
20/10/2016		M - 05	30	29.84	29.65	29.70	<b>29.73</b>	<b>0.17</b>
20/10/2016		M - 06	35	31.50	31.65	31.45	<b>31.53</b>	<b>0.16</b>
20/10/2016		M - 07	40	31.90	31.87	31.78	<b>31.85</b>	<b>0.16</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 18, se muestran los valores obtenidos del caudal de entrega a 1 m de altura disponible de la captación hacia la bomba de ariete, a diferentes diámetros de tubería de alimentación de 2 plg, 1 ½ plg, 1 plg de material PVC y a diferentes alturas de impulsión, con el objetivo de encontrar el caudal necesario para su aprovechamiento y a una altura adecuada para la instalación del tanque de almacenamiento.

Tabla 18.  
Tercera ficha de aforo de caudal de agua

<b>Altura disponible de la captación (m) = 1</b> <b>Volumen de recipiente (lts)= 5</b>								
Fecha	Diámetro de tubería de alimentación	Numero de muestra	Altura de impulsión (m)	Tiempo (T1) (seg)	Tiempo (T2) (seg)	Tiempo (T3) (seg)	Tiempo Promedio (seg)	Caudal (lts/seg)
23/10/2016	<b>2 plg</b>	M - 01	10	17.45	17.65	17.35	<b>17.48</b>	<b>0.29</b>
23/10/2016		M - 02	15	19.20	19.15	19.30	<b>19.22</b>	<b>0.26</b>
23/10/2016		M - 03	20	21.80	21.90	21.75	<b>21.82</b>	<b>0.23</b>
23/10/2016		M - 04	25	28.08	28.02	28.10	<b>28.07</b>	<b>0.18</b>
23/10/2016		M - 05	30	28.95	28.85	28.76	<b>28.85</b>	<b>0.17</b>
23/10/2016		M - 06	35	29.50	29.56	29.45	<b>29.50</b>	<b>0.17</b>
23/10/2016		M - 07	40	30.10	30.20	30.15	<b>30.15</b>	<b>0.17</b>
24/10/2016	<b>1 1/2 plg</b>	M - 01	10	20.00	20.30	20.14	<b>20.15</b>	<b>0.25</b>
24/10/2016		M - 02	15	23.15	23.16	23.32	<b>23.21</b>	<b>0.22</b>
24/10/2016		M - 03	20	26.70	26.50	26.85	<b>26.68</b>	<b>0.19</b>
24/10/2016		M - 04	25	29.30	29.54	29.40	<b>29.41</b>	<b>0.17</b>
24/10/2016		M - 05	30	30.30	30.50	30.28	<b>30.36</b>	<b>0.16</b>
25/10/2016		M - 06	35	30.15	30.80	30.50	<b>30.48</b>	<b>0.16</b>
		M - 07	40					
25/10/2016	<b>1 plg</b>	M - 01	10	26.90	26.45	26.60	<b>26.65</b>	<b>0.19</b>
25/10/2016		M - 02	15	28.30	28.40	28.36	<b>28.35</b>	<b>0.18</b>
26/10/2016		M - 03	20	30.10	30.05	30.10	<b>30.08</b>	<b>0.17</b>
26/10/2016		M - 04	25	29.90	30.00	29.85	<b>29.92</b>	<b>0.17</b>
		M - 05	30					
		M - 06	35					
		M - 07	40					

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.1. ANÁLISIS DE CAUDAL DE ENTREGA EN FUNCIÓN A ALTURA DE DESCARGA

Para el gráfico del caudal vs la altura de descarga se obtuvieron los siguientes datos tomados en campo, dándonos como resultado las siguientes gráficas.

Tabla 19.  
*Caudal de entrega en función de altura de impulsión para  $h=2$  m y  $\phi=2$  plg.*

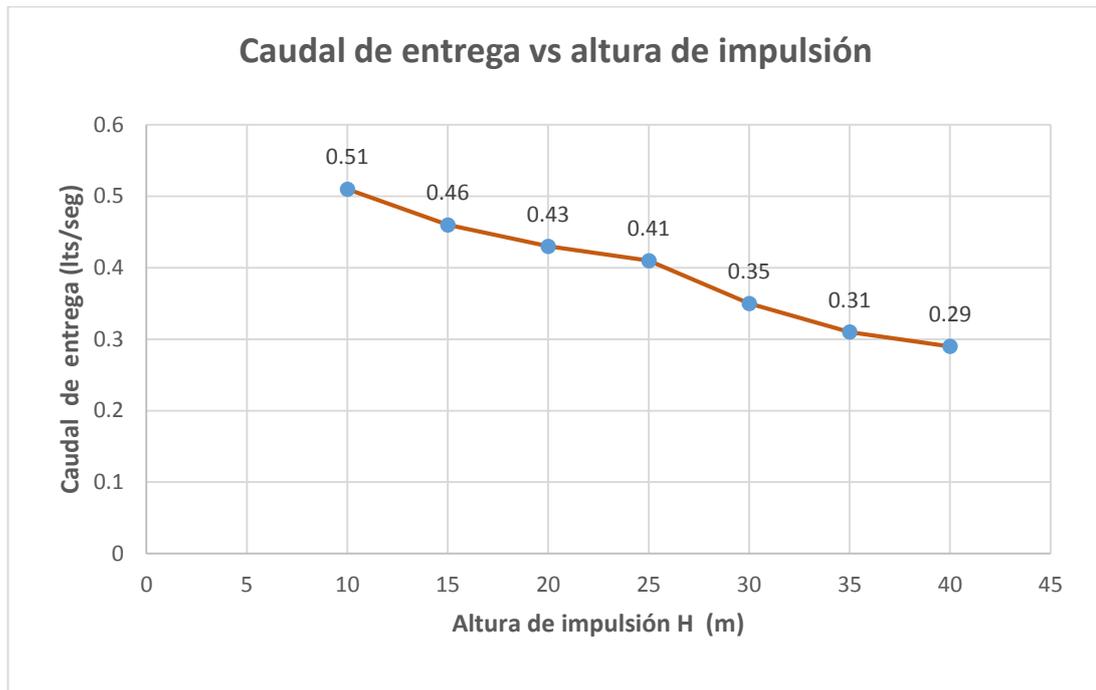
<b>Altura disponible de la captación (h) = 2 m</b>	
<b>Diámetro tubería de alimentación (<math>\phi</math>) = 2 plg</b>	
<b>Altura de impulsión</b>	<b>Caudal de entrega</b>
<b>H (m)</b>	<b>Q (lts/seg)</b>
10	<b>0.51</b>
15	<b>0.46</b>
20	<b>0.43</b>
25	<b>0.41</b>
30	0.35
35	0.31
40	0.29

Fuente: Elaboración propia

La tabla 19, muestra que a las alturas de impulsión de 10, 15, 20 y 25 metros son apropiadas para la cumplir con la demanda de agua que necesita la comunidad de Anansaya, siendo a una altura de 25 m con un caudal de 0.41 lts/seg y una altura de 20 m con un caudal de 0.43 lts/seg los más indicados para el diseño.

Gráfica 1.

Caudal de entrega vs altura de impulsión para  $h=2m$  y  $\varphi=2plg$



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 1, se muestra los resultados del caudal de entrega en función de la altura de impulsión para un diámetro de tubería de alimentación de 2 plg con una altura disponible de 2 m. De la captación hacia la bomba de ariete. En este grafico se puede apreciar que el caudal de entrega decrece con el incremento de la altura de impulsión. Esto se debe a la acción de la altura de impulsión que hace que el agua de la tubería de impulso sea puesta en reposo una vez que se produce el cierre de la válvula de impulso, consecuentemente el agua que pasa desde el tanque de abastecimiento hacia la tubería de impulsión tendrá un movimiento retardado, por lo tanto mientras mayor sea la altura de impulsión decrecerá, por consiguiente el caudal de entrega.

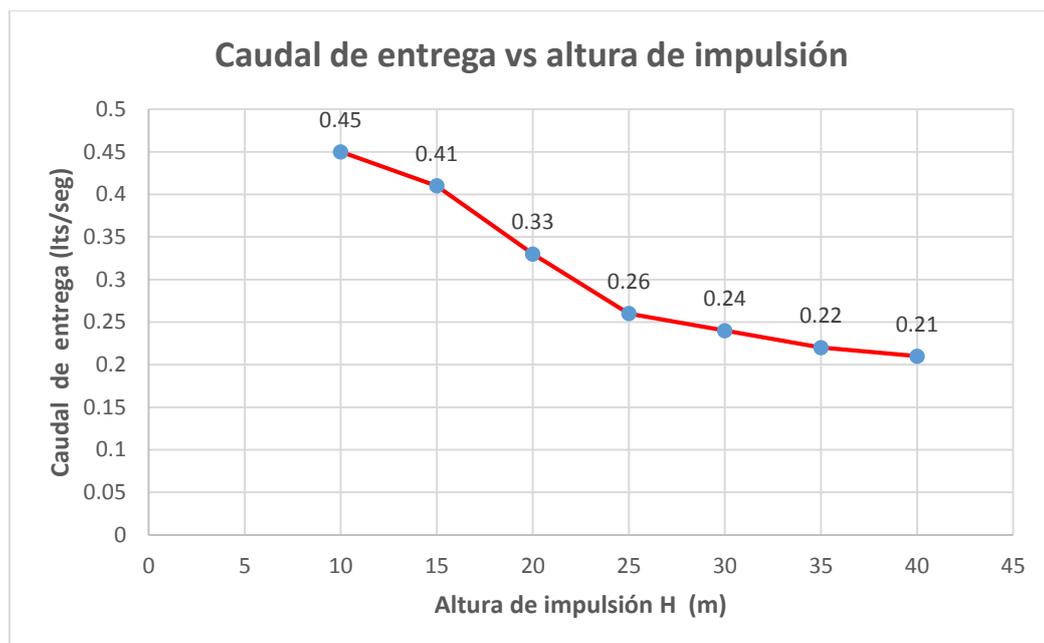
Tabla 20.  
*Caudal de entrega en función de altura de impulsión para  $h=2\text{ m}$  y  $\phi=1\ 1/2\text{ plg}$ .*

<b>Altura disponible de la captación (h) = 2 m</b> <b>Diámetro tubería de alimentación (<math>\phi</math>) = 1 1/2 plg</b>	
Altura de impulsión	Caudal de entrega
H (m)	Q (lts/seg)
10	0.45
15	0.41
20	0.33
25	0.26
30	0.24
35	0.22
40	0.21

Fuente: Elaboración propia

La tabla 20, muestra que a las alturas de impulsión de 10 y 15 metros son apropiadas para la cumplir con la demanda de agua que necesita la comunidad de Anansaya, siendo a una altura de 15 m con un caudal de 0.41 lts/seg, que son valores apropiados para diseños a la cercanía donde se encuentra el sistema de impulsión por golpe de ariete hidráulico.

Gráfica 2.  
*Caudal de entrega vs altura de impulsión para  $h=2\text{ m}$  y  $\phi=1\ 1/2\text{ plg}$*



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 2 se muestra los resultados del caudal de entrega en función de la altura de impulsión para un diámetro de tubería de alimentación de 1 ½ plg con una altura disponible de 2m. Desde la captación hacia la bomba de ariete. En este grafico se puede apreciar que el caudal de entrega disminuye con el incremento de la altura de impulsión. Esto se debe a la acción de la altura de impulsión que hace que el agua de la tubería de impulso sea puesta en reposo una vez que se produce el cierre de la válvula de impulso, consecuentemente el agua que pasa desde el tanque de abastecimiento hacia la tubería de impulsión tendrá un movimiento retardado, por lo tanto mientras mayor sea la altura de impulsión el caudal de entrega disminuye y se puede apreciar que a medida que la altura de impulsión aumenta la fuerzas del golpe de ariete se van reduciendo.

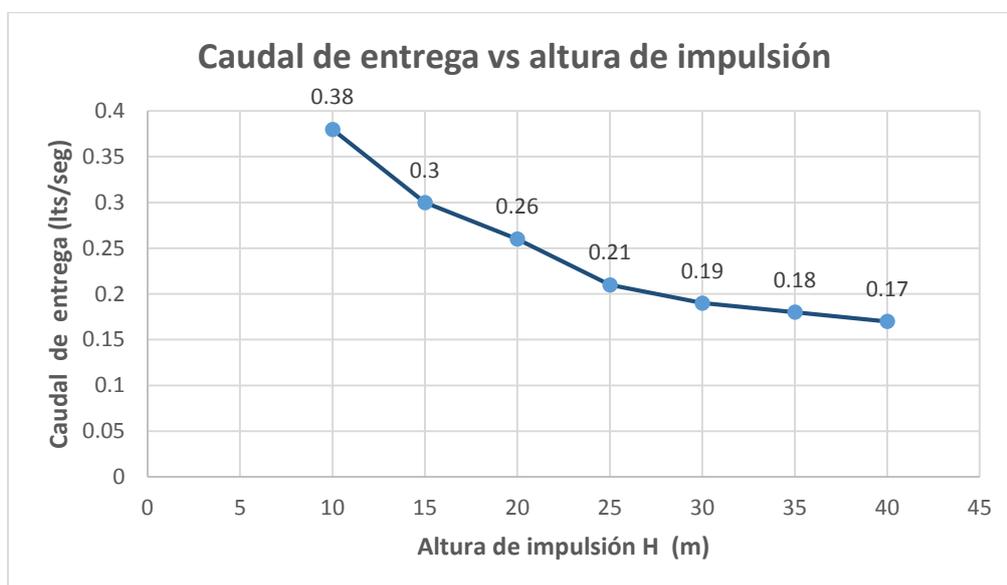
Tabla 21.  
*Caudal de entrega en función de altura de impulsión para  $h=2\text{ m}$  y  $\phi=1\text{ plg}$ .*

<b>Altura disponible de la captación (h) = 2 m</b> <b>Diámetro tubería de alimentación (<math>\phi</math>) = 1 plg</b>	
<b>Altura de impulsión</b> <b>H (m)</b>	<b>Caudal de entrega</b> <b>Q (lts/seg)</b>
10	0.38
15	0.3
20	0.26
25	0.21
30	0.19
35	0.18
40	0.17

Fuente: Elaboración propia

La tabla 21, muestra que el caudal que se presentan a diferentes alturas de impulsión no son apropiadas para la cumplir con la demanda de agua que necesita la comunidad de Anansaya del Distrito de Nicasio.

Gráfica 3.  
Caudal de entrega vs altura de impulsión para  $h=2m$  y  $\varphi=1plg$



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3 se muestra los resultados del caudal de entrega en función de la altura de entrega para un diámetro de tubería de alimentación de 1" con una altura disponible de 2m. En este grafico se puede apreciar que el caudal de entrega disminuye con el incremento de la altura de impulsión. Esto se debe a la acción de la altura de impulsión que hace que el agua de la tubería de impulso sea puesta en reposo una vez que se produce el cierre de la válvula de impulso (válvula de retención o válvula check), en consecuencia el agua que pasa desde el tanque de abastecimiento hacia la tubería de impulsión tendrá un movimiento retardado, por lo tanto mientras mayor sea la altura de impulsión el caudal de entrega disminuye, el cual nos indica que la fuerzas del golpe de ariete se van reduciendo.

Tabla 22.

*Caudal de entrega en función de altura de impulsión para  $h=1.5\text{ m}$  y  $\phi=2\text{ plg}$ .*

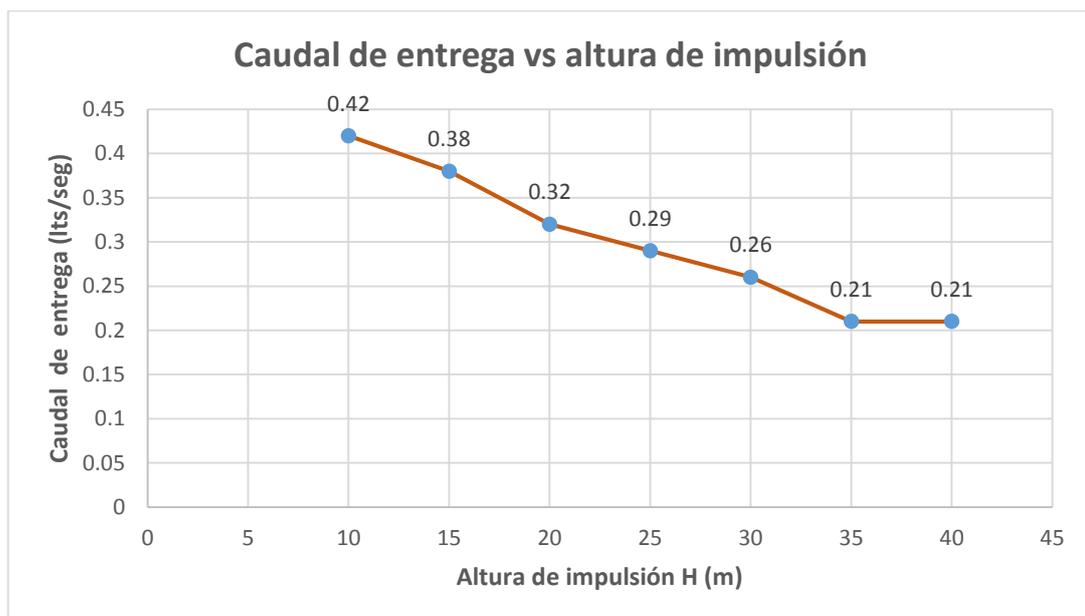
<b>Altura disponible de la captación (h) = 1.5 m</b> <b>Diámetro tubería de alimentación (<math>\phi</math>) = 2 plg</b>	
<b>Altura de impulsión</b> <b>H (m)</b>	<b>Caudal de entrega</b> <b>Q (lts/seg)</b>
10	<b>0.42</b>
15	0.38
20	0.32
25	0.29
30	0.26
35	0.21
40	0.21

Fuente: Elaboración propia

La tabla 22, muestra que la altura de impulsión de 10 metros con un caudal de 0.42 lts/seg es apropiada para la cumplir con la demanda de agua que necesita la comunidad de Anansaya, pero la altura de impulsión no permite un adecuado diseño para su distribución.

Gráfica 4.

*Caudal de entrega vs altura de impulsión para  $h=1.5\text{ m}$  y  $\phi=2\text{ plg}$*



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4 se muestra los resultados del caudal de entrega en función de la altura de impulsión para un diámetro de tubería de alimentación de 2 plg con una altura disponible de 1.5 m. De la captación hacia la bomba de ariete. En este grafico se puede apreciar que el caudal de entrega disminuye a medida que aumenta la altura de impulsión. Esto se origina porque la altura de impulsión hace que el agua de la tubería de impulso sea puesta en reposo una vez que se produce el cierre de la válvula de impulso, consecuentemente el agua que pasa desde el tanque de abastecimiento hacia la tubería de impulsión tendrá un movimiento retardado, y esto origina la reducción de las fuerzas del golpe de ariete, también se observa y se compara con el grafico 1 que las fuerzas del golpe de ariete se reducen al disminuir la altura disponible de la captación.

Tabla 23.  
*Caudal de entrega en función de altura de impulsión para  $h=1.5$  m y  $\phi=1\ 1/2$  plg.*

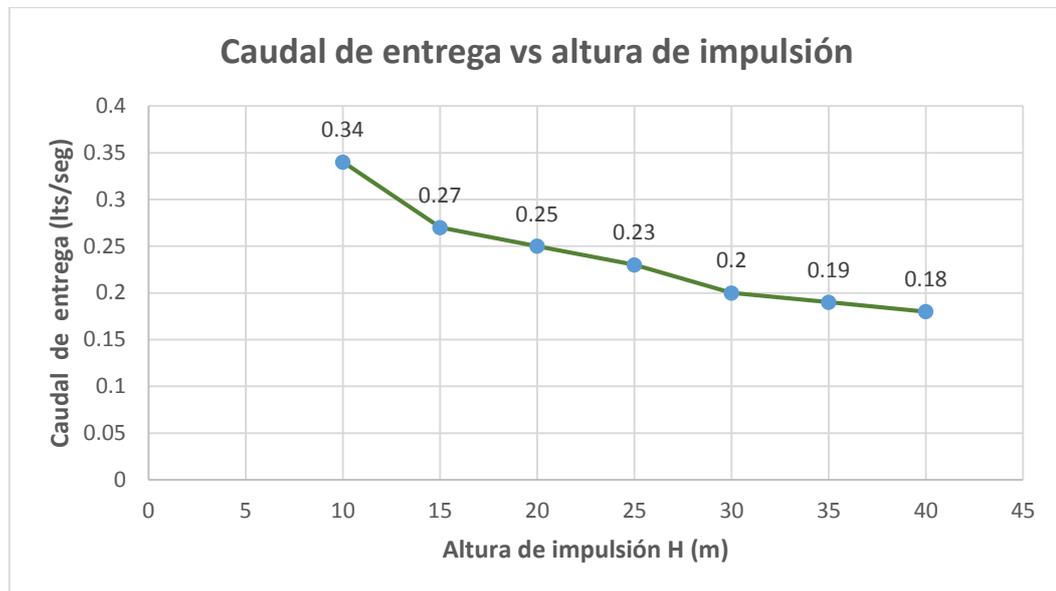
<b>Altura disponible de la captación (h) = 1.5 m</b>	
<b>Diámetro tubería de alimentación (<math>\phi</math>) = 1 1/2 plg</b>	
<b>Altura de impulsión</b>	<b>Caudal de entrega</b>
<b>H (m)</b>	<b>Q (lts/seg)</b>
10	0.34
15	0.27
20	0.25
25	0.23
30	0.2
35	0.19
40	0.18

Fuente: Elaboración propia

La tabla 23, muestra que el caudal que se presentan a diferentes alturas de impulsión no son apropiadas para la cumplir con la demanda de agua que necesita la comunidad de Anansaya del Distrito de Nicasio.

Gráfica 5.

Caudal de entrega vs altura de impulsión para  $h=1.5\text{m}$  y  $\varphi=1\ 1/2\text{plg}$



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 5, se muestra los resultados del caudal de entrega en función de la altura de impulsión para un diámetro de tubería de alimentación de  $1\ 1/2\text{plg}$  con una altura disponible de 1.5 m. Desde la captación hacia la bomba de ariete. En este grafico se puede apreciar que el caudal de entrega disminuye con el incremento de la altura de impulsión. Esto se debe a la acción de la altura de impulsión que hace que el agua que se encuentra en la tubería de impulso sea puesta en reposo una vez que se produce el cierre de la válvula de impulso, por lo tanto mientras mayor sea la altura de impulsión el caudal de entrega disminuye y se puede apreciar que a medida que la altura de impulsión aumenta las fuerzas del golpe de ariete se van reduciendo y por ende la frecuencia de ciclos.

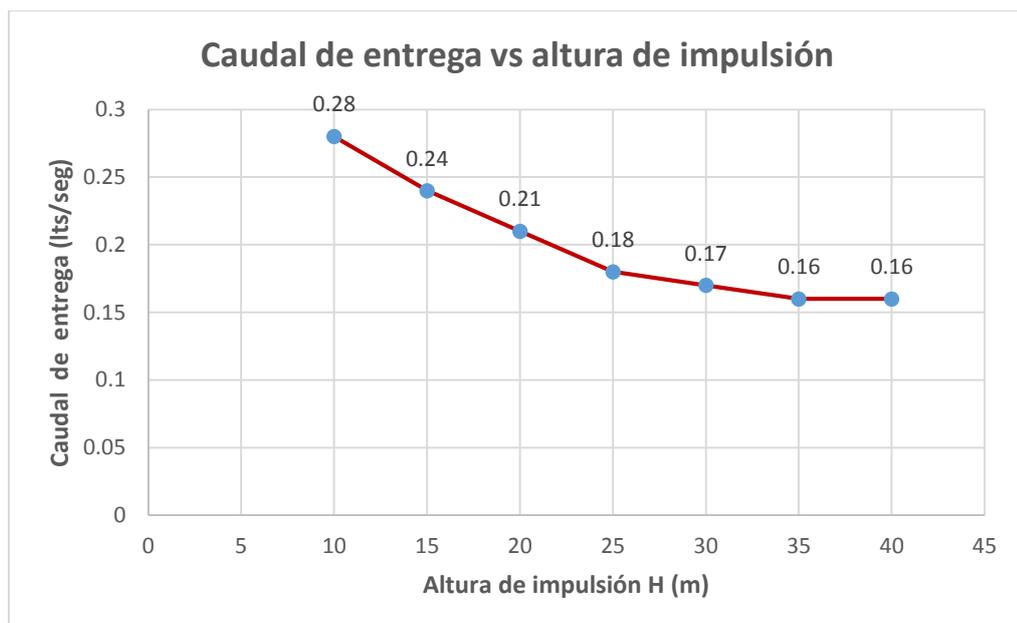
Tabla 24.  
Caudal de entrega en función de altura de impulsión para  $h=1.5\text{ m}$  y  $\phi=1\text{ plg}$ .

Altura disponible de la captación (h) = 1.5 m	
Diámetro tubería de alimentación ( $\phi$ ) = 1 plg	
Altura de impulsión	Caudal de entrega
H (m)	Q (lts/seg)
10	0.28
15	0.24
20	0.21
25	0.18
30	0.17
35	0.16
40	0.16

Fuente: Elaboración propia

La tabla 24, muestra que el caudal que se presentan a diferentes alturas de impulsión no son apropiadas para la cumplir con la demanda de agua que necesita la comunidad de Anansaya del Distrito de Nicasio.

Gráfica 6.  
Caudal de entrega vs altura de impulsión para  $h=1.5\text{ m}$  y  $\phi=1\text{ plg}$



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 6 se muestra los resultados del caudal de entrega en función de la altura de entrega para un diámetro de tubería de alimentación de 1” con una altura disponible de 1.5 m. En este grafico se puede apreciar que el caudal de entrega disminuye y permanece constante a un incremento de la altura de impulsión de 35 y 40 m. Esto se debe a la acción de la altura de impulsión que hace que el agua de la tubería de impulso sea puesta en reposo una vez que se produce el cierre de la válvula de impulso (válvula de retención o válvula check), este incremento de altura de impulsión de 35 y 40 m nos indica que la fuerzas del golpe de ariete se redujeron y se mantiene constante.

Tabla 25.  
Caudal de entrega en función de altura de impulsión para  $h=1$  m y  $\phi=2$  plg.

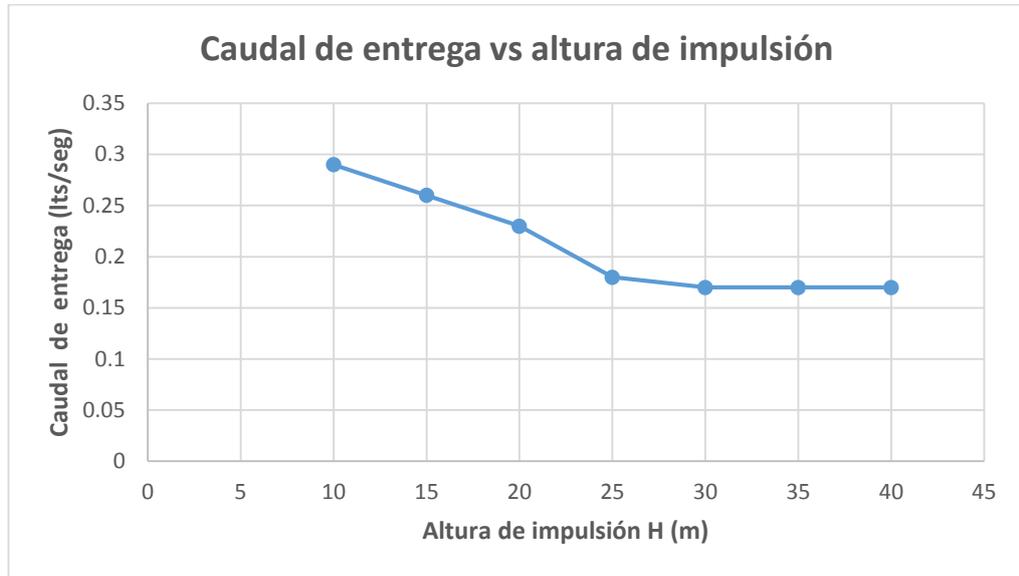
Altura disponible de la captación (h) = 1 m Diámetro tubería de alimentación ( $\phi$ ) = 2 plg	
Altura de impulsión H (m)	Caudal de entrega Q (lts/seg)
10	0.29
15	0.26
20	0.23
25	0.18
30	0.17
35	0.17
40	0.17

Fuente: Elaboración propia

La tabla 25, muestra que el caudal que se presentan a diferentes alturas de impulsión no son apropiadas para la cumplir con la demanda de agua que necesita la comunidad de Anansaya del Distrito de Nicasio.

Gráfica 7.

Caudal de entrega vs altura de impulsión para  $h=1m$  y  $\phi=2plg$



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 7, se muestra los resultados del caudal de entrega en función de la altura de entrega para un diámetro de tubería de alimentación de 2 pulg con una altura disponible de 1 m. En este grafico se puede apreciar que el caudal de entrega disminuye y permanece constante a un incremento de la altura de impulsión de 30, 35 y 40 m. Esto se debe a la acción de la altura de impulsión que hace que el agua de la tubería de impulso sea puesta en reposo una vez que se produce el cierre de la válvula de impulso (válvula de retención o válvula check), este incremento de altura de impulsión de 30, 35 y 40 m mantienen caudales constantes de 0.17 lts/seg, que nos indica que la fuerzas del golpe de ariete se redujeron y se mantiene constante.

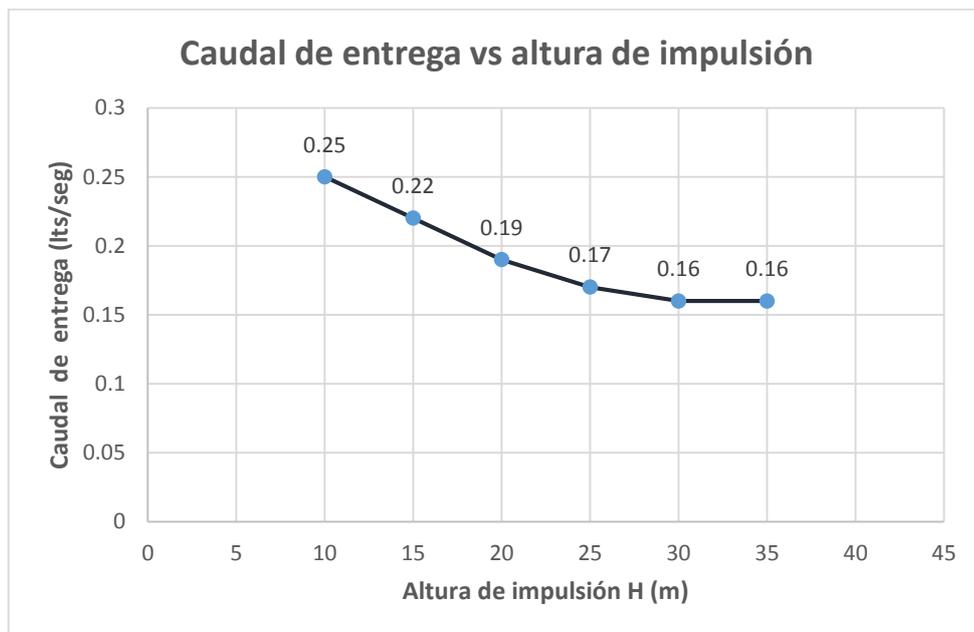
Tabla 26.  
*Caudal de entrega en función de altura de impulsión para  $h=1$  m y  $\phi=1\ 1/2$  plg.*

<b>Altura disponible de la captación (h)= 1 m</b> <b>Diámetro tubería de alimentación (<math>\phi</math>)= 1 1/2 plg</b>	
<b>Altura de impulsión</b> <b>H (m)</b>	<b>Caudal de entrega</b> <b>Q (lts/seg)</b>
10	0.25
15	0.22
20	0.19
25	0.17
30	0.16
35	0.16
40	

Fuente: Elaboración propia

La tabla 26, muestra que el caudal que se presentan a diferentes alturas de impulsión no son apropiadas para la cumplir con la demanda de agua que necesita la comunidad de Anansaya del Distrito de Nicasio.

Gráfica 8.  
*Caudal de entrega vs altura de impulsión para  $h=1$  m y  $\phi=1\ 1/2$  plg*



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 8 se muestra los resultados del caudal de entrega en función de la altura de entrega para un diámetro de tubería de alimentación de 1 1/2 pulg con una altura disponible de 1 m. En este grafico se puede apreciar que el caudal de entrega disminuye y permanece constante a un incremento de la altura de impulsión de 30 y 35 m. Esto se debe a la acción de la altura de impulsión que hace que el agua de la tubería de impulso sea puesta en reposo una vez que se produce el cierre de la válvula de impulso (válvula de retención o válvula check), este incremento de altura de impulsión de 30 y 35 m mantienen caudales constantes de 0.16 lts/seg, que nos indica que la fuerzas del golpe de ariete se redujeron y se mantiene constante.

Tabla 27.  
*Caudal de entrega en función de altura de impulsión para  $h=1$  m y  $\phi=1$  plg.*

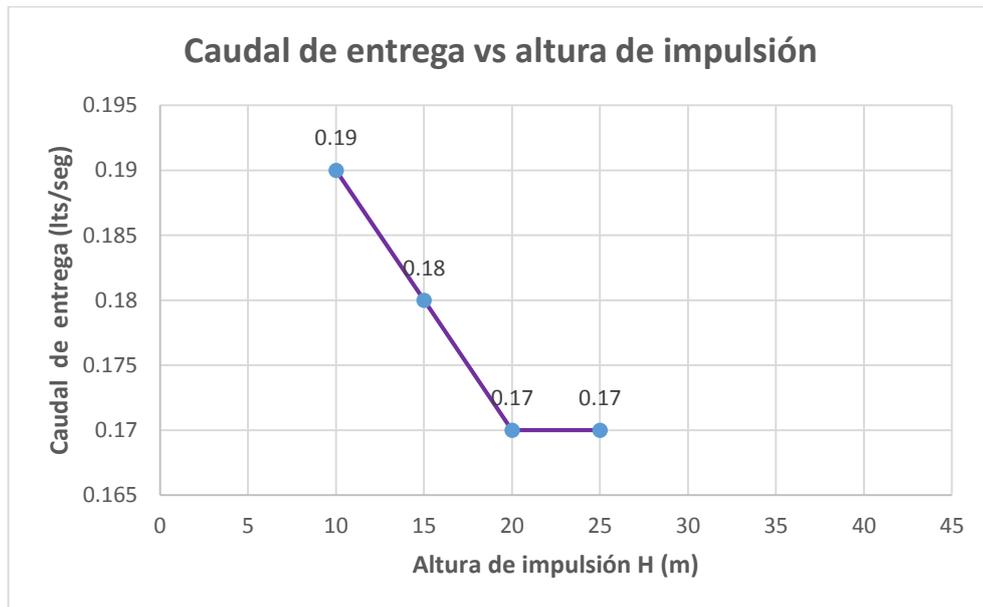
<b>Altura disponible de la captación (h) = 1 m</b>	
<b>Diámetro tubería de alimentación (<math>\phi</math>) = 1 plg</b>	
<b>Altura de impulsión</b>	<b>Caudal de entrega</b>
<b>H (m)</b>	<b>Q (lts/seg)</b>
10	0.19
15	0.18
20	0.17
25	0.17
30	
35	
40	

Fuente: Elaboración propia

La tabla 27, muestra que el caudal que se presentan a diferentes alturas de impulsión 10, 15, 20 y 25 m, no son apropiadas para la cumplir con la demanda de agua que necesita la comunidad de Anansaya del Distrito de Nicasio.

Gráfica 9.

Caudal de entrega vs altura de impulsión para  $h=1\text{m}$  y  $\varphi=1\text{plg}$



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 9, se muestra los resultados del caudal de entrega en función de la altura de entrega para un diámetro de tubería de alimentación de 1 pulg con una altura disponible de 1 m. En este grafico se puede apreciar que el caudal de entrega disminuye y permanece constante a un incremento de la altura de impulsión de 20 y 25 m. Esto se debe a la acción de la altura de impulsión que hace que el agua de la tubería de impulso sea puesta en reposo una vez que se produce el cierre de la válvula de impulso (válvula de retención o válvula check), este incremento de altura de impulsión de 20 y 25 m mantienen caudales constantes de 0.17 lts/seg, que nos indica que la fuerzas del golpe de ariete se redujeron, no se midieron caudales a mayor altura debido al comportamiento de la fuerzas de golpe de ariete que se mantienen constantes a medida que siga subiendo la altura de impulsión.

#### 4.3.2. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA ALTURA DISPONIBLE DE CAPTACION.

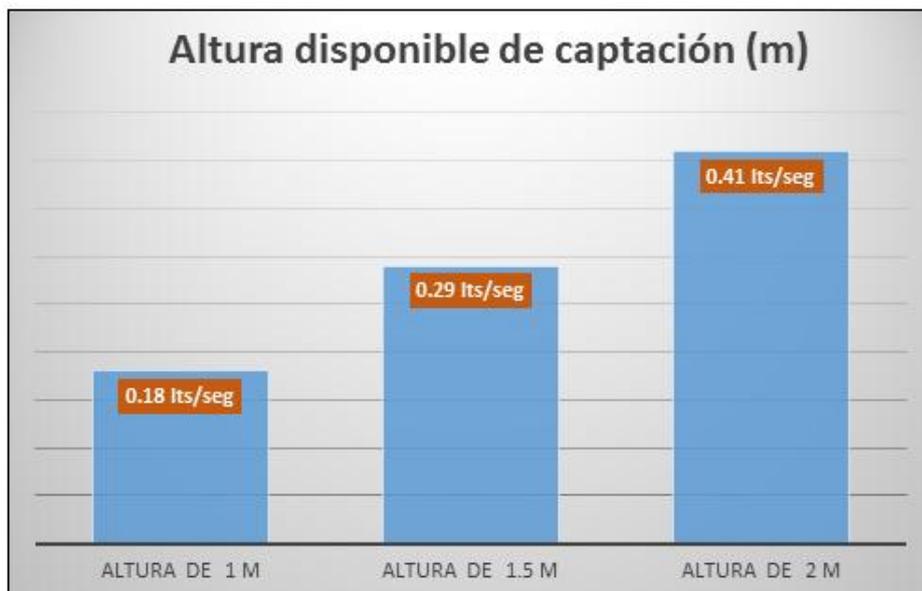
Según la tabla 28, se puede apreciar que para una altura de impulsión de 25 m y un diámetro de tubería de alimentación de 2 plg desde la captación hacia la bomba de ariete, con un caudal requerido de 0.41 lts/seg para la demanda de agua en la comunidad de Anansaya, la altura de la tubería de alimentación más adecuado es de 2 m.

Tabla 28.  
*Altura disponible de captación*

<b>Altura de impulsión = 25 m</b>	
<b>Diámetro de tubería de alimentación = 2 plg</b>	
<b>Altura disponible (m)</b>	<b>Caudal (lts/seg)</b>
Altura de 1 m	0.18
Altura de 1.5 m	0.29
Altura de 2 m	0.41

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 10.  
*Selección de la altura disponible de captación.*



Fuente: Elaboración propia.

### 4.3.3. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DEL DIAMETRO DE TUBERIA DE ALIMENTACION.

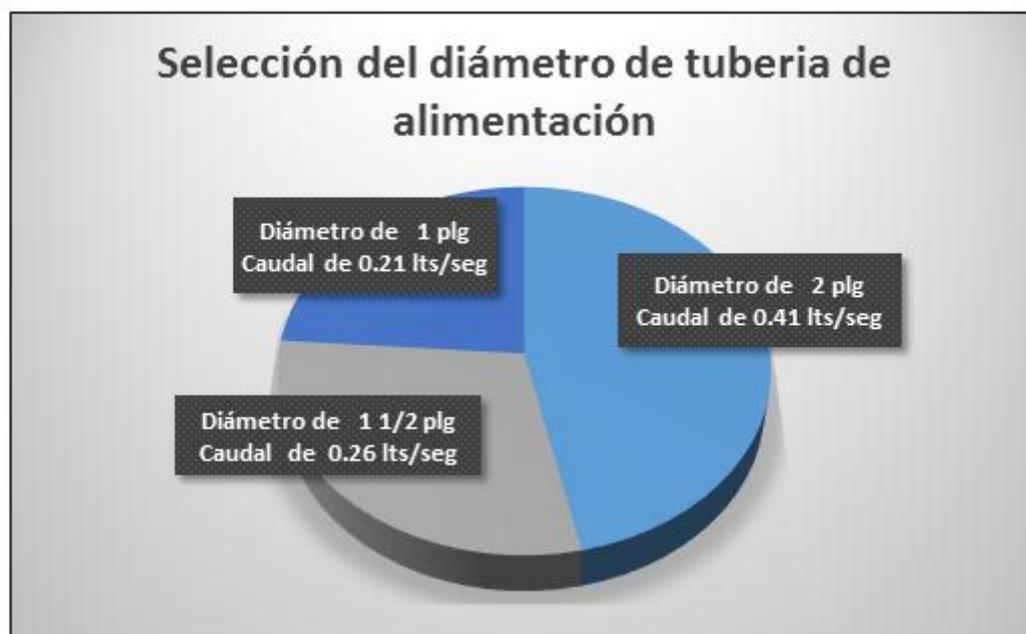
Según la tabla 29, se puede apreciar que para una altura de impulsión de 25m y con el caudal de 0.41 lts/seg requerido para la demanda de agua en la comunidad de Anansaya el diámetro de la tubería de tubería de alimentación más adecuado es el de 2 plg.

Tabla 29.  
*Diámetro de tubería de alimentación*

<b>Altura disponible de la captación</b>	<b>= 2 m</b>
<b>Altura de impulsión</b>	<b>= 25 m</b>
<b>Diámetro de tubería de alimentación</b>	<b>Caudal (lts/seg)</b>
Diámetro de 2 plg	0.41
Diámetro de 1 1/2 plg	0.26
Diámetro de 1 plg	0.21

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 11.  
*Selección del diámetro de tubería de alimentación.*



Fuente: Elaboración propia

#### 4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la tabla 30 mostramos los valores de caudal obtenidos en las diferentes pruebas realizadas, para hacer un análisis con respecto al caudal requerido para satisfacer la demanda de la comunidad de Anansaya, caudal de que fue calculado gracias a los factores de dotación para poblaciones rurales recomendados por OMS y FONDO PERU ALEMANIA, y periodos de diseño establecidos por DIGESA.

El caudal requerido para satisfacer las necesidades de la comunidad de Anansaya del Distrito de Nicasio es de 0.41 lts/seg o se podrían optar por valores superiores, después de un riguroso análisis se seleccionó la altura disponible de la captación más adecuada que es de 2 m porque solo a esta altura se encuentran caudales satisfactorios a diferentes diámetros de tubería de alimentación y diferentes alturas de impulsión.

Por lo tanto se concluye gracias a los resultados obtenidos en las diferentes pruebas experimentales del sistema de impulsión por golpe de ariete hidráulico que el diámetro de tubería de alimentación  $\Phi = 1$  plg pasaría a ser obviado porque no satisface el caudal requerido para la comunidad de Anansaya, en las pruebas con el diámetro de tubería de alimentación  $\Phi = 1 \frac{1}{2}$  plg se encuentran valores de 0.45 y 0.41 lts/seg caudales requeridos, pero por la baja altura de impulsión de 10 y 15 metros quedan obviadas; por otro lado, las pruebas con el diámetro de tubería de alimentación  $\Phi = 2$  plg tiene de valores óptimos de caudal requerido de 0.43 y 0.41 lts/seg y alturas de impulsión de 20 y 25 m adecuados para el diseño, finalmente se concluye que los valores de caudal requerido y altura de impulsión más óptimos son de 0.41 lts/seg y 25 m.

Tabla 30.  
 Valores de caudal de entrega con respecto al caudal  
 requerido.

Altura disponible de la captación = 2 m				
Díámetro de tubería de alimentación	Altura de impulsión (m)	valor del caudal requerido	Caudal (lts/seg)	Condición
$\phi = 2$ plg	10	<b>Q&gt;0.41</b>	<b>0.51</b>	<b>Si cumple</b>
	15		<b>0.46</b>	<b>Si cumple</b>
	20		<b>0.43</b>	<b>Si cumple</b>
	25		<b>0.41</b>	<b>Si cumple</b>
	30		0.35	No cumple
	35		0.31	No cumple
	40		0.29	No cumple
$\phi = 1\ 1/2$ plg	10	<b>Q&gt;0.41</b>	0.45	<b>Si cumple</b>
	15		0.41	<b>Si cumple</b>
	20		0.33	No cumple
	25		0.26	No cumple
	30		0.24	No cumple
	35		0.22	No cumple
	40		0.21	No cumple
$\phi = 1$ plg	10	<b>Q&gt;0.41</b>	0.38	No cumple
	15		0.30	No cumple
	20		0.26	No cumple
	25		0.21	No cumple
	30		0.19	No cumple
	35		0.18	No cumple
	40		0.17	No cumple

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO MEDIANTE REGRESION LINEAL Y VARIANZA

##### 4.5.1. EFECTOS ESTIMADOS PARA CAUDAL DE ENTREGA

Tabla 31.  
*Efectos estimados para caudal de entrega lts/seg*

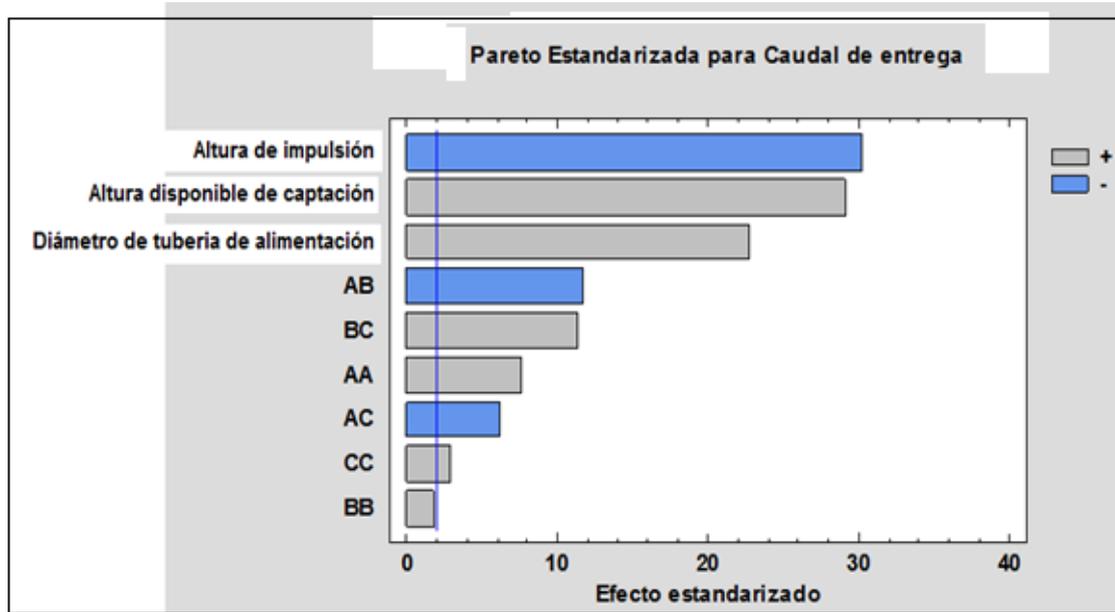
<b>Efecto</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error Estd.</b>	<b>V.I.F</b>
<b>Promedio</b>	0.223016	0.00432546	
<b>A:Altura de impulsión</b>	-0.155952	0.00515629	1.0
<b>B:Altura disponible de captación</b>	0.122381	0.00421009	1.0
<b>C:Diámetro tubería de alimentación</b>	0.0957143	0.00421009	1.0
<b>AA</b>	0.0678571	0.00893095	1.0
<b>AB</b>	-0.0739286	0.00631514	1.0
<b>AC</b>	-0.0389286	0.00631514	1.0
<b>BB</b>	0.0128571	0.00729209	1.0
<b>BC</b>	0.0585714	0.00515629	1.0
<b>CC</b>	0.0214286	0.00729209	1.0

Fuente: Statgraphics centurión XVII

Errores estándar basados en el error total con 53 g.l.

En la tabla 31. Se muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.0. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos. Para graficar los estimados en orden decreciente de importancia, seleccione Diagrama de Pareto de la lista de Opciones Gráficas. Para probar la significancia estadística de los efectos, seleccione Tabla ANOVA de la lista de Opciones Tabulares. Puede retirar efectos significativos pulsando el botón secundario del ratón, seleccionando Opciones de Análisis, y pulsando el botón de Excluir.

Gráfica 12.  
Parapeto estandarizado para caudal de entrega



Fuente: Statgraphics centurión XVII

Tabla 32.  
Análisis de varianza para caudal de entrega

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>A:Altura de impulsión</b>	0.170248	1	0.170248	914.77	0.0000
<b>B:Altura disponible de captación</b>	0.15726	1	0.15726	844.98	0.0000
<b>C:Diámetro tubería de alimentación</b>	0.0961929	1	0.0961929	516.86	0.0000
AA	0.010744	1	0.010744	57.73	0.0000
AB	0.0255054	1	0.0255054	137.04	0.0000
AC	0.00707202	1	0.00707202	38.00	0.0000
BB	0.000578571	1	0.000578571	3.11	0.0836
BC	0.0240143	1	0.0240143	129.03	0.0000
CC	0.00160714	1	0.00160714	8.64	0.0049
<b>Error total</b>	0.00986389	53	0.000186111		
<b>Total (corr.)</b>	0.503086	62			

Fuente: Statgraphics centurión XVII

R-cuadrada = 98.0393 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 97.7064 por ciento

Error estándar del est. = 0.0136423

Error absoluto medio = 0.00887125

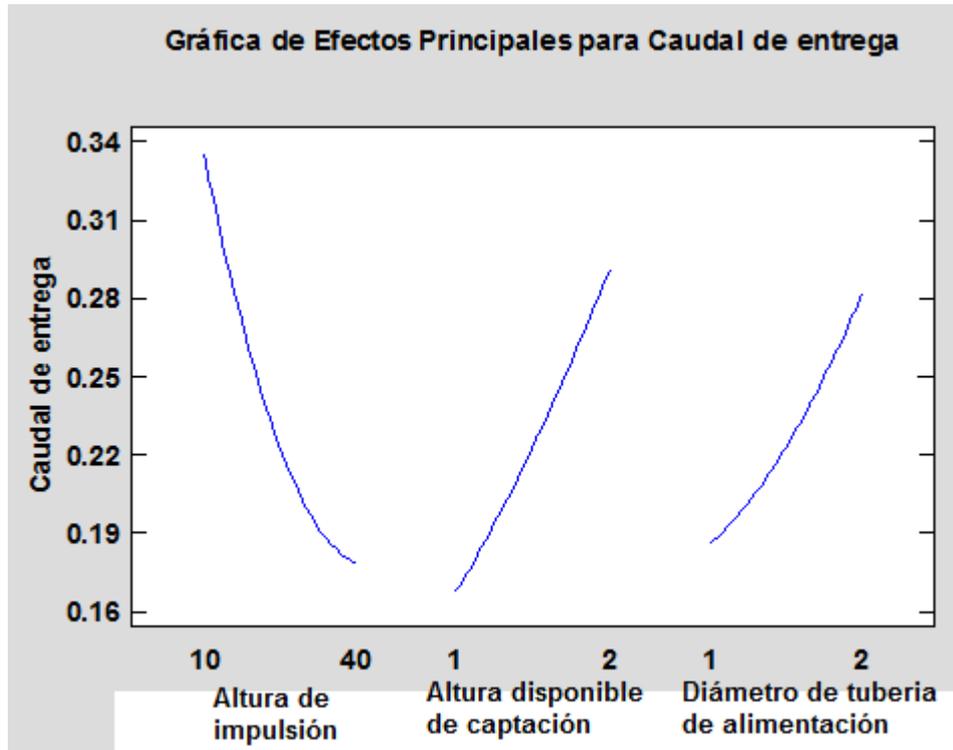
Estadístico Durbin-Watson = 1.16331 (P=0.0000)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.349215

La tabla 32. ANOVA particiona la variabilidad de Caudal de entrega en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 8 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 98.0393% de la variabilidad en Caudal de entrega. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 97.7064%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.0136423. El error medio absoluto (MAE) de 0.00887125 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Debido a que el valor-P es menor que 5.0%, hay una indicación de posible correlación serial al nivel de significancia del 5.0%. Grafique los residuos versus el orden de fila para ver si hay algún patrón que pueda detectarse.

Gráfica 13.  
Efectos para caudal de entrega



Fuente: Statgraphics centurión XVII

#### 4.5.2. COEFICIENTES DE REGRESION LINEAL

Tabla 33.  
Coeficientes de regresión para caudal de entrega

<i>Coefficiente</i>	<i>Estimado</i>
constante	0.255794
<b>A:Altura de impulsión</b>	-0.00145238
<b>B:Altura disponible de captación</b>	-0.0072619
<b>C:Diámetro tubería de alimentación</b>	-0.14369
AA	0.000150794
AB	-0.00492857
AC	-0.00259524
BB	0.0257143
BC	0.117143
CC	0.0428571

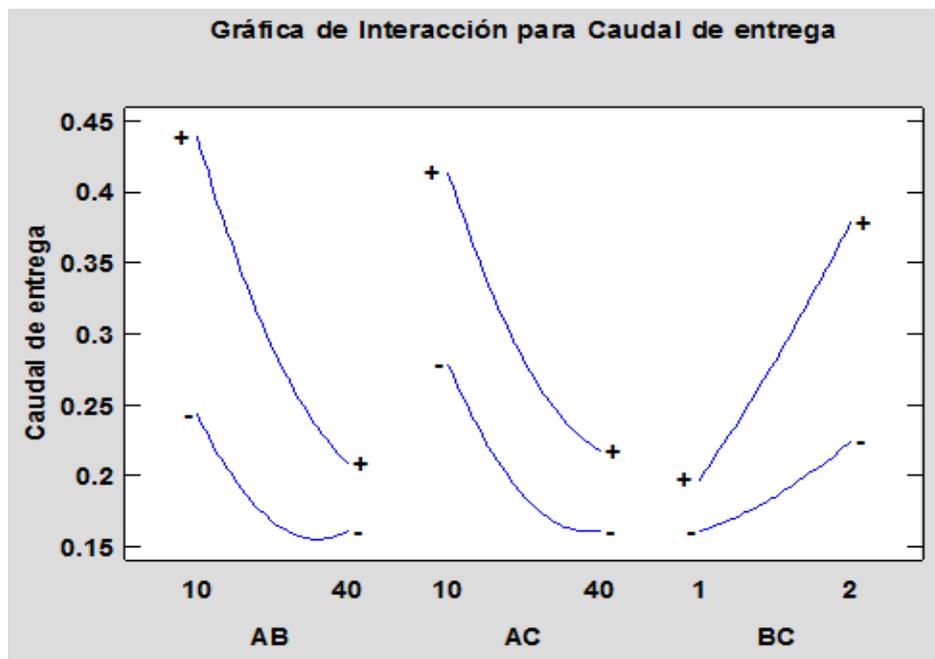
Fuente: Statgraphics centurión XVII

Con los datos de la Tabla 33. Se despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Caudal de entrega} = 0.255794 - 0.00145238 * \text{Altura de impulsión} - 0.0072619 * \text{Altura disponible de captación} - 0.14369 * \text{Diámetro tubería de alimentación} + 0.000150794 * \text{Altura de impulsión}^2 - 0.00492857 * \text{Altura de impulsión} * \text{Altura disponible de captación} - 0.00259524 * \text{Altura de impulsión} * \text{Diámetro tubería de alimentación} + 0.0257143 * \text{Altura disponible de captación}^2 + 0.117143 * \text{Altura disponible de captación} * \text{Diámetro tubería de alimentación} + 0.0428571 * \text{Diámetro tubería de alimentación}^2$$

En donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccione Predicciones de la lista de Opciones Tabulares. Para graficar la función, seleccione Gráficas de Respuesta de la lista de Opciones.

Gráfica 14.  
*Interacción caudal de entrega*



Fuente: Statgraphics centurión XVII

### 4.5.3. MATRIZ DE CORRELACION DE EFECTOS ESTIMADOS

Tabla 34.

*Correlación para los efectos estimados*

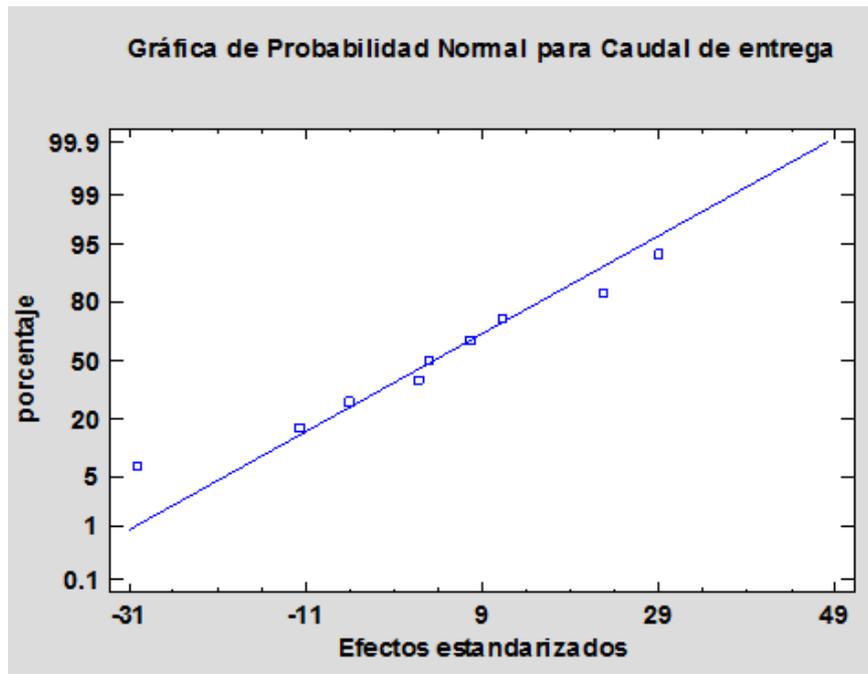
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
(1)	Promedio	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.4588	0.0000	0.0000	-0.5620
(2)	A:Altura de impulsión	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
(3)	B:Altura disponible de captación	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
(4)	C:Diámetro tubería de alimentación	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
(5)	AA	-0.4588	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
(6)	AB	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000
(7)	AC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000
(8)	BB	-0.5620	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
(9)	BC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
(10)	CC	-0.5620	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

	(9)	(10)
(1)	0.0000	-0.5620
(2)	0.0000	0.0000
(3)	0.0000	0.0000
(4)	0.0000	0.0000
(5)	0.0000	0.0000
(6)	0.0000	0.0000
(7)	0.0000	0.0000
(8)	0.0000	0.0000
(9)	1.0000	0.0000
(10)	0.0000	1.0000

Fuente: Statgraphics centurión XVII

En la Tabla 34. Se presenta la matriz de correlación que muestra el grado de confusión entre los efectos. Un diseño perfectamente ortogonal mostrará una matriz diagonal con 1's en la diagonal y 0's fuera de ella. Cualquier término distinto de cero implica que los estimados de los efectos correspondientes a esa fila y columna estarán correlacionados. En este caso, no hay correlación entre ninguno de los efectos. Esto significa que se obtendrán estimados **'limpios'** para todos esos efectos.

Gráfica 15.  
*Probabilidad normal para caudal de entrega*



Fuente: Statgraphics centurión XVII

#### 4.5.4. ESTIMACION DE CAUDALES DE ENTREGA

Tabla 35.  
*Resultados estimados para caudal de entrega*

Fila	Observados Valores	Ajustados Valores	Inferior 95.0% para Media	Superior 95.0% para Media
1	0.51	0.546825	0.532064	0.561586
2	0.46	0.483175	0.471612	0.494738
3	0.43	0.427063	0.416721	0.437406
4	0.41	0.378492	0.368392	0.388592
5	0.35	0.33746	0.327118	0.347803
6	0.31	0.303968	0.292405	0.315531
7	0.29	0.278016	0.263255	0.292777
8	0.45	0.439504	0.427214	0.451794
9	0.41	0.382341	0.3729	0.391782
10	0.33	0.332718	0.324014	0.341423
11	0.26	0.290635	0.281959	0.299311
12	0.24	0.256091	0.247387	0.264796
13	0.22	0.229087	0.219646	0.238528
14	0.21	0.209623	0.197333	0.221913
15	0.38	0.353611	0.33885	0.368372
16	0.3	0.302937	0.291374	0.314499

<b>17</b>	0.26	0.259802	0.249459	0.270144
<b>18</b>	0.21	0.224206	0.214106	0.234306
<b>19</b>	0.19	0.196151	0.185809	0.206493
<b>20</b>	0.18	0.175635	0.164072	0.187198
<b>21</b>	0.17	0.162659	0.147898	0.17742
<b>22</b>	0.42	0.412956	0.400667	0.425246
<b>23</b>	0.38	0.361627	0.352186	0.371068
<b>24</b>	0.32	0.317837	0.309133	0.326542
<b>25</b>	0.29	0.281587	0.272912	0.290263
<b>26</b>	0.26	0.252877	0.244173	0.261581
<b>27</b>	0.21	0.231706	0.222265	0.241147
<b>28</b>	0.21	0.218075	0.205786	0.230365
<b>29</b>	0.34	0.334921	0.324389	0.345453
<b>30</b>	0.27	0.290079	0.281635	0.298524
<b>31</b>	0.25	0.252778	0.244333	0.261222
<b>32</b>	0.23	0.223016	0.21434	0.231692
<b>33</b>	0.2	0.200794	0.192349	0.209238
<b>34</b>	0.19	0.186111	0.177667	0.194556
<b>35</b>	0.18	0.178968	0.168436	0.1895
<b>36</b>	0.28	0.278313	0.266024	0.290603
<b>37</b>	0.24	0.23996	0.230519	0.249401
<b>38</b>	0.21	0.209147	0.200443	0.217851
<b>39</b>	0.18	0.185873	0.177197	0.194549
<b>40</b>	0.17	0.170139	0.161435	0.178843
<b>41</b>	0.16	0.161944	0.152503	0.171386
<b>42</b>	0.16	0.16129	0.149	0.173579
<b>43</b>	0.29	0.291944	0.277184	0.306705
<b>44</b>	0.26	0.252937	0.241374	0.264499
<b>45</b>	0.23	0.221468	0.211126	0.23181
<b>46</b>	0.18	0.19754	0.18744	0.20764
<b>47</b>	0.17	0.181151	0.170809	0.191493
<b>48</b>	0.17	0.172302	0.160739	0.183865
<b>49</b>	0.17	0.170992	0.156231	0.185753
<b>50</b>	0.25	0.243194	0.230905	0.255484
<b>51</b>	0.22	0.210675	0.201233	0.220116
<b>52</b>	0.19	0.185694	0.17699	0.194399
<b>53</b>	0.17	0.168254	0.159578	0.17693
<b>54</b>	0.16	0.158353	0.149649	0.167057
<b>55</b>	0.16	0.155992	0.146551	0.165433
<b>56</b>	0.16	0.161171	0.148881	0.17346
<b>57</b>	0.19	0.215873	0.201112	0.230634
<b>58</b>	0.18	0.189841	0.178278	0.201404
<b>59</b>	0.17	0.171349	0.161007	0.181691
<b>60</b>	0.17	0.160397	0.150297	0.170497
<b>61</b>	0.17	0.156984	0.146642	0.167326
<b>62</b>	0.17	0.161111	0.149548	0.172674
<b>63</b>	0.17	0.172778	0.158017	0.187539

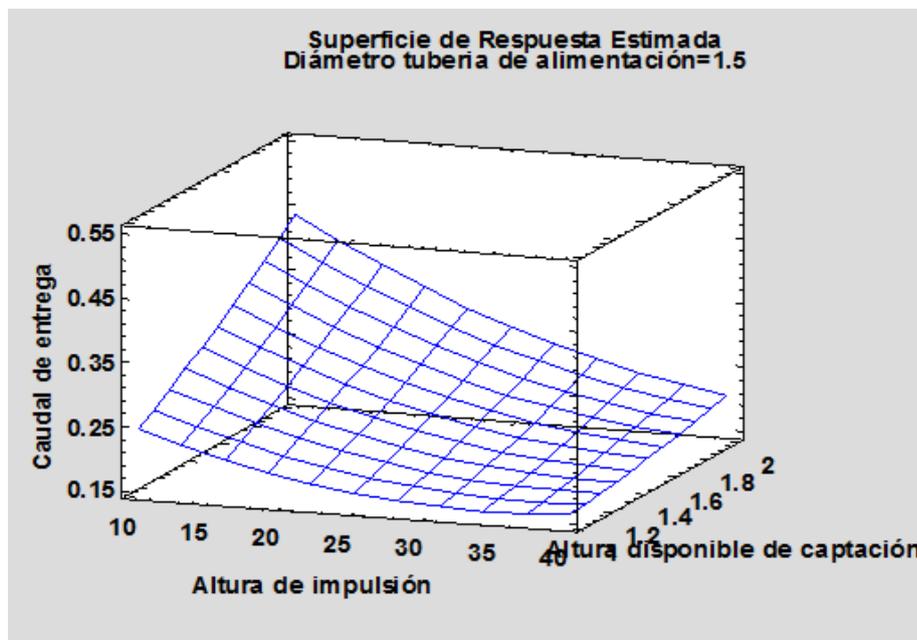
Fuente: Statgraphics centurión XVII

Esta tabla 35. Contiene información acerca de los valores de **Caudal de entrega** generados usando el modelo ajustado. La tabla incluye:

- (1) los valores observados de **Caudal de entrega** (si alguno).
- (2) el valor predicho de **Caudal de entrega** usando el modelo ajustado.
- (3) intervalos de confianza del 95.0% para la respuesta media.

Cada ítem corresponde a los valores de los factores experimentales en una fila específica de su archivo de datos. Para generar pronósticos para las combinaciones adicionales de los factores, agregue filas al final su archivo de datos. En cada nueva fila, introduzca valores para los factores experimentales pero deje vacía la celda para la respuesta. Cuando regrese a esta ventana, se habrán agregado pronósticos a la tabla para las nuevas filas pero el modelo no se verá afectado.

Gráfica 16.  
*Superficie de respuesta estimada*



Fuente: Statgraphics centurión XVII

#### 4.5.5. CAMINO DE MAXIMO ASCENSO AL CAUDAL DE ENTREGA

Tabla 36.

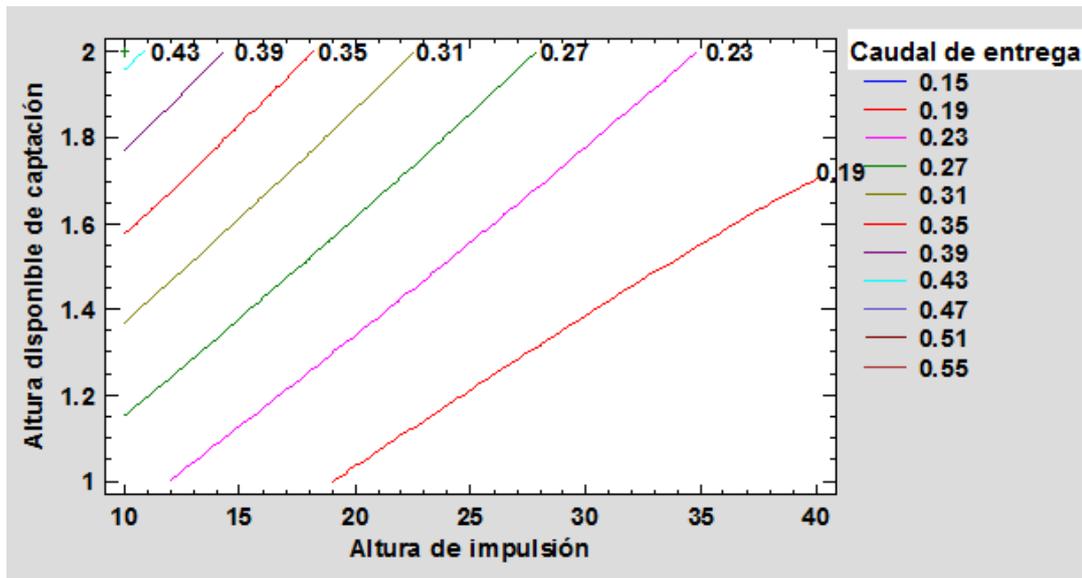
*Máximo ascenso para caudal de entrega*

<b>Altura de impulsión (m)</b>	<b>Altura disponible de captación (m)</b>	<b>Diámetro tubería de alimentación (plg)</b>	<b>Predicción para Caudal de entrega (lts/seg)</b>
25.0	1.5	1.5	0.223016
26.0	1.47353	1.47937	0.213038
27.0	1.44633	1.45835	0.203823
28.0	1.41824	1.43686	0.195377
29.0	1.38897	1.41479	0.187701
30.0	1.35809	1.39194	0.180797

Fuente: Statgraphics centurión XVII

En la Tabla 36. Esta ventana despliega el trayecto de máximo ascenso (o descenso). Este es el trayecto, desde el centro de la región experimental actual, a través del cual la respuesta estimada cambia más rápidamente con un cambio menor en los factores experimentales. Indica buenas características para ejecutar experimentos adicionales si el objetivo es incrementar o disminuir el **Caudal de entrega**. Actualmente, 6 puntos se han generado cambiando **Altura de impulsión** en incrementos de 1.0 m. Puede especificarse la cantidad de cambio en cualquiera de los factores presionando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Se determinará entonces cuanto tendrán que cambiar los otros factores para mantenerse en el trayecto del máximo ascenso. El programa también calcula la **Caudal de entrega** estimada en cada uno de los puntos del trayecto, con los cuales pueden compararse los resultados si es que se corren esos ensayos.

Gráfica 17.  
 Contornos de la superficie de respuesta estimada



Fuente: Statgraphics centurión XVII

#### 4.5.6. OPTIMIZACION DE RESPUESTA

Meta: maximizar **Caudal de entrega**

Valor óptimo = 0.546825

Tabla 37.  
 Valores máximos recomendados

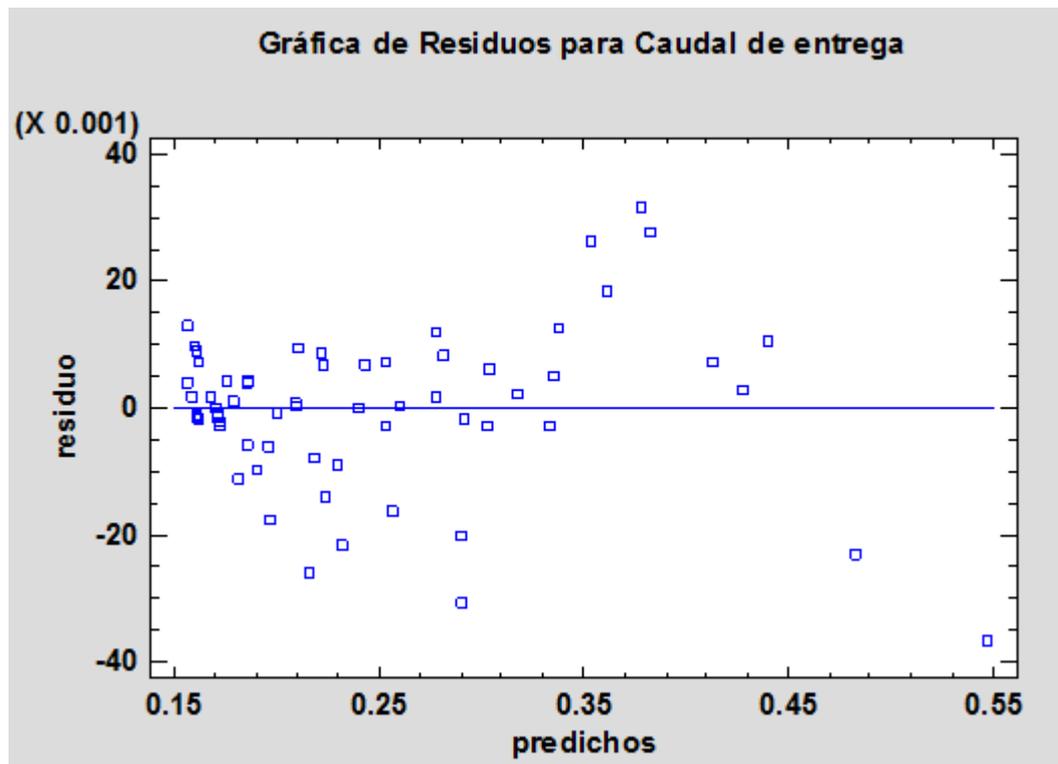
<b>Factor</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Óptimo</b>
<b>Altura de impulsión</b>	10.0	40.0	10.0
<b>Altura disponible de captación</b>	1.0	2.0	2.0
<b>Diámetro tubería de alimentación</b>	1.0	2.0	2.0

Fuente: Statgraphics centurión XVII

En la tabla 37 se muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Caudal de entrega sobre la región indicada. Use el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización.

Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

Gráfica 18.  
*Residuos para caudal de entrega*



Fuente: Statgraphics centurión XVII

#### 4.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Analizando los resultados del caudal de entrega, altura de impulsión, altura disponible de la captación y el diámetro de tubería de alimentación obtenidos a largo de la presente investigación y recopilando resultados de otros investigadores como Steve Gibson realizo trabajos en Bolivia usando un tubo propulsor de 4 plg. Con un desnivel constante de agua de 1 m dando como resultado un caudal de descarga de 17 gln/min (1.07 lts/seg) a una altura de impulsión de 20 m, en comparación con nuestros resultados

donde se necesitó un caudal máximo de 0.41 lts/seg a una altura optima de 25 m, para abastecer de agua a la comunidad de Anansaya del Distrito de Nicasio.

Otro trabajo que se realizó por Freitas y Sánchez en el año 2002 en Caracas, donde se diseñó y construyó una bomba de ariete para el suministro de agua para una comunidad agrícola, esta bomba tiene un tubo de impulso galvanizado de un 1 plg (2.54 cm.) La toma de impulso es 2.5 metros. Cinco (15) litros de agua se suministra por un minuto (0.25 lts/seg) a 16 metros arriba del lugar de la bomba de ariete. Todos sus componentes son de metal y PVC doble espesor, también realizaron ajustes del ángulo del tubo de impulso y concluyeron que a 45° lo que permite un mayor flujo de agua y la bomba de ariete aumenta su eficiencia, comparándolo con nuestro trabajo donde se trabajó con una tubería de alimentación de 1 plg y una altura disponible de 2m a una altura de impulsión de 15 m se obtuvo un caudal de 0.3 lts/seg, ensamblado de material PVC y Bronce, pero no se trabajó con un ángulo de la tubería de alimentación, por lo tanto de acuerdo a la comparación con otros trabajos de campo, podemos afirmar que los parámetros de diseño de sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico para la comunidad de Anansaya, se aproximan, por otro lado este tipo de sistemas solo se puede realizar para comunidades que tengan una pequeña cantidad de habitantes que presenten la falta de abastecimiento de agua.

## CONCLUSIONES

### **Primero**

Con el diseño del sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico, se logró determinar satisfactoriamente los valores de los parámetros de diseño de la línea de impulsión, línea de alimentación y el caudal de diseño que se requiere para la comunidad de Anansaya, que servirán para futuros proyectos de abastecimiento de agua para las 52 familias de la comunidad de Anansaya Distrito de Nicasio – Lampa – Puno.

### **Segundo**

Se determinó que el caudal máximo de entrega hacia el tanque de almacenamiento es de 0.41 lts/seg, habiendo determinado la población futura de la comunidad para 10 años por el método aritmético, se tomó como referencia la tasa de crecimiento de la Provincia de Lampa, porque según los datos obtenidos del INEI la población del Distrito de Nicasio está decreciendo desde el año 2000 al 2015.

### **Tercero**

Gracias a las pruebas realizadas en el sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico se determinó que la altura de impulsión máxima es de 25 m, puesto que la comunidad se encuentra a 3855 msnm, la fuente de captación está a 3850 msnm, y el tanque de almacenamiento está ubicado a 3875 msnm, porque a esta altura se entrega un caudal de 0.41 lts/seg que satisface la necesidad de consumo de los habitantes de la comunidad de Anansaya.

#### **Cuarto**

La altura disponible de captación más óptima es de 2 m, desnivel entre el punto de instalación de la bomba de ariete y el tanque de captación (tanque de suministro), a menores alturas disponibles se reducen los efectos de las fuerzas de golpe de ariete reduciendo así el caudal de entrega, según las pruebas realizadas a 1.5m de altura disponible de captación el caudal requerido de 0.41 lts/seg alcanza una altura de impulsión de 10 m, altura que no es adecuada para su distribución a la población de la comunidad de Anansaya.

#### **Quinto**

El diámetro de tubería de alimentación más óptimo en el sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico es de 2 plg ya que transporta mayor caudal de agua y aumenta las fuerzas físicas del golpe de ariete.

## **RECOMENDACIONES**

### **Primero**

Cuando se instala un ariete es fundamental realizar los ensayos previos in situ con elementos que permitan determinar el consumo de agua del ariete, su presión de bombeo y la medida del agua bombeada. Esta operación es necesaria para asegurar su correcto funcionamiento y disponer de datos concretos de su instalación.

### **Segundo**

La operación del ensayo previo es fundamental, se determina el salto de agua disponible, el cual se puede establecer con manguera transparente tipo de nivel, usado comúnmente por la albañilería desde el espejo de agua hasta la base de la bomba de ariete. También se puede verificar este dato con el manómetro ubicado antes de la bomba. Así también se debe establecer el consumo de agua del ariete.

### **Tercero**

Es aconsejable colocar una válvula de cierre a la salida del dique con acoples rápidos, para evitar la pérdida de agua disponible en el dique por mantenimientos generales aguas abajo del mismo. También es necesario inspeccionar las válvulas con frecuencia, para así evitar obstrucciones significativas que repercutirán directamente en el caudal de alimentación de la bomba y su rendimiento.

### **Cuarto**

No colocar ningún tipo de cierre automático o flotador de cierre en el depósito elevado debido a que la bomba puede ocasionar una sobrepresión peligrosa.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguero, P. (1997). *Agua potable para poblaciones rurales*. Lima: Asociacion Servicios Educativoa Rurales.
- Chi, M. (2002). *Hydraulic Ram Handbook Zhejiang*. Zhejiang: University of Technology.
- DIGESA. (2009). *Normas de diseño para proyectos de abastecimiento de agua potable para poblaciones rurales*. Lima.
- Fair, M., & Charles, J. (2002). *Ingenieria sanitaria y de aguas residuales*. México D.F.: Limusa S.A.
- Fondo-Peru-Alemania. (2009). *Manual de proyectos de agua potable en poblaciones rurales*. Lima.
- Freitas, R., & Sanchez, S. (2002). *Diseño y construcción de suministro de agua para una comunidad agricola*. Caracas.
- Garcia, E. (2009). *Manual de proyectos de agua potable en poblaciones rurales*. Lima.
- INEI. (2015). *Población 2000 al 2015*. Lima.
- Magno Syllón, F. M. (2008). *Abastecimiento, diseño y construcción de sistemas de agua potable modernizando el aprendizaje y enseñanza en la asignatura de Ingenieria sanitaria I*. COCHABAMBA.
- Mataix, C. (1986). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. Mexico: Alfaomega.
- MVCS. (2004). *Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento*. Lima: Diario el Peruano.
- OMS. (2008). *Normas para proyectos de abastecimiento de agua potable para poblaciones rurales*. Ginebra.
- Ortiz, M., & Gustv, A. (2006). *El golpe de ariete en sistemas de abastecimiento de agua potable*. Guatemala.
- Paredes, M. M., & Tuquinga, R. M. (2012). *Diseño e instalacion de un sistema de bombeo mediante ariete hidraulico en la comunidad de Airón Cebadas*. Riobamba.
- Pérez, L. (2005). *Estudios de transitorios Golpe de Golpe de Ariete*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- Quispe, G. (2005). *Sistema de Abastecimiento de Agua Potable por Gravedad y Bombeo*. Oruro: Latinas Editores.
- R.N.E. (2016). *Norma OS.100 Consideraciones básicas de diseño de infraestructura sanitaria*. Lima.
- Regal, A. (2008). *Abastecimiento de agua y alcantarillado*. Lima: Ciencias S.R.L.

- Rivadeneira, S. X., & Silva, L. F. (2013). *Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico con el desarrollo de un software para su dimensionamiento*. Quito.
- Rodríguez, P. (2001). *Abastecimiento de agua*. Mexico D. F.: Civilgeeks.
- Vierendel. (2009). *Abastecimiento de agua y alcantarillado*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- W. Greene, R. (1996). *Válvulas Selección, uso y mantenimiento*. México, D. F.: Litográfica Ingramex.

# ANEXOS

## ANEXO 1. PANEL FOTOGRAFICO



**Foto 1. Accesorios para el ensamblaje de la bomba de ariete**



**Foto 2. Ajuste de válvula de pie (check)**



**Foto 3. Componentes de la bomba de ariete de 1 plg**



**Foto 4. Ensamblaje final de la bomba de ariete**



**Foto 5. Instalación de la bomba de ariete en el río Pucará**



**Foto 6. Bomba de Ariete de 2 plg**



**Foto 7. Tubería de suministro y línea de entrega**



**Foto 8. Cámara de aire**



**Foto 9. Funcionamiento del sistema de bombeo**



**Foto 10. Finalización del sistema de bombeo**

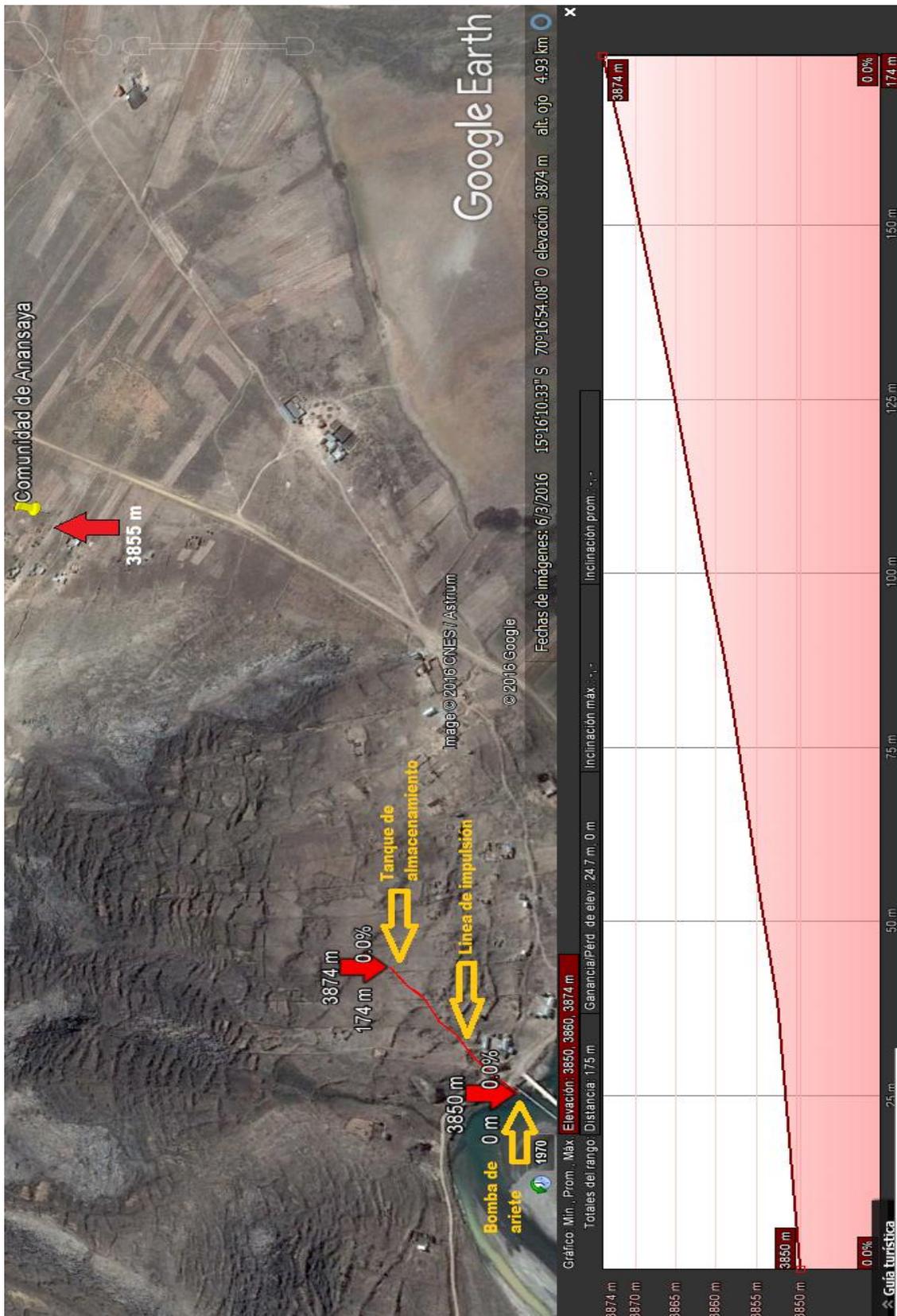
## ANEXO 2. FICHAS DE RECOLECCION DE DATOS EN CAMPO

Tabla Nro..... Control del tiempo de llenado del envase para diferentes alturas de impulsión, diámetro de tubería de alimentación y altura disponible de captación

Altura disponible de la captación (m) =.....								
Volumen de recipiente de muestreo (lts)=.....								
Fecha	Diámetro de tubería de alimentación	Numero de muestra	Altura de impulsión (m)	Tiempo (T1) (seg)	Tiempo (T2) (seg)	Tiempo (T3) (seg)	Tiempo Promedio (seg)	Caudal (lt/seg)
	<b>2 plg</b>	M - 01	10					
		M - 02	15					
		M - 03	20					
		M - 04	25					
		M - 05	30					
		M - 06	35					
		M - 07	40					
	<b>1 1/2 plg</b>	M - 01	10					
		M - 02	15					
		M - 03	20					
		M - 04	25					
		M - 05	30					
		M - 06	35					
		M - 07	40					
	<b>1 plg</b>	M - 01	10					
		M - 02	15					
		M - 03	20					
		M - 04	25					
		M - 05	30					
		M - 06	35					
		M - 07	40					

Fuente: Elaboración propia

### ANEXO 3. UBICACIÓN DE SISTEMA DE INSTALACIÓN



### ANEXO 4. MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL PROYECTO DE TESIS

**TITULO "DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA MEDIANTE IMPULSIÓN POR GOLPE DE ARIETE HIDRÁULICO EN LA COMUNIDAD ANANSAYA DISTRITO DE NICASIO - LAMPA - PUNO 2016"**

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSION	INDICADOR	TECNICA	VALOR
<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Será óptimo el caudal máximo entregado por la línea de impulsión al tanque de almacenamiento por el sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establecer el caudal máximo de entrega al tanque de almacenamiento por el sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El caudal máximo de entrega de la línea de impulsión al tanque de almacenamiento es el óptimo según el sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad Anansaya Distrito de Nicasio - Lampa - Puno - 2016.</li> </ul>	<p><b>Variables Dependientes (Y)</b> Caudal de entrega</p>	Caudal requerido para el abastecimiento de agua	Caudal	Ensayo en campo	lts/seg
<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Será óptima la altura de impulsión máxima para el bombeo en la línea de entrega para el sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calcular la altura de impulsión máxima para el bombeo por el sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La altura máxima de impulsión será la adecuada y óptima para la instalación del tanque de almacenamiento del sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad Anansaya Distrito de Nicasio .</li> </ul>	<p><b>Variable Independiente (X)</b></p> <p>Altura de impulsión</p>	Equipo de bombeo	Elevación	Aforo	L/seg
<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuánto será la altura disponible de captación adecuada hacia sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establecer la altura disponible de captación más adecuada hacia el sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La altura disponible de captación será el más óptimo para el sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad Anansaya Distrito de Nicasio - Lampa - Puno - 2016.</li> </ul>	<p><b>Variable Independiente (X)</b></p> <p>Altura disponible de captación</p>	Equipo de bombeo	Altura	Medición	m
<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuál será el diámetro de tubería de alimentación más óptimo para el funcionamiento hacia el sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad Anansaya Distrito de Nicasio - Lampa - 2016?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establecer el diámetro de tubería de alimentación más óptimo para el funcionamiento hacia sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad Anansaya Distrito de Nicasio - Lampa - 2016.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El diámetro de tubería de alimentación será el más óptimo para el sistema de abastecimiento de agua mediante impulsión por golpe de ariete hidráulico en la comunidad Anansaya Distrito de Nicasio - Lampa - Puno - 2016.</li> </ul>	<p><b>Variable Independiente (X)</b></p> <p>Diámetro de tubería de alimentación</p>	Equipo de bombeo	Diámetro	Medición	plg

Fuente: *Elaboración propia*