



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA DE ARIETE
HIDRÁULICO ARTESANAL CON DIÁMETRO DE UNA Y MEDIA PULGADAS**

Allan Giovanni Veliz Pérez

Asesorado por el Luis Eduardo Portillo España

Guatemala, noviembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA DE ARIETE
HIDRÁULICO ARTESANAL CON DIÁMETRO DE UNA Y MEDIA PULGADAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ALLAN GEOVANNI VÉLIZ PÉREZ

ASESORADO POR EL ING. LUIS EDUARDO PORTILLO ESPAÑA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralon
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
EXAMINADOR	Ing. Juan Ramón Ordoñez Hernández
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO ARTESANAL CON DIÁMETRO DE UNA Y MEDIA PULGADAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con 8 de noviembre de 2017.

Allan Giovanni Véliz Pérez

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS



DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 30 de mayo de 2019

Dr. Luis Manuel Sandoval Mendoza
Jefe del Departamento de Hidráulica
Facultad de Ingeniería
Estimado ingeniero:

Espero tenga éxitos en sus labores diarias. Después de revisar el trabajo de graduación del estudiante Allan Giovanni Veliz Pérez, quien se identifica con Registro Académico 2009-15181, titulado ***ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO ARTESANAL CON DIÁMETRO DE UNA Y MEDIA PULGADAS*** y haber hecho las correcciones necesarias al mismo, lo doy por aprobado y lo autorizo para continuar con el proceso correspondiente.

Sin otro particular, me despido atentamente.

“ID y Enseñad a Todos”



Ing. Luis Eduardo Portillo España
Colegiado No. 11697
Docente Departamento de Hidráulica

LUIS E. PORTILLO ESPAÑA
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 11697



Guatemala, 12 de Junio de 2019

Ingeniero

Hugo Leonel Montenegro Franco

Director Escuela de Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero

Le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado **“ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO ARTESANAL CON DIÁMETRO 1 ½ DE PULGADAS”**, desarrollado por el estudiante de ingeniería civil Allan Giovanni Pérez, quien contó con la asesoría del ingeniero Luis Eduardo Portillo España.

Considero que este trabajo está bien desarrollado y habiendo cumplido con los objetivos doy mi aprobación al mismo, solicitando darle el tramite respectivo.

Sin otro particular, me despido atentamente.



Dr C. Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
Jefe del Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC

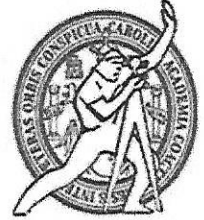




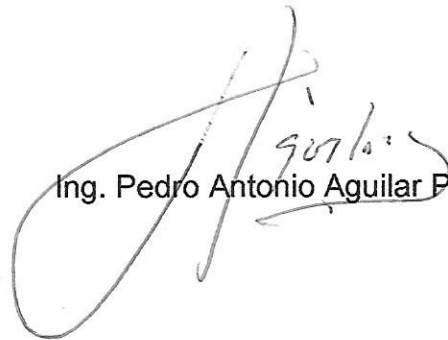
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Luis Eduardo Portillo España y Coordinador del Departamento de Hidráulica Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza al trabajo de graduación del estudiante Allan Giovanni Veliz Pérez **ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO ARTESANAL CON DIÁMETRO DE UNA Y MEDIA PULGADAS** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.



Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



Guatemala, noviembre 2019

/mrm.



Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref.DTG.598.2019

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO ARTESANAL CON DIÁMETRO DE UNA Y MEDIA PULGADAS**, presentado por el estudiante universitario: **Allan Giovanni Veliz Pérez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Inga. Aurelia Anabela Gordova Estrada
Decana

Guatemala, Noviembre de 2019

AACE/asga
cc



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por la vida que me ha regalado y por cada bendición que he recibido en ella.
Mis padres	Por enseñarme el valor de la educación y brindarme siempre su apoyo incondicional..
Mi hermana	Por ser parte importante de mi vida y por llenarla de alegrías y amor.
Mis abuelos	Por su cariño, ejemplo y lucha.
Mis primos	Por estar al pendiente siempre y alegrarse conmigo.
Mis tíos	Por su cariño.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por haberme formado como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por su formación académica.
SAE-SAP	Quienes me brindaron su apoyo y amistad.
Ing. Luis Portillo	Por su valiosa asesoría en el trabajo de graduación.
Ing Luis Sandoval	Por su apoyo técnico a mi persona.
Mantenimiento CII Laboratorio de suelos	Por su amistad.
Mis amigos	Compañeros universitarios con quienes compartí grandes momentos.
A mi novia	Por su cariño.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. GENERALIDAD DE UN ARIETE HIDRÁULICO	1
1.1. Descripción de un ariete hidráulico	1
1.2. Funcionamiento de un ariete hidráulico	2
1.3. Mantenimiento	5
1.3.1. Tarea de mantenimiento	7
1.3.2. Frecuencia de mantenimiento	8
1.4. Golpe de ariete	8
1.4.1. Efectos que produce el golpe de ariete	10
1.5. Alcance de un golpe de ariete	11
1.5.1. Condiciones a las que se adapta una bomba de ariete hidráulico	12
1.5.2. Disponibilidad de agua en la zona	12
1.5.3. Porcentaje de pendiente	12
1.5.4. Ventajas y limitantes del uso de la bomba de ariete.....	12

2.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ARIETE HIDRÁULICO DE UNA Y MEDIA PULGADAS	15
2.1.	Disposición para la construcción de un ariete hidráulico	15
2.1.1.	Diseño de ariete hidráulico	15
2.1.2.	Elección de tipo de bomba de ariete artesanal	16
2.1.3.	Sistema de conducción.....	17
2.1.4.	Deposito intermedio de alimentación	18
2.1.5.	Tubería de impulso	19
2.1.6.	Sistema de entrega	20
2.1.7.	Tubería de descarga	20
2.1.8.	Depósito de descarga.....	21
2.2.	Área de construcción y ensamble.....	21
2.2.1.	Área de construcción	21
2.2.1.1.	Aspectos a tomar en cuenta para la elección de lugar.....	22
2.2.2.	Base de concreto para ariete hidráulico.....	22
2.2.3.	Ensamble	23
2.3.	Materiales y equipo de construcción	24
2.4.	Metodología para la construcción de un ariete hidráulico artesanal de diámetro una pulgada y media	27
3.	DISPOCIONES FINALES DEL ARIETE HIDRÁULICO DE 121"	29
3.1.	Metodología de evaluación de resultados	29
3.2.	Sistema de bombeo	30
3.3.	Cálculo de altura otorgada por la bomba de ariete hidráulico.....	31
3.4.	Cálculo de caudal otorgado por la bomba de ariete hidráulico.....	33

3.5.	Curva de selección de altura de alimentación para conceder un caudal	71
3.6.	Ensayo, pérdida de fricción (f) dentro de la manguera de descarga.....	72
3.7.	Ensayo, pérdida de fricción dentro de la tubería	74
3.8.	Determinación de la presión en la entrada y en la salida de la bomba de ariete hidráulico	79
CONCLUSIONES		85
RECOMENDACIONES.....		87
BIBLIOGRAFÍA.....		89
APÉNDICES.....		91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Presión en el punto donde se cierra la válvula	2
2.	Funcionamiento de un ariete hidráulico	3
3.	Funcionamiento de un ariete hidráulico	3
4.	Funcionamiento de un ariete hidráulico	4
5.	Funcionamiento de un ariete hidráulico	5
6.	Fenómeno de golpe de ariete	9
7.	Ariete hidráulico tipo "F"	16
8.	Instalación de ariete hidráulico	17
9.	Sistema de conducción	18
10.	Ubicación de ariete hidráulico artesanal	22
11.	Base de ariete hidráulico	23
12.	Accesorios a utilizar para la fabricación de bomba de ariete tipo artesanal	25
13.	Ubicación laboratorio de hidráulica	30
14.	Estructura y sistema de bombeo utilizado para ensayos de ariete hidráulico tipo artesanal ubicado en edificio T-5	31
15.	Dato tomado a una (altura del tanque 1,05 m)	37
16.	Caudal VS altura de descarga (altura de entrada=1,00m)	38
17.	Altura de descarga vs caudal (altura de entrada=1,00m)	39
18.	Dato tomado a una (altura del tanque 1,50 m)	48
19.	Caudal VS altura de descarga (altura de entrada=1,50m)	49
20.	Altura de descarga VS caudal (altura de entrada=1,50m)	50
21.	Dato tomado a una (altura del tanque 2,00 m)	59

22.	Caudal VS altura de descarga (altura de entrada=2,00m)	60
23.	Altura de descarga VS caudal (altura de entrada=2,00m)	61
24.	Dato tomado a una (altura del tanque 2,50 m)	68
25.	Caudal VS altura de descarga (altura de entrada=2,50m)	69
26.	Altura de descarga VS caudal (altura de entrada=2,50m)	70
27.	Curva de interpolación para selección de altura.....	72
28.	Factor de fricción F Vs energía cinética	73
29.	Factor perdida F para cada caudal, de altura menor a mayor	79
30.	Aumento de presión vs descarga – alimentación	83

TABLAS

I.	Materiales para la construcción del ariete hidráulico tipo artesanal.....	24
II.	Accesorios enlistados para de construcción para ariete hidráulico tipo artesanal	26
III.	Rango de alturas trabajadas	32
IV.	Condiciones hidráulicas	32
V.	toma de tiempo	33
VI.	Toma de caudal otorgado	34
VII.	Tiempo tomado en aforo	34
VIII.	Caudales calculados.....	35
IX.	Tiempo tomado en aforo	35
X.	Caudales calculados.....	35
XI.	Tiempo tomado en aforo	36
XII.	Caudales calculados.....	36
XIII.	Resumen de caudales tomados He(m):1,00m	38
XIV.	Tiempo tomado en aforo	39
XV.	Caudales calculados.....	40
XVI.	Tiempo tomado en aforo	40

XVII.	Caudales calculados	40
XVIII.	Tiempo tomado en aforo	41
XIX.	Caudales calculados	41
XX.	Tiempo tomado en aforo	42
XXI.	Caudales calculados	42
XXII.	Tiempo tomado en aforo	42
XXIII.	Caudales calculados	43
XXIV.	Tiempo tomado en aforo	43
XXV.	Caudales calculados	43
XXVI.	Tiempo tomado en aforo	44
XXVII.	Caudales calculados	44
XXVIII.	Tiempo tomado en aforo	45
XXIX.	Caudales calculados	45
XXX.	Tiempo tomado en aforo	45
XXXI.	Caudales calculados	46
XXXII.	Tiempo tomado en aforo	46
XXXIII.	Caudales calculados	46
XXXIV.	Tiempo tomado en aforo	47
XXXV.	Caudales calculados	47
XXXVI.	Resumen de caudales tomados He(m):1.50m	49
XXXVII.	Tiempo tomado en aforo	50
XXXVIII.	Caudales calculados	51
XXXIX.	Tiempo tomado en aforo	51
XL.	Caudales calculados	51
XLI.	Tiempo tomado en aforo	52
XLII.	Caudales calculados	52
XLIII.	Tiempo tomado en aforo	53
XLIV.	Caudales calculados	53
XLV.	Tiempo tomado en aforo	53

XLVI.	Caudales calculados.....	54
XLVII.	Tiempo tomado en aforo.....	54
XLVIII.	Caudales calculados.....	54
XLIX.	Tiempo tomado en aforo.....	55
L.	Caudales calculados.....	55
LI.	Tiempo tomado en aforo.....	56
LII.	Caudales calculados.....	56
LIII.	Tiempo tomado en aforo.....	56
LIV.	Caudales calculados.....	57
LV.	Tiempo tomado en aforo.....	57
LVI.	Caudales calculados.....	57
LVII.	Tiempo tomado en aforo.....	58
LVIII.	Caudales calculados.....	58
LIX.	Resumen de caudales tomados He(m):2.00m	60
LX.	Tiempo tomado en aforo.....	61
LXI.	Caudales calculados.....	62
LXII.	Tiempo tomado en aforo.....	62
LXIII.	Caudales calculados.....	62
LXIV.	Tiempo tomado en aforo.....	63
LXV.	Caudales calculados.....	63
LXVI.	Tiempo tomado en aforo.....	64
LXVII.	Caudales calculados.....	64
LXVIII.	Tiempo tomado en aforo.....	64
LXIX.	Caudales calculados.....	65
LXX.	Tiempo tomado en aforo.....	65
LXXI.	Caudales calculados.....	65
LXXII.	Tiempo tomado en aforo.....	66
LXXIII.	Caudales calculados.....	66
LXXIV.	Tiempo tomado en aforo.....	67

LXXV.	Caudales calculados	67
LXXVI.	Tiempo tomado en aforo	67
LXXVII.	Caudales calculados	68
LXXVIII.	Resumen de caudales tomados He(m):2,50m	69
LXXIX.	Resumen altura de descarga VS caudal	70
LXXX.	Longitud y diámetro de manguera	73
LXXXI.	Factor fricción (f) de manguera long. 2,00m	73
LXXXII.	Tiempo de pérdidas con válvula abierta 3 vueltas	74
LXXXIII.	Caudales otorgados con válvula abierta 3 vueltas.....	75
LXXXIV.	Tiempo de pérdidas con válvula abierta 2.5 vueltas	75
LXXXV.	Caudales otorgados con válvula abierta 2,5 vueltas.....	75
LXXXVI.	Tiempo de pérdidas con válvula abierta 2,0 vueltas	75
LXXXVII.	Caudales otorgados con válvula abierta 2,0 vueltas.....	76
LXXXVIII.	Tiempo de pérdidas con válvula abierta 1,5 vueltas	76
LXXXIX.	Caudales otorgados con válvula abierta1,5 vueltas.....	76
XC.	Tiempo de pérdidas con válvula abierta 1,0 vueltas	76
XCI.	Caudales otorgados con válvula abierta1,0 vueltas.....	77
XCII.	Perdida del caudal por fricción (f) en la tubería de descarga altura 1,5m.....	77
XCIII.	Perdida del caudal por fricción (f) en la tubería de descarga altura 2,00m.....	77
XCIV.	Perdida del caudal por fricción (f) en la tubería de descarga altura 2,50m.....	78
XCv.	Perdida del caudal por fricción (f) en la tubería de descarga altura 3,00m.....	78
XCVI.	Factor coeficiente de fricción.....	80
XCvII.	Presión en la salida de la bomba de ariete hidráulico H=1m	81
XCvIII.	Presión en la salida de la bomba de ariete hidráulico H=1,5m	82
XCIX.	Presión en la salida de la bomba de ariete hidráulico H=2,00m	82

C. Presión en la salida de la bomba de ariete hidráulico $H=2,50\text{m}$ 83

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
h	Altura de depósito de descarga
h_e	altura de entrada
h	altura de fuente abastecida
Q_{max}	caudal máximo
Q_{min}	caudal mínimo
q	caudal
c	Coefficiente de fricción
Ø	Diámetro
k	Energía cinética
f	factor de fricción
°	grados
g	Gravedad
l/s	litros segundos
t	longitud de tubería Long
m	Longitud de manguera Long
m³	metros cúbicos
m	metros
min	minutos
%	porcentaje
”	pulgadas
s	segundos
t	tiempo
v	Velocidad

v

Volumen

GLOSARIO

Aforo	Medir la cantidad de agua que lleva una corriente en una unidad de tiempo.
Aliviadero	Tipo de dique o presa. Su función es controlar niveles de agua en una represa.
Canal	Construcción destinada al transporte de fluidos.
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.
Caudal	Volumen de agua que circula por unidad de tiempo por un punto determinado de control.
Energía cinética	Energía de movimiento (por velocidad).
Energía de presión	Energía causada por cambios de presión.
Energía mecánica	Energía producida por una máquina.
Fluido	Cuerpo que cambia fácilmente su forma bajo la acción de fuerzas muy pequeñas. Son fluidos los

líquidos y los gases.

Flujo

Movimiento de un fluido.

Presión

Fuerza ejercida sobre una unidad de área.

Tubería

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

Volumétrico

Dícese de lo correspondiente a la medición por volumen.

RESUMEN

Una bomba de ariete hidráulico es un dispositivo que usa la energía de una caída de agua para generar potencia y poder elevar un porcentaje del agua de ingreso a una altura mayor que la altura de caída, de forma continua y automática sin ninguna otra energía externa. El objetivo del trabajo es evaluar el rendimiento del ariete hidráulico tipo artesanal 1,1/2, utilizando tubería de alimentación de PVC de 1,1/2" de diámetro y tubería de salida del mismo diámetro.

La evaluación del ariete hidráulico fue realizada en el Laboratorio de Hidráulica y Mecánica de Fluidos de ingeniería, edificio t-5 universidad de San Carlos de Guatemala. Construyendo un sistema de prueba utilizando una estructura de metal para generar diferentes alturas de caída.

La bomba de ariete tipo artesanal fue ensamblada, principalmente, con accesorios comerciales, accesorios PVC y hierro galvanizado realizando ensayos con una altura mínima de 1,0 m que va variando la altura hasta 2,5m de carga de agua, alimentada con tubería de PVC (1,1/2") y tubería de descarga PVC (1,1/2"). El agua proveniente de un tanque de 50L, al abrir la válvula el agua del tanque de almacenamiento desciende por la tubería de alimentación en una cantidad denominada caudal con elevada energía cinética, se cierra bruscamente la válvula de impulso. Esta detención repentina del flujo origina un aumento brusco o golpe de presión. Se originan sobre-presiones en sentido contrario. Por un lado, el agua pasa a través del check a la cámara de presión, comprimiendo el aire de la cámara cerrando la válvula de check y el

aire de la cámara se descomprime elevando el caudal por la tubería de bombeo hasta el depósito ubicado a la altura.

OBJETIVOS

General

Analizar el funcionamiento de un ariete hidráulico artesanal de diámetro de 1½"

Específicos

1. Determinar el caudal que es posible elevar mediante una bomba de ariete hidráulico artesanal con diámetro de 1½".
2. Determinar la eficiencia energética en el aumento de la carga de presión de una bomba de ariete hidráulico artesanal con diámetro de 1½".
3. Determinar la relación que existe entre la altura de la fuente de abastecimiento y la altura de la descarga.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la demanda de agua en Guatemala es un problema tanto en comunidades sub-urbanas como en el área rural, máximo donde no existe red eléctrica, la cual es necesario para el uso de un sistema de bombeo. Considerando lo anterior, se propone el uso de mecanismos sencillos de gran confiabilidad, funcionamiento, bajo costo de construcción y que no requieren de un programa complejo de mantenimiento, haciendo uso de sistemas energéticos que aprovechen la energía potencial del agua.

El ariete hidráulico es un dispositivo que bombea agua y que no utiliza energía eléctrica ni ningún tipo de combustible, ya que trabaja con el principio de golpe de ariete aprovechando la topografía de la región.

Este dispositivo es muy económico en la fabricación y en su funcionamiento porque puede construirse con accesorios de tubería. Una vez puesto en operación requiere solo de inspección periódica, ya que el ariete hidráulico es automático; además, puede bombear en un periodo de tiempo indefinido.

Con la realización de esta tesis se pretende dar a conocer y fomentar el uso de la bomba de ariete como un sistema alternativo para el transporte de agua.

1. GENERALIDAD DE UN ARIETE HIDRÁULICO

1.1. Descripción de un ariete hidráulico

El golpe de ariete o “wáter hammer” puede definirse como el fenómeno hidráulico ocasionado por rápidas fluctuaciones en el flujo debido a la interrupción o inicio súbito 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.

Se puede identificar a este fenómeno como un proceso oscilatorio caracterizado por ondas de presión de gran magnitud al momento de interrumpir o iniciar el flujo dentro de una tubería, las cuales decrecen en el tiempo hasta que la tubería en la que se generó el golpe logra absorber la energía del impacto y se estabiliza la presión en el conducto. Es un fenómeno transitorio.

La presión que se produce cuando ocurre un golpe de ariete es presión dinámica (debida al movimiento del fluido).

Figura 1. Presión en el punto donde se cierra la válvula



Fuente: *Presión en el punto donde se cierra la válvula.*

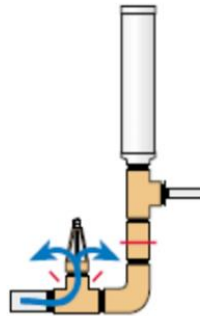
<https://www.bombadearietehidraulico.com/2018/02/que-es-el-golpe-de-ariete-o-golpe-de.html>.

Consulta: 20 de mayo de 2019.

1.2. Funcionamiento de un ariete hidráulico

En un principio, la válvula anti-retorno (*check* de fondo) se encuentra abierta como consecuencia del propio peso que la mantiene en esa posición, mientras que la válvula de descarga se encuentra cerrada desde la fuente de suministro. El agua fluye por la tubería de alimentación, mientras va adquiriendo una aceleración, atravesando el cuerpo del ariete y escapando a través de la válvula anti-retorno (*check* de fondo).

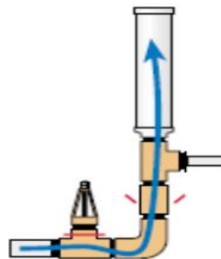
Figura 2. **Funcionamiento de un ariete hidráulico**



Fuente: TRIANA SALGADO, Daniel Ricardo. *Funcionamiento del ariete hidráulico*. p. 8.

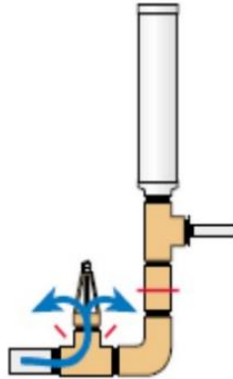
A medida que acontece un pequeño periodo de tiempo el agua que circula por la tubería de alimentación, alcanza la aceleración suficiente para que la presión dinámica del fluido actúe sobre la válvula anti-retorno (*check* de fondo), venciendo su propio peso y de esta manera cerrándola. Esta interrupción del flujo de agua produce una sobrepresión instantánea de gran empuje, conocida como golpe de ariete, que obliga a abrir la válvula *check*, entrando el flujo de agua hacia la cámara de presión, comprimiendo el aire que ahí se encuentra.

Figura 3. **Funcionamiento de un ariete hidráulico**



Fuente: TRIANA SALGADO, Daniel Ricardo. *Funcionamiento del ariete hidráulico*. p. 8.

Figura 5. **Funcionamiento de un ariete hidráulico**



Fuente: TRIANA SALGADO, Daniel Ricardo. *Funcionamiento del ariete hidráulico*. p. 8.

El ciclo de bombeo del ariete hidráulico ocurre de forma muy rápida, repitiéndose este fenómeno del orden de 40 a 120 veces por minuto. Durante cada ciclo, solo un pequeño volumen de agua logra alcanzar el depósito de descarga como consecuencia de que mucha cantidad de fluido escapa a través de la válvula de impulsión. Sin embargo, ciclo tras ciclo, las 24 horas diarias, los 365 días del año, hace que el caudal elevado sea significativo.

1.3. Mantenimiento

El usuario debe verificar que el tanque de almacenamiento esté libre de cualquier tipo de residuos sólidos, esto para evitar introducirlos a la tubería del ariete. Se coloca una rejilla al ingreso del agua para garantizar la entrada de agua libre de residuos sólidos.

Es necesario conseguir la presión necesaria para empezar el funcionamiento del dispositivo. Se recomienda tener el tanque con un volumen

mínimo y con la válvula antiretorno (*check* de fondo) cerrada. Una vez verificadas las condiciones anteriores, se acciona la válvula permitiendo el flujo hacia el ariete.

En la válvula antiretorno (*check* de fondo) se encuentra solamente una parte móvil, el resorte. Entonces el margen de error es muy reducido.

Sin embargo, las posibles causas de la deficiencia de operación en la bomba de ariete hidráulico se enumeran a continuación:

- La válvula antiretorno (*check* de fondo): verificar que la válvula no tenga fugas en el momento que se mantiene cerrada. verificar si se han incrustado suciedades en ella y en el estado del sello de hule.
- La válvula antiretorno (*check* de fondo): verificar el estado del resorte para que no sufra ninguna deformación.
- La válvula antiretorno (*check*): esto puede ser visto o probado si el nivel de agua en la tubería de entrega aumenta durante la operación o cae cuando el ariete no está operando. La válvula debe estar limpia y verificar si existe desgaste.
- La bomba de ariete bombea mucho aire Comprobar la válvula de alimentación de aire Verificar que no esté ingresando más aire por otras uniones mal empalmadas. Constatar que el tubo de alimentación esté sumergido adecuadamente a la entrada.
- Cuando trabaja la bomba de ariete con un golpeteo metálico. Esto puede ser ocasionado por una deficiente alimentación de aire a través de la

válvula *check* de fondo La falta de aire en la cámara genera ruido, ya que no se crea el suficiente colchón. Comprobar que en la cámara no existan fugas de aire.

- Si se desea regular el ariete existe un dispositivo de control en la válvula anti-retorno (*check* de fondo), el cual aumenta o disminuye la apertura de la misma, afectando directamente al caudal de salida.

El usuario deberá evitar fuerzas externas a la cámara de aire, ya que su correcto funcionamiento depende de su posición vertical. Por ningún motivo la válvula debe ser obstruida. De lo contrario, el dispositivo dejará de funcionar. Si se requiere cambiar o reemplazar alguna pieza por mantenimiento, hacerlo con el ariete cerrado y con las válvulas cerradas.

1.3.1. Tarea de mantenimiento

Las tareas de mantenimiento son detalladas a continuación:

- Desarmar la bomba de ariete hidráulico con la finalidad de remover la suciedad.
- Comprobar el paso de aire por el sistema de tuberías.
- Verificar periódicamente el ajuste del resorte de la válvula y del sello de hule.
- Cambiar periódicamente el sello de hule que se encuentra en válvula (*check* de fondo). Además, asegurar siempre un asentamiento correcto de la válvula. Conjuntamente, verificar que en ninguna existan fugas.

- Mantener la tubería de alimentación libre de desechos limpiar sus rejillas y filtros.
- La válvula de aire debe estar limpia y clara. Si el aire no entra a la cámara el funcionamiento será ruidoso e irregular.

1.3.2. Frecuencia de mantenimiento

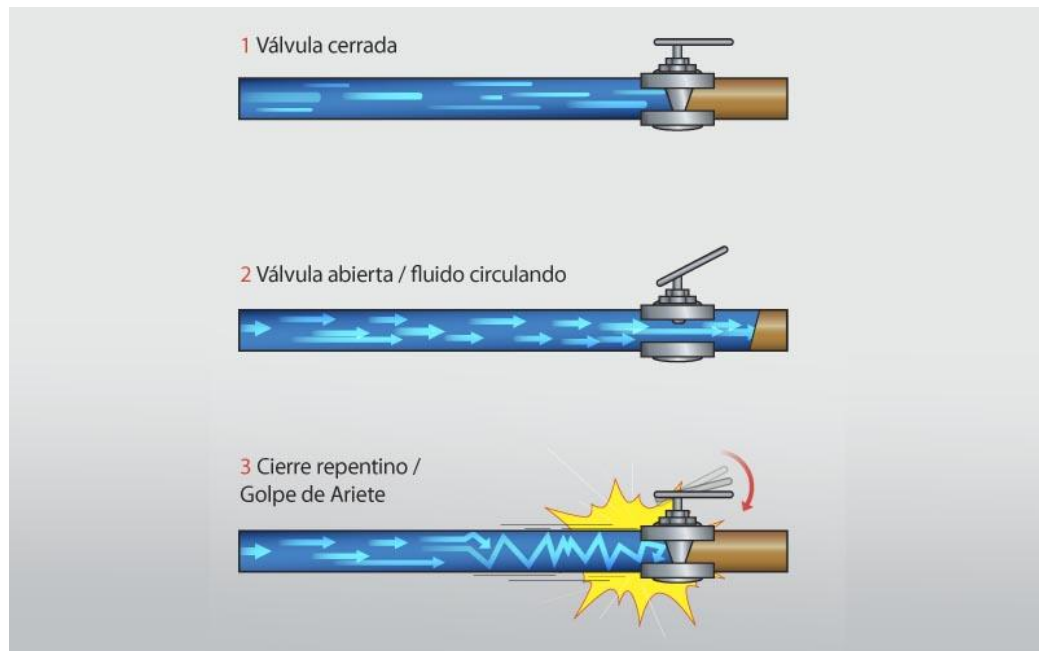
Una vez al mes se debe hacer una inspección general de toda la instalación. Es recomendable llevar un libro de registro para verificar las reparaciones que se han hecho.

Las piezas correspondientes a las válvulas de escape y de impulsión pueden superar fácilmente los 10 años de funcionamiento continuo, pero se recomienda revisión periódica

1.4. Golpe de ariete

El golpe de ariete es un fenómeno que puede producirse en tuberías largas cuando se detiene bruscamente una columna de agua que se desplaza por su interior.

Figura 6. Fenómeno de golpe de ariete



Fuente: *Golpe de Ariete*. <https://0grados.com.mx/golpe-de-ariete-consecuencias-y-prevenciones/>. Consulta: 20 de mayo de 2018.

No todo el fluido se detiene a la vez, sino que cuando la válvula se cierra de golpe el agua que está en el extremo cercano a la válvula se detiene. Mientras que el agua que circula por el resto de la tubería se sigue desplazando a la misma velocidad que tenía antes. En ese momento, se produce una onda de choque que parte desde la válvula, desplazándose por el fluido en dirección contraria a su movimiento a una velocidad cercana a la del sonido. Esta onda de choque va deteniendo el fluido a su paso. Todo el fluido de la tubería estará desplazándose hacia el depósito. En donde se producen transformaciones sucesivas de energía cinética en energía de compresión y viceversa, comportándose, el agua, como un resorte. Las causas principales que lo generan son las siguientes:

- Cierre y apertura de válvulas.
- Arranque de bombas.
- Detención de bombas.
- Funcionamiento inestable de bombas.
- Llenado inicial de tuberías.

1.4.1. Efectos que produce el golpe de ariete

Como efecto del aumento brusco y repentino de la presión dentro de un conducto ocasionada por el golpe de ariete, en un sistema de abastecimiento de agua potable pueden producirse los siguientes efectos:

- Ruido:

Es un ruido bullicioso cuando el agua que se desplazaba a una cierta velocidad se ha detenido casi instantáneamente. Transmitiendo de golpe la energía cinética que poseía.

- Vibraciones:

Las variaciones de presión al momento de ser absorbidas por el sistema generan vibraciones en las tuberías y en las estructuras cercanas al tramo afectado ocasionando debilitamiento en su resistencia.

- Agrietamiento (causa de fugas):

Esta situación empeora el estado del sistema, gradualmente, cada vez que vuelve a ocurrir el fenómeno. Los daños son progresivos.

- Falla en bombas, válvulas y otros accesorios:

El aumento de presión que ocurre en un golpe de ariete puede sobrepasar ese límite y causar roturas en los artefactos.

1.5. Alcance de un golpe de ariete

Debido a la capacidad que tiene de elevar parte del agua de un río o arroyo a una altura superior, este se convierte en un aparato apto para el abastecimiento de agua en zonas montañosas de Guatemala, aldeas o comunidades que se encuentren elevadas de las fuentes de este recurso en una región determinada.

Este tipo de aparato es considerado, por algunas organizaciones, como parte de las tecnologías limpias que deben promoverse a nivel mundial, por los beneficios que puede aportar a la humanidad y por ser amigable con el medio ambiente. En la actualidad, existen aparatos más modernos que pueden cumplir con la misma función. El ariete tiene un costo menor de fabricación y operación, son más fáciles de construir, requieren de menor mantenimiento y no necesitan energía eléctrica, solo hidráulica, para su funcionamiento.

1.5.1. Condiciones a las que se adapta una bomba de ariete hidráulico

Es una tecnología que se adapta a una gran diversidad de condiciones ecológicas desde suelos, clima y topografía del terreno.

1.5.2. Disponibilidad de agua en la zona

Para el uso del ariete es necesario contar con una quebrada o un río que sea permanente para poder hacer un uso óptimo del ariete.

1.5.3. Porcentaje de pendiente

Cuando se necesita elevar el agua con ariete hay que tener en cuenta que entre más alto se quiere llevar el agua mayor deberá ser la caída o largo del tubo de entrada del agua para hacer funcionar el ariete.

1.5.4. Ventajas y limitantes del uso de la bomba de ariete

- Ventajas
 - No requiere electricidad, combustible ni trabajo humano para su funcionamiento.
 - Todo el equipo es de bajo costo y sus piezas son de fácil recambio.
 - Requiere un mínimo de manutención funciona automáticamente ante un suministro de agua en forma continua.

- Limitantes
 - Acceso a la tecnología, ya que es poco usada.
 - El mantenimiento es de mucho cuidado para que no se detenga el funcionamiento.
 - En la toma de agua no debe haber entrada de aire y el sitio donde se ubica el ariete debe tener un desagüe por el agua que salpica.
 - Con alto desnivel de bombeo necesita un caudal grande para el funcionamiento.

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ARIETE HIDRÁULICO DE UNA Y MEDIA PULGADAS

2.1. Disposición para la construcción de un ariete hidráulico

Para construir una bomba ariete hidráulico de forma artesanal hay que seguir un esquema básico.

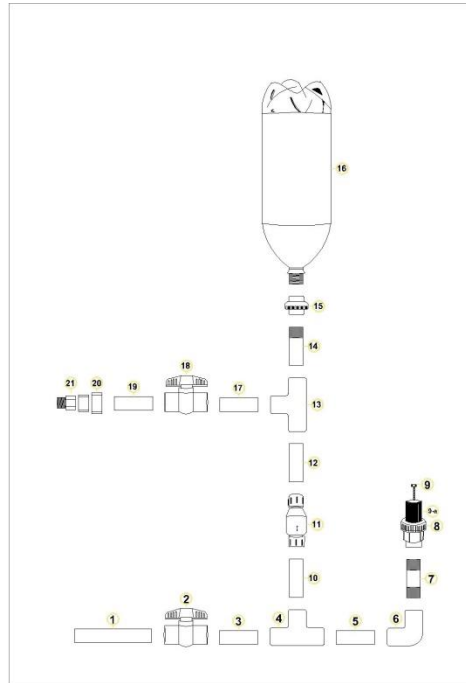
El ariete hidráulico artesanal, como bien se ha explicado anteriormente, es una bomba que aprovecha la energía potencial del líquido para generar una sobrepresión, mediante el cierre de la válvula de impulso que va a permitir elevar parte de dicho fluido a un punto superior. Por ello, a la hora de llevar a cabo un plan de bombeo de agua para el suministro de agua se tiene que tener en cuenta una serie de consideraciones que se deben estudiar.

2.1.1. Diseño de ariete hidráulico

El diseño de este ariete hidráulico es tipo F, por la disposición de la válvula anti-retorno (check de fondo). La entrega permite una mejor posición del ariete y fijación del mismo en la zona de trabajo.

El ariete tipo F se conoce como el ariete universal debido a que es uno de los más utilizados por la gran eficiencia que presenta.

Figura 7. **Ariete hidráulico tipo “F”**



Fuente: elaboración propia.

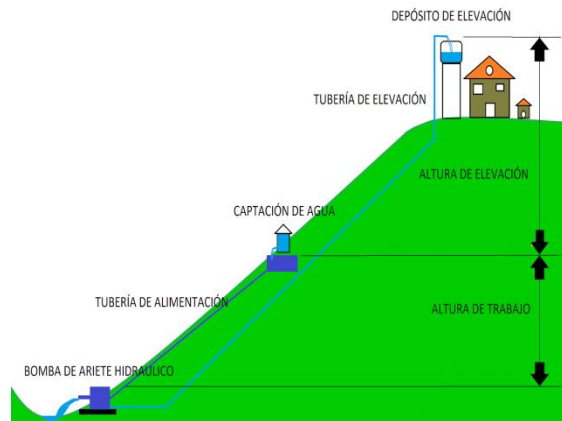
2.1.2. Elección de tipo de bomba de ariete artesanal

Cuando se procede a la elección de la bomba de ariete se debe haber estudiado los parámetros característicos del lugar a instalar el ariete hidráulico y, por lo tanto, conocer una estimación de:

- caudal disponible (Q)
- altura de la fuente de abastecimiento (H)
- altura del depósito de descarga (h)

Las necesidades hidráulicas que se requieren.

Figura 8. **Instalación de ariete hidráulico**



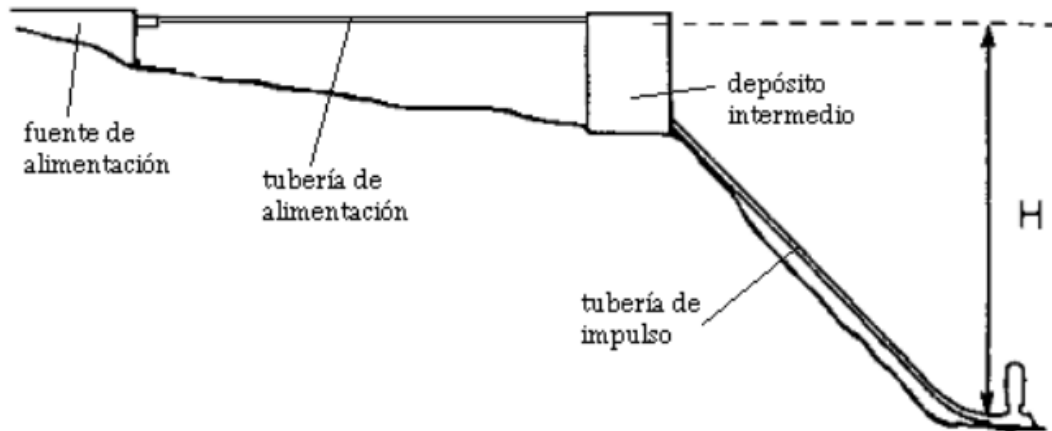
Fuente: *Instalación de ariete hidráulico*. <https://www.bombadearietehidraulico.com/2018/02/informacion-y-divulgacion-de-la-bomba.html>. Consulta: 21 de mayo de 2019.

2.1.3. **Sistema de conducción.**

El sistema de conducción es una parte de una instalación total de bombeo con un ariete hidráulico que recibe el fluido desde la fuente de alimentación y lo transporta hasta el ariete hidráulico.

Normalmente, consta de tres elementos, aunque depende de la situación general del lugar a instalar. Una tubería de alimentación transporta un determinado caudal desde la fuente de alimentación a un depósito intermedio y desde el lugar, a través de la tubería de impulso, llega el agua a la bomba de ariete.

Figura 9. Sistema de conducción



Fuente: TRIANA SALGADO, Daniel Ricardo. *Sistema de conducción típico en una instalación con bomba de ariete*. p. 10.

2.1.4. Depósito intermedio de alimentación

La construcción del depósito intermedio no se realiza en todos los proyectos de bombeo con ariete hidráulico. Lo alimenta directamente la tubería de impulso de la fuente de alimentación. Sin embargo, es recomendable la construcción del depósito intermedio debido a que, mientras, el agua circula por un río arrastra consigo pequeñas partículas que pueden provocar problemas, con el tiempo, en las tuberías. Al estancarse el agua en el depósito, y al disminuir notablemente su velocidad, dichas partículas se depositan en el fondo. Además, se mantiene un nivel de agua estable, asegurando un suministro regular y una altura de impulso constante. Asimismo, se previene el que se introduzca aire en la tubería de impulso.

2.1.5. Tubería de impulso

La mayoría de las bombas están diseñadas para un diámetro de la tubería de impulso particular. Por ello, la selección del diámetro de la tubería de impulso es el balance entre proporcionar un diámetro mayor con el objetivo de reducir las pérdidas de carga del fluido o uno menor para que la velocidad del líquido sea mayor.

Se demuestra que un diámetro menor da mayor eficiencia a la bomba de ariete, sobre todo, cuando se mueve en rangos críticos (pequeños caudales y gran altura) También hay que sumar que el coste de la tubería será más económico.

Una tubería de impulso corta provocaría una frecuencia en la operación muy alta reduciendo considerablemente la eficiencia de la bomba de ariete. Una tubería de impulso demasiado larga operaría a menos golpes por minuto

“Como norma general, es recomendable que la longitud de la tubería de impulso sea de dos a cuatro veces la altura de caída, aunque nunca siendo menor de seis metros.

Otro aspecto a considerar, o que se menciona, es el ángulo que debe tener la tubería de impulso respecto a la horizontal, estableciendo un máximo de 20°, no es un aspecto “no crítico”. Se argumenta que es un aspecto que depende, exclusivamente, de las condiciones del lugar a instalar y que se solventa cumpliendo las condiciones anteriormente expuestas sobre la longitud de la tubería de impulso”.¹

¹ T. D., Jeffery; T. H., Thomas; SMITH, A. V.; GLOVER, P. B.; FOUNTAIN, P. D. *Hydraulic Ram Pumps. A guide to ram pump water supply systems.* p. 45.

Sin embargo, coinciden en que lo más recomendable es que la tubería de impulso se proyecte para que sea de acero galvanizado.

La tubería de impulso es una parte clave en la instalación, siendo la responsable de transportar el agua desde la fuente de suministro al ariete hidráulico, proporcionándole (como consecuencia de la diferencia de cotas) una velocidad capaz de hacer cerrar la válvula de impulso y de crear la sobrepresión (golpe de ariete). Por ello, la tubería de impulso debe ser fabricada de un material rígido, fuerte y resistente.

2.1.6. Sistema de entrega

Conecta la bomba de ariete con el lugar donde se va a almacenar el agua, normalmente, un depósito de descarga, a través de la tubería de descarga.

2.1.7. Tubería de descarga

Al igual que ocurre con las tuberías de impulso, el diámetro cuanto más grande sea, mayor será el precio de la tubería, aunque menores pérdidas de carga se producirán en la misma. “las pérdidas de carga en la tubería de descarga no superen el 5-10 % de la altura de elevación del fluido”.²

La tubería de descarga es una parte importante de la instalación. En muchos casos su elevada longitud provoca que sea el componente más caro. Por ello, es importante que la ruta elegida por la que pasa la tubería de descarga sea la más corta posible para reducir los costos y las pérdidas de carga.

² T. D., Jeffery; T. H., Thomas; SMITH, A. V.; GLOVER, P. B.; FOUNTAIN, P. D. *Hydraulic Ram Pumps. A guide to ram pump water supply systems.* p. 46.

Es aconsejable que la tubería se encuentre protegida de las personas, animales, automóviles y maquinaria, entre otros, que puedan romperla. Por eso, se propone que se entierre al menos 50 centímetros de profundidad.

2.1.8. Depósito de descarga

Para diseñar este componente lo más significativo será el tamaño que se le dé para que nunca se encuentre vacío. Hay que detener la bomba de ariete, salvo en revisiones periódicas. Así, pues, a la hora de dimensionarlo, tener un reservorio de agua suficiente que asegure su abastecimiento.

2.2. Área de construcción y ensamble

A continuación, se muestra el área de construcción y ensamble.

2.2.1. Área de construcción

La elección del lugar donde se procede a instalar la bomba de ariete es el aspecto más importante para la puesta y operación del ariete hidráulico artesanal.

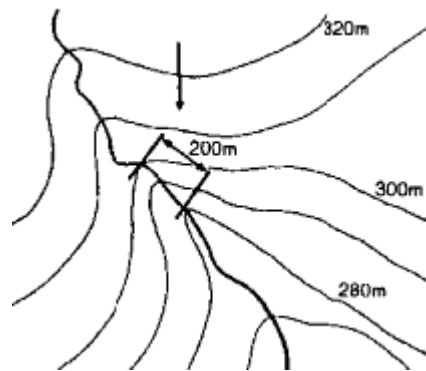
La realización del estudio para conocer el lugar de suministro de agua se debe efectuar para valorar el potencial, observando si verdaderamente es posible la instalación de este sistema de bombeo.

Como consecuencia, los lugares que mejor se habitúan a estas características son las zonas montañosas o semi-montañosas, que hacen posible que en un pequeño espacio de terreno pueda existir una inclinación suficiente apta para el correcto funcionamiento de la bomba de ariete.

2.2.1.1. Aspectos a tomar en cuenta para la elección de lugar

- Área para tubería de alimentación
- Área para el ariete
- Área de desfogue
- Área de descarga

Figura 10. **Ubicación de ariete hidráulico artesanal**

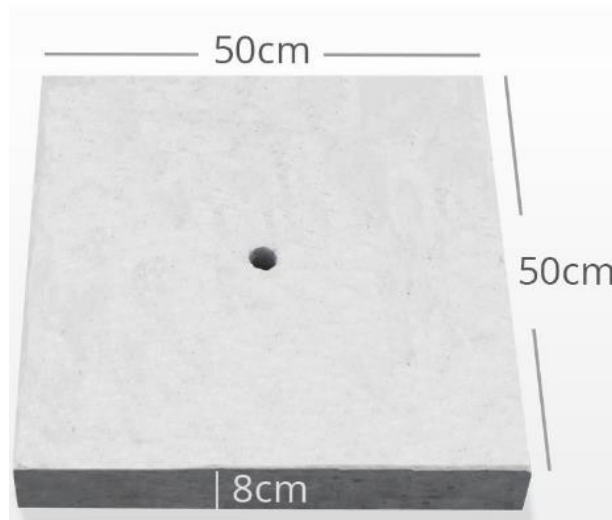


Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Base de concreto para ariete hidráulico

Esta obra de arte es diseñada y fabricada para darle estabilidad al ariete hidráulico durante su ensamble, asegurándolo con abrazaderas a los tubos del paso de agua, procurando que este sea plano para evitar que las vibraciones afecten el funcionamiento del ariete hidráulico- Este puede ser enterrado, según las condiciones ambientales con las que se tengan en el lugar de uso.

Figura 11. **Base de ariete hidráulico**



Fuente: Base de ariete hidráulico. <https://menotticia.com/productos/zapata-en-concreto-de-50x50-planas-con-hueco-en-cali>. Consulta: 21 de mayo de 2019.

2.2.3. Ensamble

Antes de comenzar con el diseño y ensamble del ariete hidráulico es necesario la caracterización del terreno y las condiciones de trabajo a las que será sometido el ariete según la necesidad.

La idea inicial del ensamble de las piezas del ariete hidráulico se pensó completamente en hierro galvanizado, ya que esto le daría una vida útil mucho más prolongada a todo el elemento como tal, pero se desistió de esta idea debido al costo de los materiales. Se ensambló con piezas de hierro galvanizado complementándolo con piezas de PVC.

2.3. Materiales y equipo de construcción

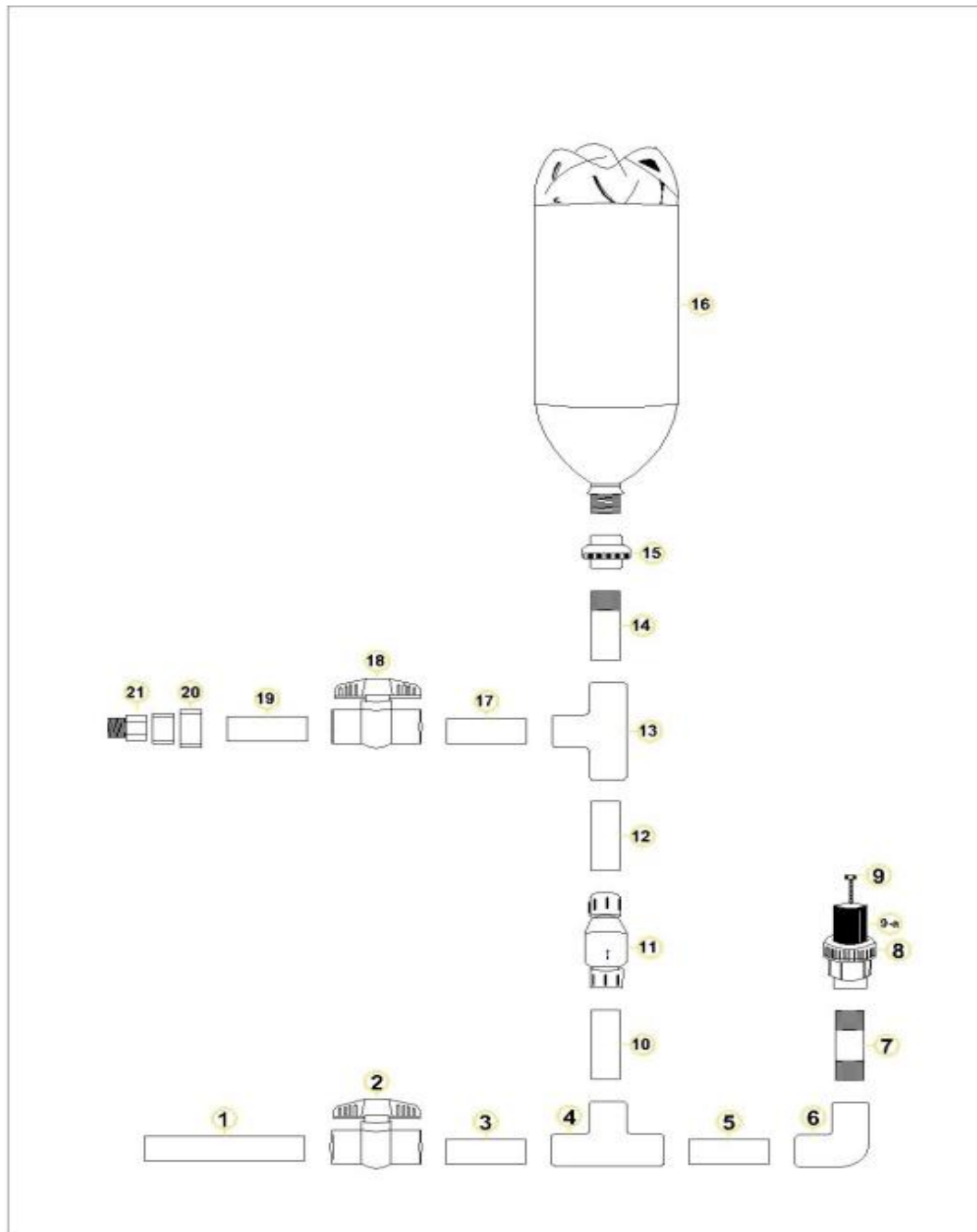
A continuación, se detalla los materiales de fontanería para construcción de la bomba de ariete tipo artesanal.

Tabla I. **Materiales para la construcción del ariete hidráulico tipo artesanal**

Numero	Material	Uso
1	Silicón frio transparente	Material que se coloca en las juntas del ariete para actuar como adherente y sellador de juntas entre accesorios.
2	Teflón en cinta de 1"	Material que se coloca en las roscas y juntas de unión para evitar fugas de agua en la tubería y llaves de paso.
4	Pegamento de soldadura plástica	Material que se utiliza para unir plásticos con otro material.
3	Pegamento PVC	Material que se coloca como adhesivo para conseguir uniones de tuberías y perfiles de PVC.

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Accesorios a utilizar para la fabricación de bomba de ariete tipo artesanal**



Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Accesorios enlistados para de construcción para ariete hidráulico tipo artesanal**

Numero.	Accesorios
1	Tubo PVC L: 7" Ø 1 $\frac{1}{2}$ "
2	Válvula globo PVC Ø 1 $\frac{1}{2}$ "
3	Tubo PVC L: 3" Ø 1 $\frac{1}{2}$ "
4	Tee PVC Tubo PVC Ø 1 $\frac{1}{2}$ "
5	Tubo PVC L: 3" Ø 1 $\frac{1}{2}$ "
6	Codo de 90° PVC
7	Tubo PVC L: 3" Ø 1 $\frac{1}{2}$ "
8	Válvula de pie PVC Ø 1 $\frac{1}{2}$ "
9	Tornillo L:3" D:0.198"
9-a	Resorte de acero inoxidable Ø $\frac{1}{2}$ " E:0.78" L:2"
10	Tubo PVC L: 3" Ø 1 $\frac{1}{2}$ "
11	Válvula de check (paso) PVC Ø 1 $\frac{1}{2}$ "
12	Tubo PVC L: 3" Ø 1 $\frac{1}{2}$ "
13	Tee PVC Tubo PVC Ø 1 $\frac{1}{2}$ "
14	Tubo PVC L: 2" Ø 1 $\frac{1}{2}$ "
15	Reducidor galvanizado tipo campana de Ø 1 $\frac{1}{2}$ " @ Ø $\frac{3}{4}$ "
16	Recipiente plástico de refresco carbonatado de 3L
17	Tubo PVC L: 2,5" Ø 1 $\frac{1}{2}$ "
18	Válvula globo PVC Ø 1 $\frac{1}{2}$ "
19	Tubo PVC L: 2,5" Ø 1 $\frac{1}{2}$ "
20	Adaptador PVC macho Ø 1 $\frac{1}{2}$ "
21	Reducidor PVC Ø 1 $\frac{1}{2}$ " @ Ø $\frac{1}{2}$ "

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se enlista los accesorios que pueden ser comprados y adquiridos en cualquier ferretería del país.

2.4. Metodología para la construcción de un ariete hidráulico artesanal de diámetro una pulgada y media

La construcción o fabricación de la bomba de ariete comprende un conjunto de actividades con condiciones de calidad, costo y tiempo.

Se utiliza un plano para la construcción del ariete hidráulico. A continuación, se describe el proceso en forma secuencial, facilitando la aplicación del presente plano y utilizando como referencia visual presentado en los anexos.

- Revisar el plano de ensamble y construcción. Verificar que se cuente con todas las piezas para la construcción del ariete hidráulico artesanal.
- Trasladar los accesorios y material, al lugar donde se llevará a cabo el ensamble.
- Ensamblar los accesorios numerados del 1 al 8 y verificar que estén bien pegadas para evitar fugas posteriores.
- La base que sujeta al ariete hidráulico, debe ser colocado en el lugar donde quedará instalado el ariete. Se coloca la armazón del paso anterior sobre la base asegurándolo el ariete con las abrazaderas.
- Ensamblar el tornillo y el resorte a la canasta de expulsión del agua de la válvula de check vertical.

- Ensambla la válvula de *check* de fondo a la armazón colocándole teflón para evitar fugas.
- Verificar la dirección flecha que posee el accesorio número 11, ya que flecha indica el sentido del flujo, que este vertical y hacia arriba.
- Ensamblar a la armazón los accesorios numerados del 10 al 15 y verificar que estén bien pegadas para evitar fugas posteriores.
- Ensamblar al armazón el accesorio número 16 con cemento plástico adhiriéndolo a la boquilla del recipiente plástico de agua carbonatada a la boquilla del accesorio tipo campana para crear un sello y evitar fugas de aire y agua.
- Ensamblar a la armazón los accesorios numerados del 17 al 20 y verificar que estén bien pegadas para evitar fugas posteriores.
- Ensamblar a la armazón los accesorios número 21 colocando teflón a la rosquilla.
- Por último, se une la tubería de alimentación y se inspecciona que toda la tubería no presente fugas en sus uniones y que se instale adecuadamente en la fuente de alimentación.

El proceso de ensamble del ariete hidráulico tipo artesanales bastante simple y rápido. Se recomienda que en la rosca debe cuidarse que las piezas cacen perfectamente para evitar fugas, preferiblemente colocarles teflón para generar un sello.

3. DISPOSICIONES FINALES DEL ARIETE HIDRÁULICO DE 1½”

Al aplicar las instrucciones anteriores para la construcción de un ariete hidráulico artesanal es posible realizar cálculos para determinar: el caudal que proporciona, la altura a la que puede elevar el fluido, la velocidad con que abastece agua, la presión bajo la cual trabaja y la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico.

3.1. Metodología de evaluación de resultados

Para la toma de datos y realizar los cálculos relacionados al funcionamiento, se ha construido el ariete hidráulico en la universidad ubicada en la zona 12, de la ciudad capital. En el edificio T-5 laboratorio de hidráulica.

Latitud. 14°35'14.60" N

Longitud. 90° 33' 13.36" O

Elevación a nivel de mar. 1,490.

Figura 13. **Ubicación laboratorio de hidráulica**

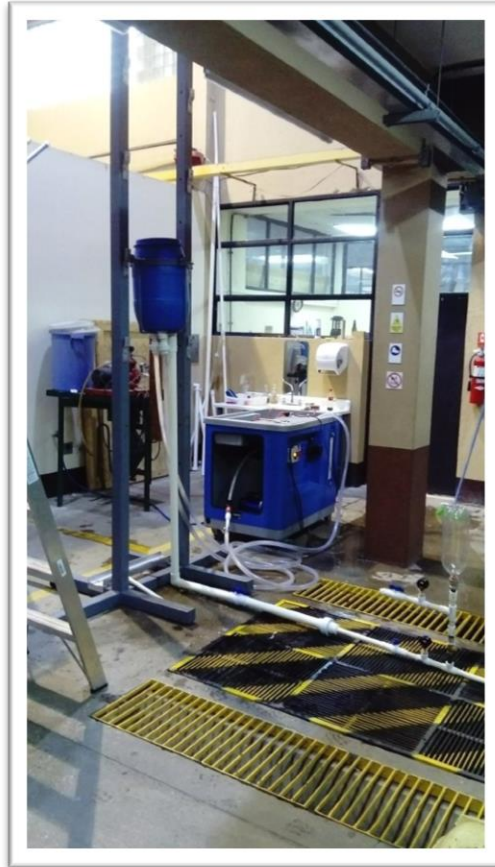


Fuente: *google earth*. www.earth-google-com. Consulta: 21 de mayo de 2019.

3.2. Sistema de bombeo

La construcción del sistema de bombeo como del ariete hidráulico no es compleja. Se fabricó con materiales disponibles en las ferreterías próximas a la universidad, de manera que fue económica y accesible. El proceso de construcción es muy práctico, en caso de daño o deterioro de alguna pieza del sistema se puede sustituir por una nueva.

Figura 14. **Estructura y sistema de bombeo utilizado para ensayos de ariete hidráulico tipo artesanal ubicado en edificio T-5**



Fuente: elaboración propia.

3.3. Cálculo de altura otorgada por la bomba de ariete hidráulico

En esta sección del capítulo se muestra los resultados en tablas detallando las diferentes pruebas realizadas a la bomba de ariete hidráulico.

Tabla III. **Rango de alturas trabajadas**

Altura de entrada (He):	Altura de salida(Hs):
Altura mínima de entrada (He)= 1,00 m	altura mínima de salida (Hs)= 1,50 m
Altura máxima de entrada (He)= 2,50 m	altura máxima de salida (Hs)= 7,00 m

Fuente: elaboración propia.

Las condiciones hidráulicas utilizadas se presentan a continuación.

Tabla IV. **Condiciones hidráulicas**

Requisitos	Identificación	Dimensión
Altura de carga	H_{CARGA}	Mínimo= 1,00m
Longitud de tubería carga	L_{CARGA}	
Caudal de carga	Q_{CARGA}	
Diámetro tubería de impulsión	$\emptyset_{Impulsión}$	$1\frac{1}{2}$ "
Altura de descarga	$H_{Descarga}$	Variable (m.) (1,0, 1,5, 2,0, 2,5)
Diámetro tubería descarga	$\emptyset_{Descarga}$	
Caudal de descarga	$Q_{Descarga}$	Variable

Fuente: elaboración propia.

Las dos alturas para el ariete.

H_{CARGA} Es la altura variable que hay entre el suelo y el punto donde la tubería de alimentación se alimenta de agua.

$H_{Descarga}$. Es la altura variable que hay entre el suelo hasta el punto donde la tubería de descarga se encuentra.

3.4. Cálculo de caudal otorgado por la bomba de ariete hidráulico

Para determinar el caudal se utilizó la toma de datos con el método de aforo volumétrico. El aforo volumétrico consiste en acumular un volumen específico midiendo el tiempo utilizado en la recolección de este.

Tabla V. toma de tiempo

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen				Litro
		Tiempo de Aforo (Segundos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5

Fuente: elaboración propia.

Obteniendo los tiempos expresados en la tabla primera, se calcula el caudal otorgado en cada tiempo la ecuación para determinar el caudal es la siguiente:

- Ecuación de Caudal:

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

C (Q)= caudal

V= volumen

T= tiempo

Tabla VI. **Toma de caudal otorgado**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
Caudal Promedio						

Fuente: elaboración propia.

Las siguientes tablas son el resultado de la toma de los cinco caudales operando para determinar un promedio según su altura de captación y altura de descarga.

Caudal otorgado una altura del tanque (H_{CARGA}) y una altura de descarga ($H_{DESCARGA}$).

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 1,00$ m, $H_{DESCARGA} = 1,5$ m).

Tabla VII. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 1 Litro				
		Tiempo de Aforo (Segundos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1.05	1,5	12	12,6	11,91	11,94	11,59

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado					
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	
1,05	1,5	0,0833	0,0794	0,0840	0,0838	0,0863	
					Caudal Promedio	0,083	L/s

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2\%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 1,00$ m, $H_{DESCARGA} = 2,00$ m)

Tabla IX. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 1 Litro				
		Tiempo de Aforo (Minutos.)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1,05	2	13,09	13	13,04	12,94	13,24

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado					
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	
1,05	2	0,0764	0,0769	0,0767	0,0773	0,0755	
					Caudal Promedio	0,0766	Lts/min

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 1,00 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 2,50 \text{ m}$)

Tabla XI. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 1 Litro				
		Tiempo de Aforo (Minutos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1,05	2,5	14,5	14,78	14,82	14,81	14,25

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1,05	2,5	0,0690	0,0677	0,0675	0,0675	0,0702
Caudal Promedio					0,0684	Lts/min

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Figura 15. **Dato tomado a una (altura del tanque 1,05 m)**



Fuente: elaboración propia.

- Para determinar la pérdida en el sistema se utilizó un manómetro en la entrada de la bomba (altura del tanque 1,05 m).

El valor de la presión registrada 1,7 PSI., convertido a metros columna de agua.

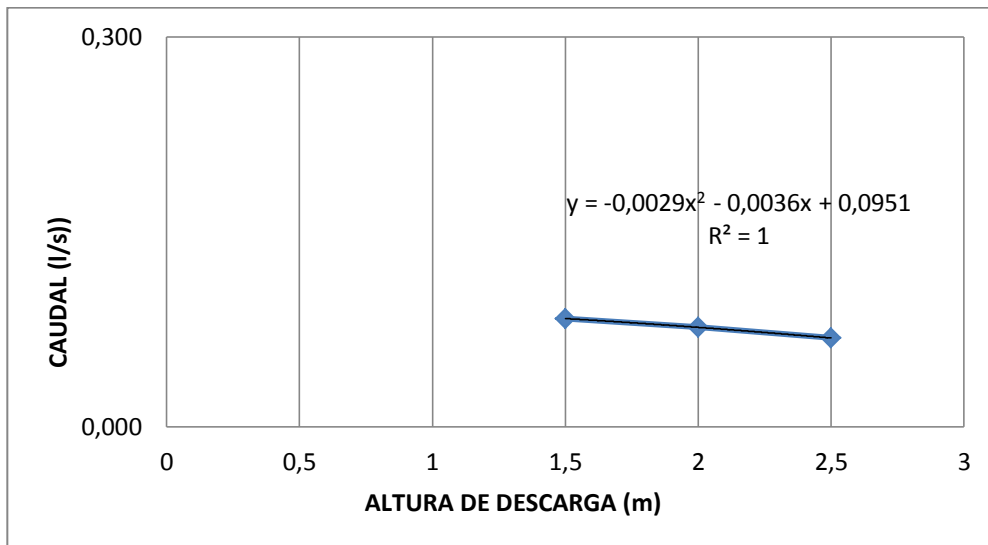
$$1,7 \text{ PSI} * \frac{0,703 \text{ MCA}}{1 \text{ PSI}} = 1,19 \text{ mca}$$

Tabla XIII. **Resumen de caudales tomados He(m):1,00m**

He(m)	Hs(m)	Caudal (L/s) promedio
1,00	1,5	0,083
1,00	2	0,076
1,00	2,5	0,068

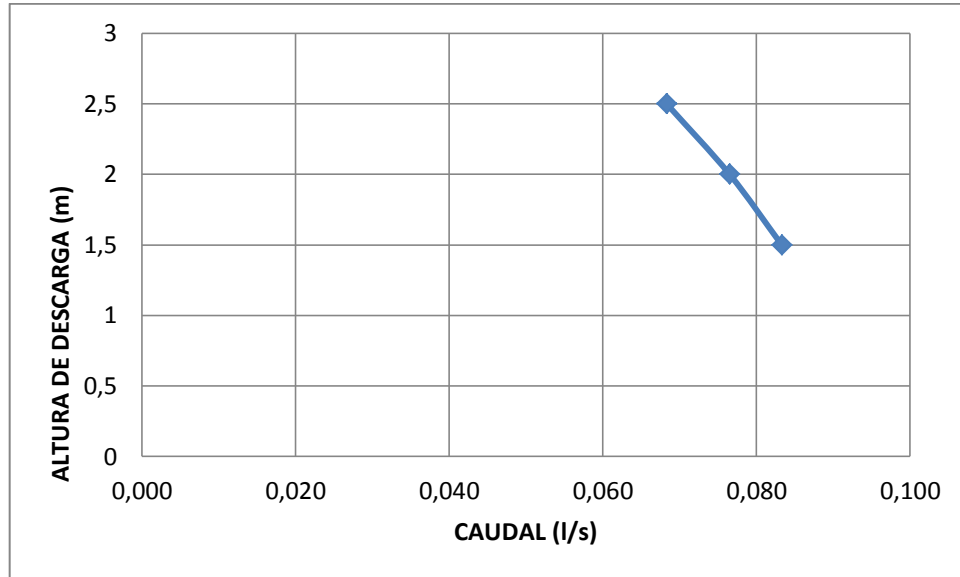
Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Caudal VS altura de descarga (altura de entrada=1,00m)**



Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Altura de descarga vs caudal (altura de entrada=1,00m)**



Fuente: elaboración propia.

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 1,50$ m, $H_{DESCARGA} = 2,00$ m).

Tabla XIV. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2 Litro				Toma 5
		Tiempo de Aforo (Segundos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	
1,5	2	10,1	10,3	11	11,05	11

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1,5	2	0,1980	0,1942	0,1818	0,1810	0,1818
Caudal Promedio					0,1874	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 1,50 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 2,50 \text{ m}$)

Tabla XVI. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2 Litro				
		Tiempo de Aforo (Segundos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1,5	2,5	12,03	12,06	12	11,87	12

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1,5	2,5	0,166251	0,1658375	0,1666667	0,168492	0,1667
Caudal Promedio					0,1668	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 1,50 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 3,00 \text{ m}$)

Tabla XVIII. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2 Litro				
		Tiempo de Aforo (Segundos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1,5	3	1 389	14	13,5	13,3	13,6

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1,5	3	0,1440	0,1429	0,1481	0,1504	0,1471
Caudal Promedio					0,1465	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 1,50 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 3,50 \text{ m}$)

Tabla XX. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2				Litros
		Tiempo de Aforo (Segundos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1,5	3,5	15,27	14,93	14,88	14,9	15

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1,5	3,5	0,1310	0,1340	0,1344	0,1342	0,1333
Caudal Promedio					0,1334	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 1,50 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 4,00 \text{ m}$)

Tabla XXII. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2				Litros
		Tiempo de Aforo (Segundos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1.5	4	17,2	17,65	17,8	18,02	18,01

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1,5	4	0,1163	0,1133	0,1124	0,1110	0,1110
Caudal Promedio					0,1128	Lts/seg

Fuente: elaboración propia

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 1,50 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 4,50 \text{ m}$)

Tabla XXIV. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2 Litros				
		Tiempo de Aforo (Segundos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1,5	4,5	20,2	20,23	19,89	19,93	20,52

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1,5	4,5	0,0990	0,0989	0,1006	0,1004	0,0975
Caudal Promedio					0,0992	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 1,50 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 5,00 \text{ m}$)

Tabla XXVI. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2				Litros
		Tiempo de Aforo (Segundos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1.5	5	23	23,6	23,3	23	23,21

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1.5	5	0,0870	0,0847	0,0858	0,0870	0,0862
Caudal Promedio					0,0861	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 1,50 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 5,50 \text{ m}$)

Tabla XXVIII. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2				Litros	
		Tiempo de Aforo (Segundos)					
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4		Toma 5
1,5	5,5	27,1	27,2	26,9	26,8	26,1	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1,5	5,5	0,738	0,0735	0,0743	0,0746	0,0766
Caudal Promedio					0,0746	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2\%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 1,50 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 6,00 \text{ m}$)

Tabla XXX. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2				Litros	
		Tiempo de Aforo (Segundos)					
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4		Toma 5
1,5	6	28,5	28,3	28,5	28,42	28,08	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1,5	6	0,0702	0,0707	0,0702	0,0704	0,0712
Caudal Promedio					0,0705	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 1,50 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 6,50 \text{ m}$)

Tabla XXXII. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2 Litros				
		Tiempo de Aforo (Segundos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1,5	6,5	29,9	29,7	30,06	29,49	30,1

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1,5	6,5	0,0669	0,0673	0,0665	0,0678	0,0664
Caudal Promedio					0,0670	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 1,50 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 7,00 \text{ m}$)

Tabla XXXIV. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2 Litros				
		Tiempo de Aforo (Segundos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1,5	7	33,5	33,9	33,79	33,61	34,03

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
1,5	7	0,0597	0,0590	0,0592	0,0595	0,0588
Caudal Promedio					0,0592	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Figura 18. **Dato tomado a una (altura del tanque 1,50 m)**



Fuente: elaboración propia.

- Para determinar la pérdida en el sistema se utilizó un manómetro en la entrada de la bomba (altura del tanque 1,50 m).

El valor de la presión registrada 2,1 PSI., convirtiendo a metros columna de agua.

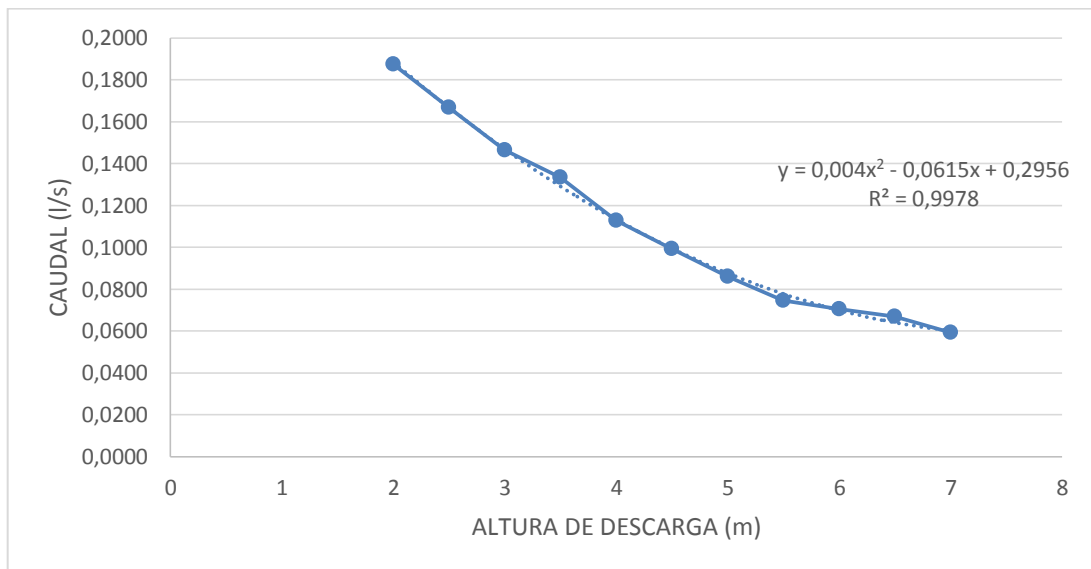
$$2,1 \text{ PSI} * \frac{0,703 \text{ MCA}}{1 \text{ PSI}} = 1,47 \text{ mca}$$

Tabla XXXVI. **Resumen de caudales tomados He(m):1.50m**

He(m)	Hs(m)	Caudal (L/s) promedio
1,5	2	0,187
1,5	2,5	0,167
1,5	3	0,146
1,5	3,5	0,133
1,5	4	0,113
1,5	4,5	0,099
1,5	5	0,086
1,5	5,5	0,075
1,5	6	0,071
1,5	6,5	0,067
1,5	7	0,059

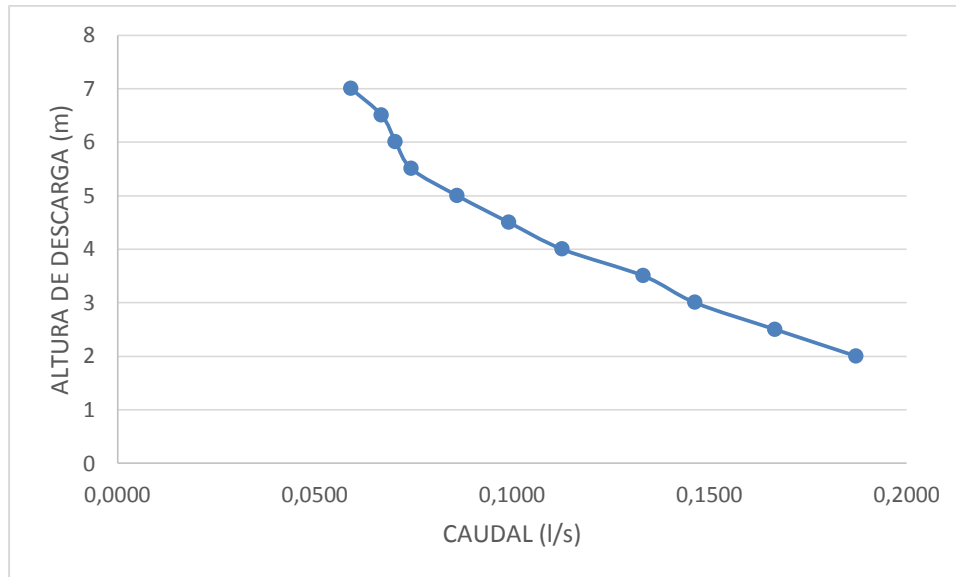
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Caudal VS altura de descarga (altura de entrada=1,50m)**



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Altura de descarga VS caudal (altura de entrada=1,50m)**



Fuente: elaboración propia.

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 2,00$ m, $H_{DESCARGA} = 2,50$ m)

Tabla XXXVII. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2 Litro				
		Tiempo de Aforo (Segundos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2	2,5	18,79	17,69	17,38	17,69	17,57

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2	2,5	0,1064	0,1131	0,1151	0,1131	0,1138
Caudal Promedio					0,1123	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 2,00 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 3,00 \text{ m}$)

Tabla XXXIX. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2 Litro				
		Tiempo de Aforo (Segundos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2	3	18,94	18,75	18,75	18,94	18,59

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Caudales calculados.**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2	3	0,1056	0,1067	0,1067	0,1056	0,1076
Caudal Promedio					0,1064	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 2,00 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 3,50 \text{ m}$)

Tabla XLI. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2				Litro
		Tiempo de Aforo (Segundos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2	3,5	19,51	19,6	19	19,72	19,34

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2	3,5	0,1025	0,1020	0,1053	0,1014	0,1034
Caudal Promedio					0,1029	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 2,00 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 4,00 \text{ m}$)

Tabla XLIII. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2					Litro
		Tiempo de Aforo (Segundos)					
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	
2	4	20,4	20,1	20,72	21,01	20,83	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2	4	0,0980	0,0995	0,0965	0,0952	0,0960
Caudal Promedio					0,0971	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 2,00 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 4,50 \text{ m}$)

Tabla XLV. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2					Litro
		Tiempo de Aforo (Minutos)					
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	
2	4,5	22,13	22,75	22,59	22,31	23,22	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVI. **Caudales calculados.**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2	4.5	0,0903751	0,0879121	0,0885347	0,0896459	0,0861326
Caudal Promedio					0,0885201	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 2,00 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 5,0 \text{ m}$)

Tabla XLVII. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2 Litro				
		Tiempo de Aforo (Minutos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2	5	25,78	25,56	25,59	25,44	25,22

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVIII. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2	5	0,0775795	0,0782473	0,0781555	0,0786164	0,0793021
Caudal Promedio					0,0783802	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 2,00 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 5,5 \text{ m}$)

Tabla XLIX. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2 Litro				Litro
		Tiempo de Aforo (Minutos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2	5,5	27,47	27,16	27,56	27,41	27,75

Fuente: elaboración propia.

Tabla L. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2	5,5	0,0728067	0,0736377	0,0725689	0,0729661	0,0720721
Caudal Promedio					0,0728103	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 2,00 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 6,0 \text{ m}$)

Tabla LI. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2 Litro				
		Tiempo de Aforo (Minutos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2	6	28,56	29,02	28,88	28,72	29

Fuente: elaboración propia.

Tabla LII. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2	6	0,070028	0,068918	0,0692521	0,0696379	0,0689655
Caudal Promedio					0,0693603	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 2,00 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 6,5 \text{ m}$)

Tabla LIII. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2 Litro				
		Tiempo de Aforo (Minutos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2	6,5	30,57	30,34	30,66	31,02	30,49

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIV. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2	6,5	0,0654236	0,0659196	0,0652316	0,0644745	0,0655953
Caudal Promedio					0,0653289	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 2,00 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 7,0 \text{ m}$)

Tabla LV. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2 Litro				
		Tiempo de Aforo (Minutos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2	7	33,53	33	34,02	33,31	34,1

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVI. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2	7	0,0596481	0,0606061	0,0587889	0,060042	0,058651
Caudal Promedio					0,0595472	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 2,00 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 7,5 \text{ m}$)

Tabla LVII. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2 Litro				
		Tiempo de Aforo (Minutos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2	7,5	37,21	37,54	37,33	37,61	37,12

Fuente: elaboración propia.

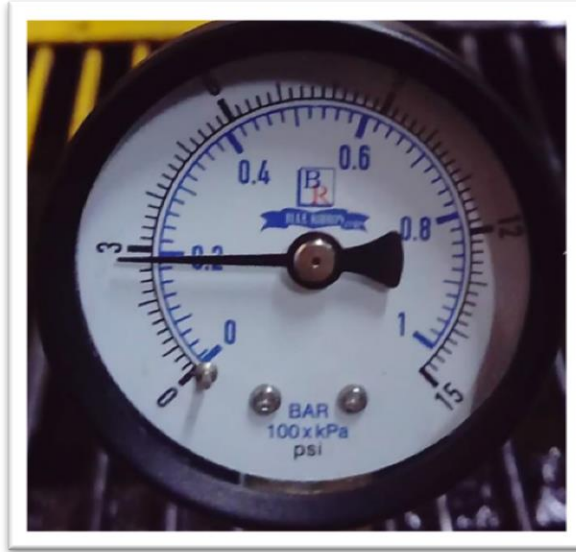
Tabla LVIII. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2	7,5	0,053749	0,0532765	0,0535762	0,0531773	0,0538793
Caudal Promedio					0,0535317	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Figura 21. **Dato tomado a una (altura del tanque 2,00 m)**



Fuente: elaboración propia.

- Para determinar la pérdida en el sistema se utilizó un manómetro en la entrada de la bomba (altura del tanque 2,00 m)

El valor de la presión registrada 2,9 PSI., convirtiendo a metros columna de agua.

$$2,9 \text{ PSI} * \frac{0,703 \text{ MCA}}{1 \text{ PSI}} = 2,03 \text{ mca}$$

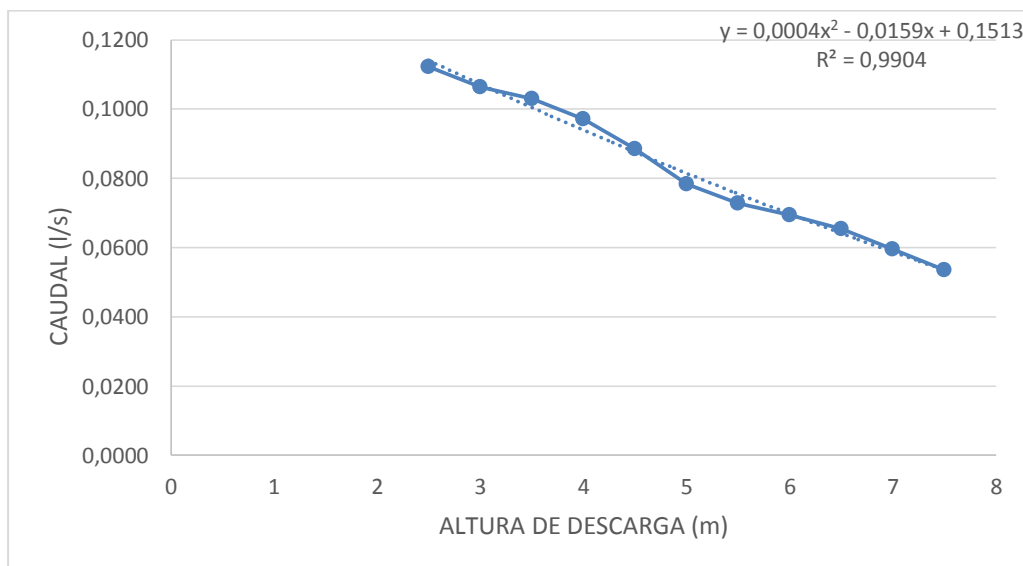
Tabla LIX.

Resumen de caudales tomados He(m):2.00m

He(m)	Hs(m)	Caudal (L/s) promedio
2	2,5	0,112
2	3	0,106
2	3,5	0,103
2	4	0,097
2	4,5	0,089
2	5	0,078
2	5,5	0,073
2	6	0,069
2	6,5	0,065
2	7	0,060
2	7,5	0,054

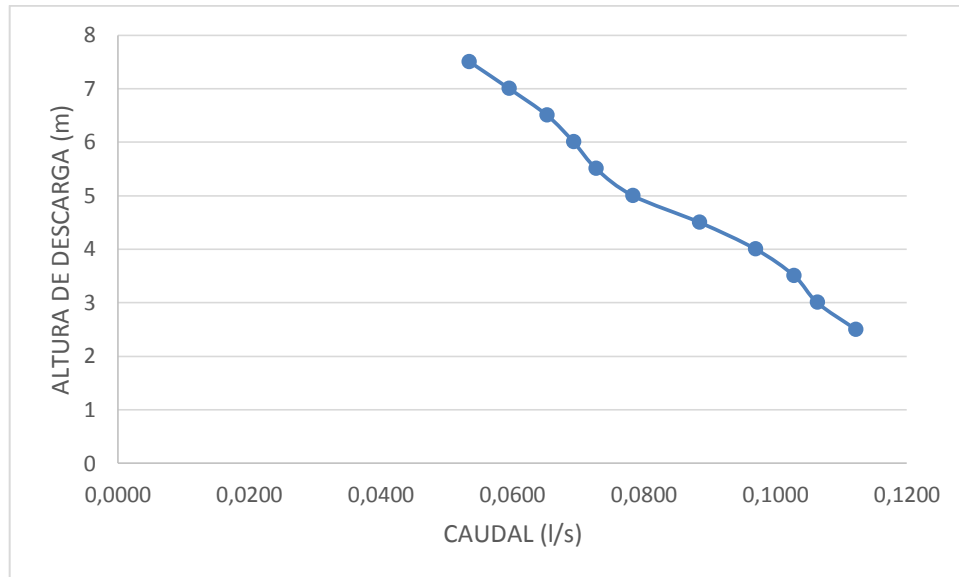
Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Caudal VS altura de descarga (altura de entrada=2,00m)**



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Altura de descarga VS caudal (altura de entrada=2,00m)**



Fuente: elaboración propia.

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 2,50$ m, $H_{DESCARGA} = 3,0$ m)

Tabla LX. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2 Litro				
		Tiempo de Aforo (Segundos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2,5	3	14,5	13,34	14,06	14,53	14,16

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXI. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2,5	3	0,1379	0,1499	0,1422	0,1376	0,1412
Caudal Promedio					0,1418	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 2,50 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 3,5 \text{ m}$)

Tabla LXII. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2 Litro				
		Tiempo de Aforo (Segundos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2,5	3,5	15,18	15,41	15,38	15,22	15,27

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIII. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2,5	3,5	0,1318	0,1298	0,1300	0,1314	0,1310
Caudal Promedio					0,1308	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 2,50 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 4,0 \text{ m}$)

Tabla LXIV. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2 Litro				
		Tiempo de Aforo (Segundos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2,5	4	16,3	16,47	17,13	16,25	16,85

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXV. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2,5	4	0,1227	0,1214	0,1168	0,1231	0,1187
					Caudal Promedio	0,1205 Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 2,50 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 4,5 \text{ m}$)

Tabla LXVI. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen					2 Litro
		Tiempo de Aforo (Segundos)					Toma 5
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4		
2,5	4,5	18,21	18,57	18,38	18,53	18,44	

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVII. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2,5	4,5	0,1098	0,1077	0,1088	0,1079	0,1085
Caudal Promedio						0,1085 Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 2,50 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 5,0 \text{ m}$)

Tabla LXVIII. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen					2 Litros
		Tiempo de Aforo (Segundos)					Toma 5
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4		
2,5	5	19,19	20,06	19,78	19,54	19,53	

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIX. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2,5	5	0,1042	0,0997	0,1011	0,1024	0,1024
Caudal Promedio					0,1020	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 2,50 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 5,5 \text{ m}$)

Tabla LXX. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2 Litros				
		Tiempo de Aforo (Segundos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2,5	5,5	22,56	22,25	22,53	22,72	21,75

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXI. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2,5	5,5	0,0887	0,0899	0,0888	0,0880	0,0920
Caudal Promedio					0,0895	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 2,50 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 6,0 \text{ m}$)

Tabla LXXII. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2 Litros				
		Tiempo de Aforo (Segundos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2,5	6	24,91	24,93	24,22	24,31	23,88

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXIII. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2,5	6	0,0803	0,0802	0,0826	0,0823	0,0838
Caudal Promedio					0,0818	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 2,50 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 6,5 \text{ m}$)

Tabla LXXIV. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2 Litro				
		Tiempo de Aforo (Minutos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2,5	6,5	26,5	26,41	26,28	26,69	26,56

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXV. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2,5	6,5	0,0754717	0,0757289	0,0761035	0,0749344	0,0753012
Caudal Promedio					0,0755079	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Resultados aforo caudal ($H_{CARGA} = 2,50 \text{ m}$, $H_{DESCARGA} = 7,0 \text{ m}$)

Tabla LXXVI. **Tiempo tomado en aforo**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Volumen 2 Litro				
		Tiempo de Aforo (Minutos)				
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
2,5	7	28,03	27,88	28,2	28,05	28,1

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXVII. **Caudales calculados**

Altura Tonel (Metros)	Altura Descarga (Metros)	Caudal Otorgado					
		Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5	
2,5	7	0,0713521	0,071736	0,070922	0,0713012	0,0711744	
Caudal Promedio						0,0712971	Lts/seg

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Error de mediciones} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}} * 100 \leq 2 \%, E = 0,2 \% \leq 2 \%$$

Figura 24. **Dato tomado a una (altura del tanque 2,50 m)**



Fuente: elaboración propia.

- Para determinar la pérdida en el sistema se utilizó un manómetro en la entrada de la bomba (altura del tanque 2,50 m).

El valor de la presión registrada 3,2 PSI., convirtiendo a metros columna de agua.

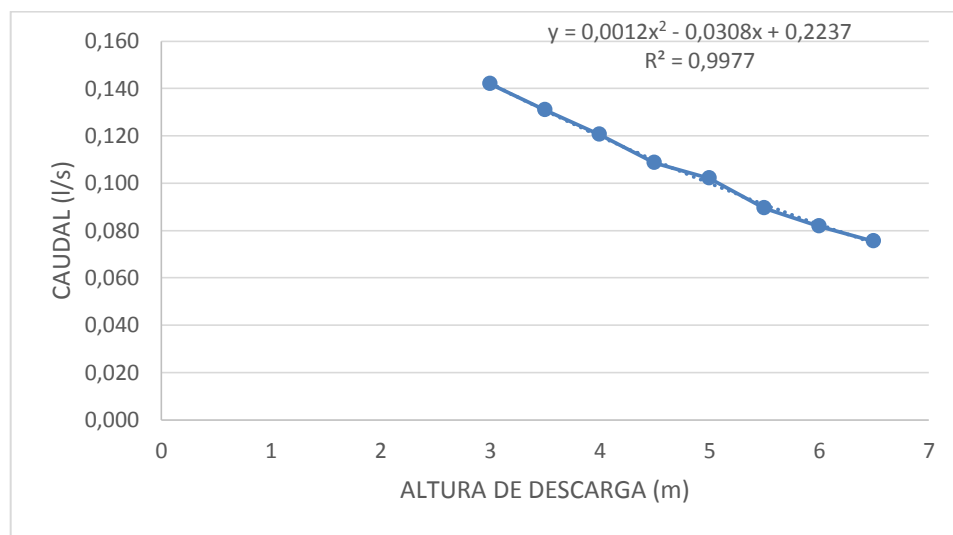
$$3,2 \text{ PSI} * \frac{0,703 \text{ MCA}}{1 \text{ PSI}} = 2,24 \text{ mca}$$

Tabla LXXVIII. **Resumen de caudales tomados He(m):2,50m**

He(m)	Hs(m)	Caudal (L/s) promedio
2,5	3	0,142
2,5	3,5	0,131
2,5	4	0,121
2,5	4,5	0,109
2,5	5	0,102
2,5	5,5	0,089
2,5	6	0,082
2,5	6,5	0,076

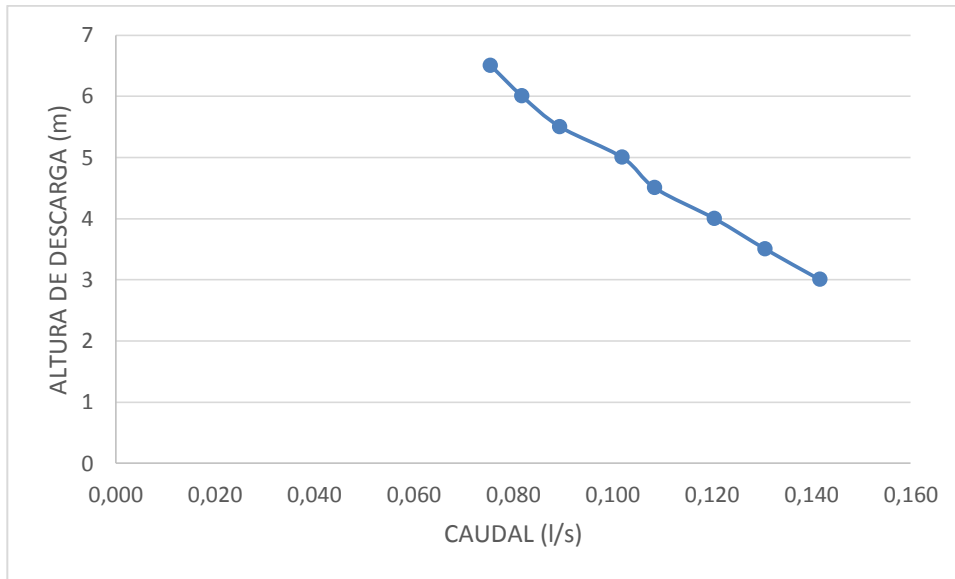
Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Caudal VS altura de descarga (altura de entrada=2,50m)**



Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Altura de descarga VS caudal (altura de entrada=2,50m)**



Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXIX. **Resumen altura de descarga VS caudal**

He(m).	Hs(m).	Caudal (L/s) promedio
1,00	1,5	0,083
1,00	2	0,076
1,00	2,5	0,068
1,5	2	0,187
1,5	2,5	0,167
1,5	3	0,146
1,5	3,5	0,133
1,5	4	0,113
1,5	4,5	0,099
1,5	5	0,086
1,5	5,5	0,075
1,5	6	0,071
1,5	6,5	0,067
1,5	7	0,059
2	2,5	0,112
2	3	0,106
2	3,5	0,103

Continuación de la tabla LXXIX.

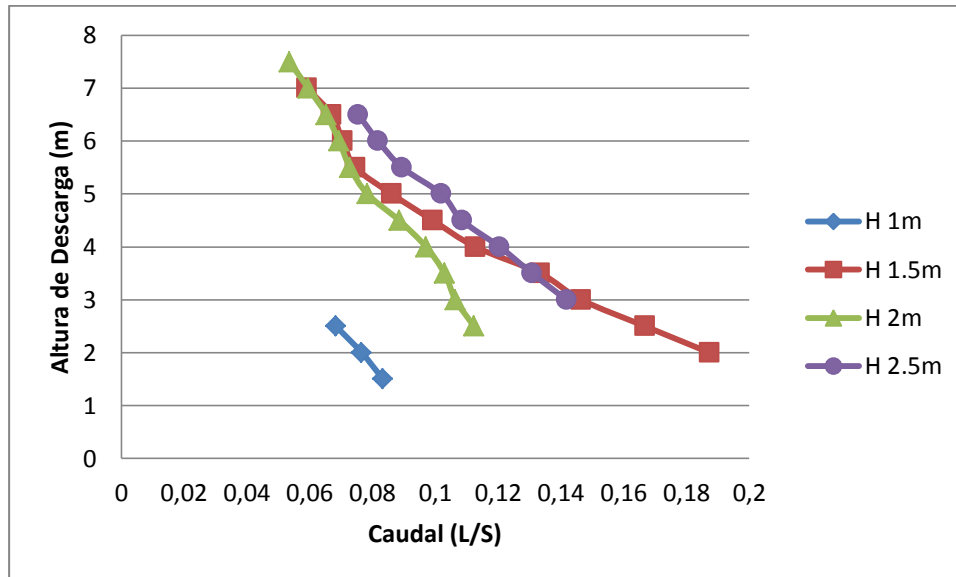
2	4	0,097
2	4,5	0,089
2	5	0,078
2	5,5	0,073
2	6	0,069
2	6,5	0,065
2	7	0,060
2	7,5	0,054
2,5	3	0,142
2,5	3,5	0,131
2,5	4	0,121
2,5	4,5	0,109
2,5	5	0,102
2,5	5,5	0,089
2,5	6	0,082
2,5	6,5	0,076

Fuente: elaboración propia.

3.5. Curva de selección de altura de alimentación para conceder un caudal

A continuación, se muestra la curva de selección de altura de alimentación para conceder un caudal.

Figura 27. Curva de interpolación para selección de altura



Fuente: elaboración propia.

3.6. Ensayo, pérdida de fricción (f) dentro de la manguera de descarga

El cálculo de las pérdidas se puede efectuar utilizando la ecuación:

$$f = (Hf) \left(\frac{\phi}{Long\ M} \right) \left(\frac{1}{K} \right)$$

Donde:

Hf: diferencia de altura piezométrica (m)

Ø: diámetro de la manguera (1,3cm)

Long M: longitud de manguera (2,00m)

K: energía cinética

Tabla LXXX. Longitud y diámetro de manguera

Longitud	2	m.
Diámetro	1,3	cm.

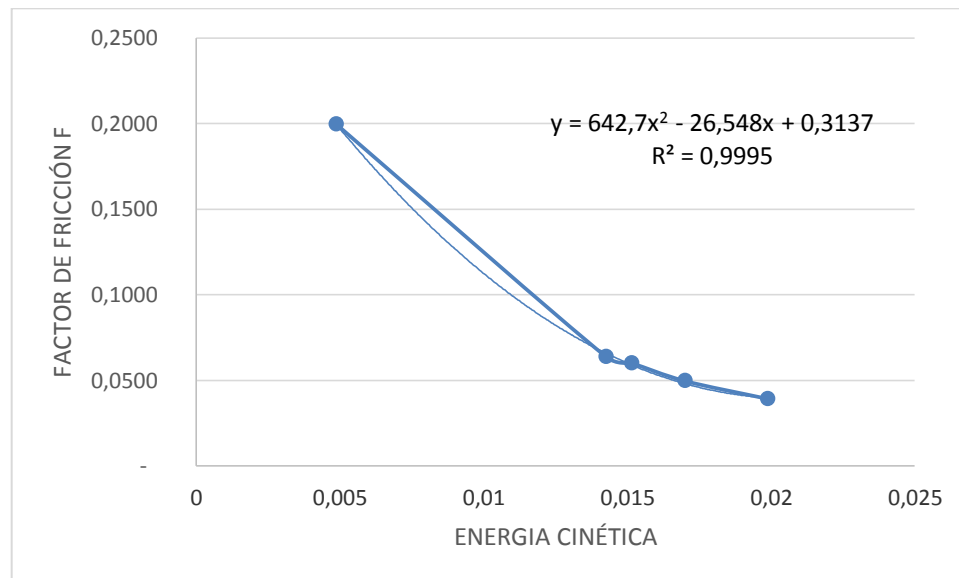
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXI. Factor fricción (f) de manguera long. 2,00m

Caudales (l/s)	Velocidad (m/s)	Energía C (m)	Perdida (m)	f
0,083	0,624737914	0,019892837	0,12	0,0392
0,077	0,577792868	0,017015525	0,13	0,0497
0,072	0,54549005	0,015166126	0,14	0,0600
0,070	0,529001315	0,014263119	0,14	0,0638
0,041	0,309710064	0,004888905	0,15	0,1994

Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Factor de fricción f vs energía cinética



Fuente: elaboración propia.

3.7. Ensayo, pérdida de fricción dentro de la tubería

Cuando un fluido circula a través de una tubería su contenido total de energía va disminuyendo lentamente, debido a la intervención de las tensiones de corte provocadas por la viscosidad del fluido.

El cálculo de las pérdidas se puede efectuar utilizando la ecuación de Darcy-Wiesbach, que establece:

Ecuación de pérdida

Despejando f:

$$H_L = \frac{f \cdot Long T \cdot v^2}{2 \cdot g \cdot \Phi}$$

Despejando (f) encontramos el dato que requerimos (factor de fricción)

h_L = Pérdida primaria de energía (m)

f = Factor de Fricción

Long T = Longitud de la tubería (m)

v = Velocidad promedio en la sección transversal del conducto (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

Φ = Diámetro de la tubería (m)

Tabla LXXXII. **Tiempo de pérdidas con válvula abierta 3 vueltas**

Volumen 1 Litro				
Tiempo de Aforo (Segundos)				
Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
11,99	12,12	12	11,99	12,2

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXIII. **Caudales otorgados con válvula abierta 3 vueltas**

Caudal Otorgado (lts/seg)				
Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
0,083402836	0,082508251	0,08333333	0,083402836	0,081967213
Caudal Promedio				0,083

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXIV. **Tiempo de pérdidas con válvula abierta 2.5 vueltas**

Volumen 1 Litro				
Tiempo de Aforo (Segundos)				
Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
13,16	13,15	12,91	13,03	12,95

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXV. **Caudales otorgados con válvula abierta 2,5 vueltas**

Caudal otorgado (lts/seg)				
Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
0,075987842	0,076045627	0,0774593	0,076745971	0,077220077
Caudal Promedio				0,077

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXVI. **Tiempo de pérdidas con válvula abierta 2,0 vueltas**

Volumen 1 Litro				
Tiempo de Aforo (Segundos)				
Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
13,87	13,94	13,72	13,84	13,69

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXVII. **Caudales otorgados con válvula abierta 2,0 vueltas**

Caudal Otorgado (Its/seg)				
Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
0,072098053	0,071736011	0,0728863	0,072254335	0,073046019
Caudal Promedio				0,072

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXVIII. **Tiempo de pérdidas con válvula abierta 1,5 vueltas**

Volumen 1 Litro				
Tiempo de Aforo (Segundos)				
Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
14,2	14,26	14,18	14,3	14,27

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXIX. **Caudales otorgados con válvula abierta 1,5 vueltas**

Caudal Otorgado (Its/seg)				
Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
0,070422535	0,070126227	0,0705219	0,06993007	0,070077085
Caudal Promedio				0,070

Fuente: elaboración propia.

Tabla XC. **Tiempo de pérdidas con válvula abierta 1,0 vueltas**

Volumen 1 Litro				
Tiempo de Aforo (Segundos)				
Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
24,37	24,22	24,3	24,37	24,37

Fuente: elaboración propia.

Tabla XCI. **Caudales otorgados con válvula abierta 1,0 vueltas**

Caudal Otorgado (lts/seg)				
Toma 1	Toma 2	Toma 3	Toma 4	Toma 5
0,041034058	0,041288192	0,0411523	0,041034058	0,041034058
Caudal Promedio				0,041

Fuente: elaboración propia.

Tabla XCII. **Perdida del caudal por fricción (f) en la tubería de descarga altura 1,5m**

Velocidades	L/s	Energía K	Caudales (m3/s)	Caudales (l/s)	Fac. Fricción	Carga Salida
0,6253	0,0830	0,0199	0,00008	0,0830	0,0003	1,50
0,5688	0,0755	0,0165	0,00008	0,0755	0,0004	2,00
0,5153	0,0684	0,0135	0,00007	0,0684	0,0007	2,50

Fuente: elaboración propia.

Tabla XCIII. **Perdida del caudal por fricción (f) en la tubería de descarga altura 2,00m**

Velocidades	L/s	Energía K	Caudales (m3/s)	Caudales (l/s)	Fac. Fricción
1,411864442	0,1874	0,10159843	0,0001874	0,1874	0,00582729
1,256664829	0,1668	0,080489628	0,0001668	0,1668	0,00405044
1,103725404	0,1465	0,062090202	0,0001465	0,1465	0,002564208
1,005030505	0,1334	0,051482483	0,0001334	0,1334	0,001759614
0,849830891	0,1128	0,036810018	0,0001128	0,1128	0,000784448
0,747369011	0,0992	0,028468932	0,0000992	0,0992	0,000385545
0,648674111	0,0861	0,021446386	0,0000861	0,0861	0,000259457
0,562033551	0,0746	0,016099985	0,0000746	0,0746	0,000457407
0,531325579	0,070524061	0,014388729	7,05241E-05	0,070524061	0,000626984
0,504817754	0,067005616	0,012988836	6,70056E-05	0,067005616	0,00082895

Fuente: elaboración propia.

Tabla XCIV. **Perdida del caudal por fricción (f) en la tubería de descarga altura 2,50m**

Velocidades	L/s	Energía K	Caudales (m3/s)	Caudales (l/s)	Fac. Fricción
0,846005502	0,112292247	0,036479374	0,000112292	0,112292247	0,000765608
0,801781239	0,10642226	0,032765196	0,000106422	0,10642226	0,000568895
0,775467677	0,1029296	0,030649853	0,00010293	0,1029296	0,000471568
0,731208554	0,097054986	0,027251068	9,7055E-05	0,097054986	0,000345113
0,666906958	0,088520087	0,022668955	8,85201E-05	0,088520087	0,000259022
0,590513136	0,078380161	0,017772975	7,83802E-05	0,078380161	0,000351708
0,548549995	0,072810297	0,015336753	7,28103E-05	0,072810297	0,000524141
0,522557816	0,069360295	0,013917771	6,93603E-05	0,069360295	0,000687581
0,492185555	0,065328916	0,012346923	6,53289E-05	0,065328916	0,000946378
0,448626542	0,059547228	0,010258194	5,95472E-05	0,059547228	0,001479963
0,403305581	0,053531673	0,008290285	5,35317E-05	0,053531673	0,002314878

Fuente: elaboración propia.

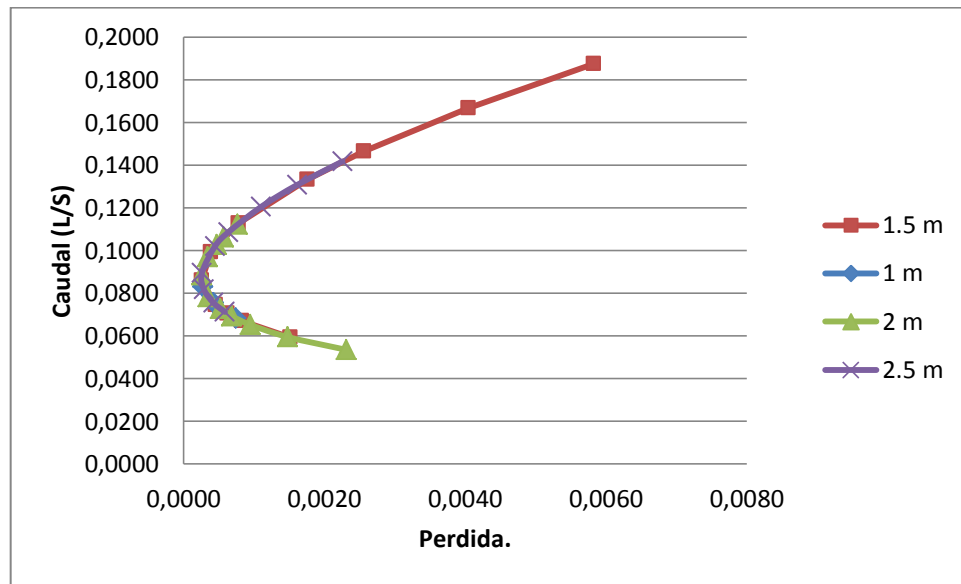
Tabla XCV. **Perdida del caudal por fricción (f) en la tubería de descarga altura 3,00m**

Velocidades	L/s	Energía K	Caudales (m3/s)	Caudales (l/s)	Fac. Fricción
1,068304889	0,141798554	0,058168977	0,000141799	0,141798554	0,002260623
0,985380403	0,130791797	0,049489018	0,000130792	0,130791797	0,001615348
0,908080188	0,120531562	0,042029033	0,000120532	0,120531562	0,00110425
0,817792321	0,108547447	0,034086864	0,000108547	0,108547447	0,000635503
0,768154879	0,101958956	0,030074512	0,000101959	0,101958956	0,000447337
0,673977439	0,089458569	0,023152171	8,94586E-05	0,089458569	0,00026205
0,616448067	0,081822563	0,019368411	8,18226E-05	0,081822563	0,00029202
0,568873976	0,075507945	0,016494271	7,55079E-05	0,075507945	0,000427829
0,537149997	0,071297149	0,014705918	7,12971E-05	0,071297149	0,000589881

Fuente: elaboración propia.

En los resultados obtenidos se puede determinar que más velocidad tenga el fluido las pérdidas se reducen, y si la velocidad del fluido es menor los resultados de las pérdidas de fricción incrementan.

Figura 29. **Factor pérdida F para cada caudal, de altura menor a mayor**



Fuente: elaboración propia.

3.8. **Determinación de la presión en la entrada y en la salida de la bomba de ariete hidráulico**

Para determinar las pérdidas de presión en la salida de la bomba de ariete se utilizó la ecuación de Bernoulli en la que nos permite evaluar las pérdidas velocidades y presiones en distintos tramos.

Ecuación de Bernoulli

$$\frac{V1^2}{2g} + \frac{P1}{\gamma} + Z1 = hf + \frac{V2^2}{2g} + \frac{P2}{\gamma} + Z2$$

V velocidad del fluido en la sección considerada

P presión a lo largo de la línea de corriente

G aceleración gravitatoria

z = altura en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia.

La ecuación de Hazen-Williams ayuda a determinar las pérdidas por fricción en tuberías completamente llenas de agua (a presión) y utilizando la ecuación de continuidad para expresarla en función del caudal conducido.

Los valores del coeficiente de fricción de Hazen-Williams en función del material y revestimiento interno de la tubería o conducción. En esta tabla te presentamos algunos valores en tuberías fabricadas con materiales de uso común:

Tabla XCVI. **Factor coeficiente de fricción**

Material	Coeficiente de fricción de Hazen-Williams (C)
Hierro fundido sin recubrimiento interno	130
Acero fundido sin recubrimiento interno	120
PVC	150
Acero galvanizado	120
Concreto (superficie rugosa)	120
Concreto centrifugado	130

Fuente: elaboración propia.

Ecuación de Hazen-Williams

$$hf = 10.67 \times \left(\frac{Q \left(\frac{m^3}{s} \right)}{C} \right)^{1.852} \times \left(\frac{Long T m}{D_m^{4.87}} \right)$$

hf pérdida Hazen-Williams

Long T longitud de tubería

V constante de rugosidad (PVC)

Q caudal (m³/s)

D diámetro tubería de descarga

Tabla XCVII. **Presión en la salida de la bomba de ariete hidráulico**
H=1m

Perdida E salida	Perdida E entrada (m)	K sistema	P En Kpa	P Sa Kpa	Dif Presión	% aumento
0,0060	0,000721	0,000152	9,8014	11,8307	2,0293	17,1524
0,0076	0,000605	0,000126	9,8028	16,7516	6,9487	41,4812
0,0108	0,000504	0,000103	9,8040	21,6881	11,8841	54,7953

Fuente: elaboración propia.

Tabla XCVIII. **Presión en la salida de la bomba de ariete hidráulico**
H=1,5m

Perdida ener salida	Perdida E entrada (m)	K sistema	P Ent Kpa	P Sal Kpa	Dif Presión	% aumento
0,637585378	0,003511167	0,000774194	14,67296061	22,93171256	8,258751954	36,01454507
0,351096723	0,002830678	0,000613342	14,68121416	25,02625886	10,34504469	41,33676053
0,171459298	0,002226524	0,000473136	14,68851634	28,16901572	13,48049938	47,85577003
0,097557708	0,00187226	0,000392304	14,69278463	32,34904111	17,65625648	54,58046319
0,031096744	0,001372776	0,000280497	14,69878139	36,60205905	21,90327766	59,84165435
0,011820351	0,001082367	0,000216937	14,70225383	41,31795765	26,61570382	64,41679437
0,005992438	0,000832882	0,000163424	14,70522623	46,16578582	31,46055958	68,14691666
0,007930733	0,000638844	0,000122684	14,70752941	51,08980049	36,38227108	71,21239607
0,009715462	0,000575774	0,000109644	14,70827605	56,01230869	41,30403263	73,74099301
0,011595331	0,000523761	9,89767E-05	14,70889094	60,9357502	46,22685926	75,86163969
0,016567058	0,000416938	7,73462E-05	14,71015107	65,88952284	51,17937177	77,67452178

Fuente: elaboración propia.

Tabla XCIX. **Presión en la salida de la bomba de ariete hidráulico**
H=2,00m

Perdida E salida	Perdida E entrada (m)	K sistema	P Ent Kpa	P Sal Kpa	Dif Presión	% aumento
0,030077281	0,001461319	0,000277978	19,60293749	21,87705813	2,274120633	10,39500201
0,020073803	0,001323147	0,000249675	19,60457061	26,68392401	7,079353398	26,53040608
0,015565313	0,001243935	0,000233556	19,60550582	31,54469572	11,93918991	37,84848651
0,010128146	0,001115786	0,000207657	19,60701702	36,39635711	16,78934009	46,12917727
0,006323435	0,000941078	0,000172741	19,60907344	41,2640329	21,65495946	52,47901849
0,006731739	0,000751414	0,000135432	19,61130003	46,17303836	26,56173833	57,52651173
0,00865698	0,000655624	0,000116868	19,61242185	51,09692497	31,48450312	61,61721696
0,01030572	0,000599312	0,000106055	19,61308034	56,01809911	36,40501877	64,98795808
0,01258369	0,000536467	9,40852E-05	19,61381428	60,94544599	41,33163171	67,81742432
0,01634957	0,000451952	7,81688E-05	19,61479952	65,88738928	46,27258976	70,22981221
0,020667229	0,000371132	6,31731E-05	19,61573947	70,83474552	51,21900605	72,30774343

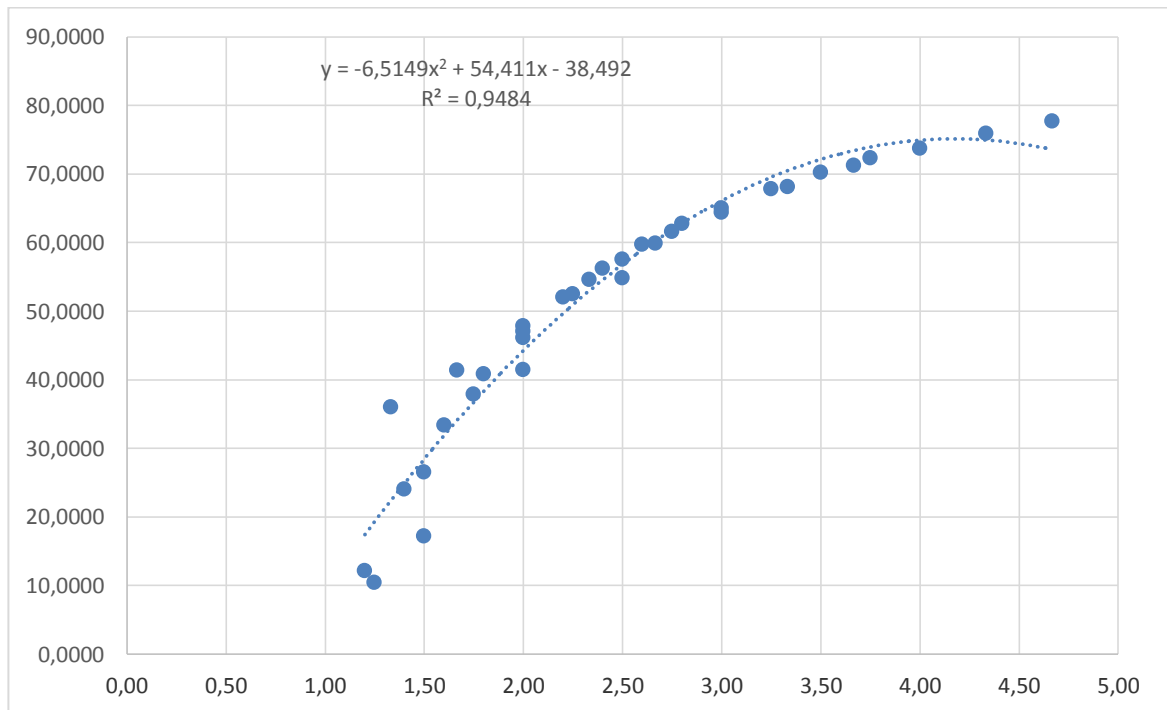
Fuente: elaboración propia.

Tabla C. **Presión en la salida de la bomba de ariete hidráulico**
H=2,50m

Perdida E salida	Perdida E entrada (m)	K sistema	P Ent Kpa	P Sal Kpa	Dif Presión	% aumento
0,002557847	0,000443255	24,49555918	27,87622688	27,87622688	3,380667695	12,12742209
0,002202702	0,000377113	24,49969202	32,23655647	32,23655647	7,736864453	24,00028198
0,001893731	0,000320267	24,50328069	36,78730964	36,78730964	12,28402896	33,39202861
0,001560192	0,000259747	24,5071464	41,43085395	41,43085395	16,92370754	40,84807802
0,001389532	0,000229172	24,50912051	46,24913035	46,24913035	21,74000984	47,00631055
0,001090893	0,000176423	24,51256763	51,07609583	51,07609583	26,5635282	52,00774995
0,000924905	0,00014759	24,51447883	55,97675307	55,97675307	31,46227424	56,205965
0,000797202	0,000125689	24,51594645	60,89655161	60,89655161	36,38060516	59,74165072
0,000716911	0,000112061	24,51686778	65,81864528	65,81864528	41,30177749	62,75087753

Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Aumento de presión vs descarga – alimentación**



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Se corroboró que la altura mínima de abastecimiento para el ariete es de 1m.
2. Es posible establecer una relación entre la altura y los caudales bombeados por la bomba de ariete hidráulico artesanal de $\varnothing 1\frac{1}{2}$ ". De esta manera, determinar la eficiencia de la bomba que llega a un valor máximo de xxx en el aumento de la energía de presión, esto se puede visualizar en la tabla número xxx.
3. Los caudales que se pudieron transportar fueron:
4. Para una altura de abastecimiento de 1m la altura máxima de descarga obtenida 2,5m, obteniendo una relación de descarga vs abastecimiento 2,5 y un caudal 0,068L/s.
5. Para una altura de abastecimiento de 1,5m la altura máxima de descarga obtenida 7,0m, obteniendo una relación de descarga vs abastecimiento 4,66 y un caudal 0,059L/s.
6. Para una altura de abastecimiento de 2,0m la altura máxima de descarga obtenida 7,5m, obteniendo una relación de descarga vs abastecimiento 3,75 y un caudal 0,054L/s.

7. Para una altura de abastecimiento de 2,5m la altura máxima de descarga obtenida 6,5m, obteniendo una relación de descarga vs abastecimiento 2,60 y un caudal 0,076L/s.
8. Para una altura de abastecimiento mayor a 3,00m la bomba de ariete no funcionó.
9. De acuerdo con los resultados, es posible determinar una relación directamente proporcional entre el caudal y la altura de alimentación e inversamente proporcional a la altura de descarga, concluyendo que el máximo caudal se obtiene en una altura de alimentación 1,5m y una altura de descarga 2,00m dando como resultado 0,187 L/s. esta información puede observarse en la tabla XXVI.
10. Para mejorar la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico artesanal de $\varnothing 1\frac{1}{2}$ " se coloca un resorte dentro de la canasta de válvula con características de diámetro de alambre de 1,25mm, diámetro externo 30mm, longitud libre 55,00mm, número total de espirales 5 para regular la velocidad de cierre del *check* de fondo según las condiciones de la caída y descarga, ajustando el resorte de modo que no ocasione una pérdida de fricción muy alta en la tubería de impulsión.
11. Existe una relación polinómica de segundo grado entre la altura de descarga y la altura de abastecimiento, en la que puede observar conforme aumenta la relación de altura de descarga y abastecimiento aumenta también la presión, por consecuencia, disminuye el caudal de descarga. Esta relación entre la altura de descarga - abastecimiento puede observarse en la figura 29.

RECOMENDACIONES

1. Construir una caseta con fácil acceso en el área donde se colocará la bomba de ariete hidráulico que permita proteger el ariete.
2. Visitar constante la bomba de ariete con el objetivo de verificar su funcionamiento el golpeteo, chequeo de piezas y uniones entre accesorios.
3. construcción de una obra hidráulica, con el fin de recaudar el caudal perdido por la *check* de fondo, para reducir pérdidas de recursos hídricos y conducirlo a un lugar aguas abajo dándole una nueva reutilización al recurso hídrico.
4. Analizar el comportamiento del ariete con alturas de tres metros o mayores, cambiando el resorte que se incorpora en la válvula de cheque.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGITORES MARTÍNEZ, Francisco Javier. *Estudio teórico y experimental de la bomba de ariete*. Trabajo de graduación de Ingeniero Superior Industrial, España, febrero de 2012. 85 p.
2. DAGOBERTO GOMEZ, Ricardo Triana. *Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico para uso residencial*. Colombia: Universidad distrital francisco José de caldas, 2015. 55 p.
3. MOLINA MEJIA, Hector Eduardo. *Consideraciones sobre arietes*. Trabajo de graduación de arquitecto. Facultad de Arquitectura, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1967. 82 p.
4. ORTÍZ MASEK, Gustavo Adolfo. *El golpe de ariete en sistemas de abastecimiento de agua potable* Trabajo de graduación de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. 96 p.
5. SANDOVAL LÓPEZ, Rigorbeto Rafael. , *Manual de construcción de un ariete hidráulico para el abastecimiento de agua*. Trabajo de graduación de Ingeniero Mecánico. Facultad de ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. 70 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Pérdidas por fricción en la tubería

Para determinar las pérdidas por fricción en la tubería se utilizó el siguiente equipo, el cual permitió establecer el caudal de un fluido y la variación de presión que hay entre dos puntos.

Este equipo de ensayo permitió estudiar la relación entre la pérdida de carga como consecuencia de la fricción en fluidos y la velocidad en el flujo del tubo, además determinar el factor de fricción.

Figura 1. Equipo para ensayo de pérdida por fricción



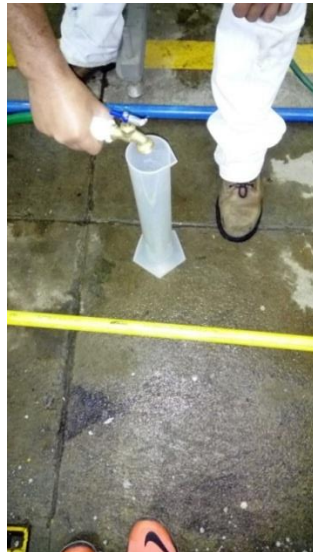
Fuente: elaboración propia.

Figura 2. **Variación de la presión y determinación de las pérdidas por fricción en tuberías**



Fuente: elaboración propia.

Figura 3. **Realización de ensayo de fricción**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2 **Método volumétrico**

El método volumétrico consiste en medir el tiempo que tarda en llenarse un recipiente de volumen.

Procedimiento es el siguiente:

- Poseer un recipiente plástico de 3 litros
- Recoger en el recipiente toda la descarga de agua que fluye

Observar que la descarga sea uniforme y medir el tiempo que dura en llenarse el recipiente. Repitiendo la medición tres veces y sacar un promedio.

Figura 4. **Recipiente plástico de 3 litros**



Fuente: elaboración propia.

