



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN ARIETE HIDRÁULICO CON FINES  
DIDÁCTICOS Y EXPERIMENTALES PARA LA CARRERA DE  
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA  
DE COTOPAXI”**

Autores

Cueva Pico Gabriela Miroslava

Romero Monje Alex Alfonso

Tutor:

Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; P.h.D

Latacunga – Ecuador

Noviembre 2017



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto, los postulantes: **Cueva Pico Gabriela Miroslava y Romero Monje Alex Alfonso**, con el título de Proyecto de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN ARIETE HIDRÁULICO CON FINES DIDÁCTICOS Y EXPERIMENTALES PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 8 de noviembre de 2017

Para constancia firman:

**Lector 1**

**Nombre:** Ing. Enrique Torres Tamayo Ph.D  
**CC:** 1757121940

**Lector 2**

**Nombre:** Ing. Byron Paul Corrales Bastidas Ms.C.  
**CC:** 0502347768

**Lector 3**

**Nombre:** Ing. Segundo Ángel Cevallos Betún Ms.C  
**CC:** 0501782437



## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: “IMPLEMENTACIÓN DE UN ARIETE HIDRÁULICO CON FINES DIDÁCTICOS Y EXPERIMENTALES PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI” de Cueva Pico Gabriela Miroslava y Romero Monje Alex Alfonso, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto de investigación que el Consejo Directivo de la FACULTAD de Ciencias dela Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Octubre, 2017

.....  
Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; P.h.D



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros Cueva Pico Gabriela Miroslava y Romero Monje Alex Alfonso declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN ARIETE HIDRÁULICO CON FINES DIDÁCTICOS Y EXPERIMENTALES PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI” siendo Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; P.h.D tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

.....  
Gabriela Miroslava Cueva Pico

172023697-3

.....  
Alex Alfonso Romero Monje

050349481-7



## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Latacunga, Octubre del 2017

Yo Ing. MBA Raúl Reinoso en el cumplimiento de mis funciones como director de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en conjunto con el Ph.D. Enrique Torres, coordinador de la línea de investigación: Eficiencia energética y fuentes renovables de energía de la carrera de Ingeniería Electromecánica. **CERTIFICAMOS** que los señores **Cueva Pico Gabriela Miroslava y Romero Monje Alex Alfonso**. Han desarrollado su tesis de forma práctica implementando un módulo para el desarrollo de prácticas de laboratorio en la asignatura de Fluidos con el título: **"IMPLEMENTACIÓN DE UN ARIETE HIDRÁULICO CON FINES DIDÁCTICOS Y EXPERIMENTALES PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI"**

Ing. Raúl Reinoso MBA.

Ing. Enrique Torres Tamayo Ph.D

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar a Dios por haber hecho posible este logro, a mi Padre Gabriel por su apoyo desde el inicio de este proyecto, a mi Esposo Marco e Hija Romina por su paciencia y por estar conmigo en cada paso para lograr culminar el presente proyecto

A los docentes que compartieron sus conocimientos en las aulas de clases, en especial al Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso, por su guía y colaboración.

Gaby

## **AGRADECIMIENTO**

A mi madre por ser un ejemplo a seguir de trabajo y colaboración con los demás.

A mi papá por ayudarme y apoyarme siempre con sus consejos y su ejemplo de perseverancia, rectitud, integridad y ética.

A mis hermanos e hijo por la paciencia que me han tenido.

A mis maestros por compartir conmigo lo que saben y poder transferir sus conocimientos a mi vida.

A Dios por permitirme sonreír nuevamente y tener salud para concluir mis metas.

Alex



## **DEDICATORIA**

Todo el esfuerzo realizado se lo dedico a mi Abue Mariana, quien siempre me enseño que se debe terminar todo aquello que se inicia y estoy segura que desde el cielo me observa orgullosa.

A mi pequeña Hija Romina, que es la luz de mis días, ella que es la persona que con una sonrisa hace que todo sea más fácil y que cada esfuerzo valga la pena.

Y como olvidarme de mi esposo Marco que ha estado conmigo de la mano durante todo el camino, con sus altos y bajos, que ha sabido apoyarme y darme la palabra correcta en el momento preciso.

Gaby



## **DEDICATORIA**

A Dios: por permitirme tener la fuerza para terminar mi carrera.

A mis padres: por su esfuerzo en concederme la oportunidad de estudiar y por su constante apoyo a lo largo de mi vida.

A mis hermanos, parientes y amigos: por sus consejos, paciencia y toda la ayuda que me brindaron para concluir mis estudios.

A mi hijo: Por ser la razón de mí existir sin ellos la fuerza de levantarme cada día para ser mejor persona.

Alex

## ÍNDICE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	4
5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
6. OBJETIVOS: .....	4
General .....	4
Específicos .....	4
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	5
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA .....	5
Antecedentes.....	5
Estudio del Fenómeno de Golpe de Ariete .....	7
Elementos para la instalación del ariete hidráulico.....	7
<input type="checkbox"/> Captación de fuente .....	7
<input type="checkbox"/> Colector de fuente.....	8
<input type="checkbox"/> Pozo de extracción o tanque de abastecimiento.....	8
<input type="checkbox"/> Tubería de impulso o tubería de alimentación.....	8
<input type="checkbox"/> Conducto vertical o tubería de bombeo .....	8
<input type="checkbox"/> Tanque elevado .....	9
Golpe de ariete.....	9
<input type="checkbox"/> Golpe de ariete aplicado a la ingeniería.....	10
Evolución del ariete hidráulico .....	10
Tiempo de cierre de una válvula.....	11
9. PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS:.....	12

10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL: .....	12
Metodología para evaluar la eficiencia .....	12
Análisis del tiempo de cierre de la válvula de impulso. ....	14
Fuerzas hidráulicas sobre la válvula de impulso.....	16
Pérdidas hidráulicas por fricción; primarias y secundarias.....	17
Ecuaciones de flujo y pérdidas hidráulicas para el Ariete Hidráulico .....	18
Altura desarrollada por el ariete y caudal circulante .....	18
Magnitud del golpe de ariete.....	19
Arranque del Ariete Hidráulico .....	20
Periodos del trabajo del ariete hidráulico.....	21
<input type="checkbox"/> Periodo 1: De aceleración o derrame .....	23
<input type="checkbox"/> Periodo 2: De retardación o bombeo. ....	24
<input type="checkbox"/> Periodo 3: De retroceso o de flujo invertido.....	25
Justificación de materiales .....	27
<input type="checkbox"/> Cuerpo del ariete hidráulico.....	27
<input type="checkbox"/> Válvulas .....	28
<input type="checkbox"/> Base.....	28
<input type="checkbox"/> Pozo de extracción o tanque de abastecimiento.....	28
<input type="checkbox"/> Tubería de impulso o tubería de alimentación .....	29
<input type="checkbox"/> Conducto vertical o tubería de bombeo .....	29
Maquinas herramientas que utilizamos para la construcción del ariete hidráulico.....	29
<input type="checkbox"/> Suelda eléctrica .....	29
<input type="checkbox"/> Amoladora .....	29
Instrumentos.....	30
11. Desarrollo de la propuesta .....	30
Construcción .....	30
<input type="checkbox"/> Descripción de la parte hidráulica .....	30

<input type="checkbox"/> Perdidas por fricción en la tubería de alimentación.....	32
<input type="checkbox"/> Determinación de los coeficientes de resistencias locales.....	32
<input type="checkbox"/> Cálculo de la altura de alimentación $H_a$ .....	33
<input type="checkbox"/> Tiempo de duración de un período. ....	34
<input type="checkbox"/> Cálculo de las pérdidas por fricción en el conducto vertical. ....	34
<input type="checkbox"/> Cálculo de las pérdidas locales en el conducto vertical.....	34
<input type="checkbox"/> Cálculo de las pérdidas inerciales en el conducto vertical.....	34
<input type="checkbox"/> Cálculo de la altura desarrollada por el ariete.....	34
Determinación del régimen de trabajo .....	36
12. IMPACTOS:.....	42
Económicos.....	42
Ambientales .....	42
Sociales	42
Tecnológicos.....	42
13. PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO: .....	43
14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	44
Conclusiones.....	44
Recomendaciones .....	45
15. BIBLIOGRAFÍA.....	46
ANEXOS.....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Funcionamiento del ariete hidráulico.....	6
<b>Figura 2.</b> Entrada del tubo de impulsión .....	8
<b>Figura 3.</b> Instalación optima del tubo de impulsión .....	8
<b>Figura 4.</b> Elementos que constituyen la instalación de un ariete hidráulico .....	9
<b>Figura 5.</b> Golpe de ariete .....	10
<b>Figura 6.</b> Centrado y ajuste de la válvula de impulso .....	11
<b>Figura 7.</b> Ariete Hidráulico 3D.....	12
<b>Figura 8.</b> Velocidad del agua en función del tiempo.....	22
<b>Figura 9.</b> Eventos que se presentan en un ciclo.....	22
<b>Figura 10.</b> Aceleración del fluido y derrame por la válvula de impulso. ....	23
<b>Figura 11.</b> Cierre de las válvulas de impulsión .....	24
<b>Figura 12.</b> Amortiguación en la cámara de aire .....	24
<b>Figura 13.</b> Cierre de la válvula de descarga .....	25
<b>Figura 14.</b> Caída de presión en la caja de válvulas.....	26
<b>Figura 15.</b> Reapertura de las válvulas, nuevo ciclo de trabajo .....	26
<b>Figura 16.</b> Dimensiones de la instalación experimental .....	31
<b>Figura 17.</b> Dimensión de la tubería de impulsión.....	32
<b>Figura 18.</b> Perdidas locales de la instalación.....	33
<b>Figura 19.</b> Pérdidas locales en la tubería de descarga. ....	35
<b>Figura 20.</b> Caudal de Salida vs altura de bombeo .....	36
<b>Figura 21.</b> Comportamiento de los golpes de la válvula con el aumento de la altura de carga .....	37
<b>Figura 22.</b> Relación del caudal de entrada con el caudal de salida .....	38
<b>Figura 23.</b> Relación del rendimiento con el caudal de salida.....	39
<b>Figura 24.</b> Relación entre el rendimiento de Ranquin con el Caudal de Salida .....	40
<b>Figura 25.</b> Relación del rendimiento volumétrico con el caudal de salida.....	41

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Beneficiarios del proyecto .....	4
<b>Tabla 2.</b> Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados .....	5
<b>Tabla 3.</b> Medios e instrumentos empleados en la experimentación y fabricación. ....	30
<b>Tabla 4.</b> Resumen de cálculos .....	35
<b>Tabla 5.</b> Resumen de cálculos .....	36
<b>Tabla 6.</b> Resultados experimentales de flujo y altura de descarga del ariete. ....	36
<b>Tabla 7.</b> Resultados experimentales de Rendimiento .....	39
<b>Tabla 9.</b> Presupuesto.....	43
Continuación de la <b>Tabla 9.</b> Presupuesto.....	44

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS

**TITULO:** “IMPLEMENTACIÓN DE UN ARIETE HIDRÁULICO CON FINES DIDÁCTICOS Y EXPERIMENTALES PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”.

**Autores:**

Cueva Pico Gabriela Miroslava

Romero Monje Alex Alfonso

### RESUMEN

En la actualidad es de principal importancia la utilización de energías renovables, por ello este proyecto busca incentivar su práctica, para esto se dará al estudiante una herramienta, que ayudara de forma práctica en su formación profesional, se trata de un Ariete hidráulico, mismo que se puede trasportar y re ensamblar para su funcionamiento en exteriores.

Entre sus partes principales están: dos tanques, tanque de abastecimiento y tanque elevado, manguera de alimentación y manguera de bombeo, una válvula de impulso, válvula de aire, válvula check, cámara de aire o campana.

Los elementos para la instalación del ariete son, un tanque de 1000 litros, 12 metros de manguera rígida de 40 mm, esta es la tubería de impulso, 10 metros de manguera flexible de 25 mm, esta es la tubería de bombeo, el ariete se encuentra sobre una base de tubo cuadrado, dos llaves de paso, una para la entrada del fluido al ariete y otra para la salida del fluido del ariete. Todos los elementos mencionados son desmontables, de tal manera que los usuarios puedan trasladarla al lugar donde se requiera y así conseguir los datos necesarios para realizar su práctica.

Este ariete hidráulico para flujo unidimensional del agua contenida en el tubo depende de tres variables, caudal, altura y tiempo.

Se debe considerar dos estados del ariete hidráulico, el arranque y cuando ya ha superado el arranque y presenta un comportamiento cíclico.

El ariete hidráulico tarda 5 minutos en entrar en funcionamiento, a través de los datos recopilados en la práctica se puede comprobar que manteniendo una altura de entrada de 2 m y variando la altura de salida en (4, 6 y 8) m, el caudal también varía en forma inversa, a más altura menor caudal, al igual que el número de golpes en la válvula de impulso, dándonos como resultado para la altura de 4 m un rendimiento hidráulico de 84, 8 % y para la altura de 8 m un rendimiento hidráulico de 52,4 % .

*Palabras clave:*

Ariete, hidráulico, impulso, didáctico, laboratorio, electromecánica, válvulas



# TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

## ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES FACULTY

**Research Title:** "IMPLEMENTATION OF A HYDRAULIC ARIETE WHIT DIDACTIC AND EXPERIMENTAL PURPOSES FOR ELECTROMECHANICAL' S ENGINEERING CAREER OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI".

### Authors:

Cueva Pico Gabriela Miroslava

Romero Monje Alex Alfonso

### ABSTRACT

Nowadays the main important usage of renewable energies, therefore this project focuses to encourage its practice, it will give to the student a tool which will help in practical ways in their professional training, it is about a hydraulic ram which can you transport and reassemble for its outdoor functioning.

Among its main parts involved two tanks such us supply tank, elevated tank, supply hose, pumping hose, an impulse valve, air valve, check valve and an air chamber or air hood.

The elements for the installation of the ram are: a 1000 liters tank, rigid hose 12 meters of 40 mm, this is the impulse piping, flexible hose 10 meters of 25 mm, this is the pumping pipe, the ram is located on a square tube, two shut-off valves, one for the fluid input to the ram and the other for the fluid output of the ram. All the elements mentioned are removable, so that users can move it to the place where is required and as well to get the data needed to carry out its practice.

This hydraulic ram for one-dimensional flow of the water contained in the tube depends on three variables, flow rate, height and time.

Two states of the hydraulic ram must be considered, the burst when it has already exceeded the burst presents a cyclical behavior.

The hydraulic ram takes five minutes to start functioning through the data collected in the practice, it can be verified that it maintains a height of 2 m of input and varying output the height in (4, 6, and 8) m, the flow rate also varies in inverse form, at higher height lower flow, as well as the number of strokes on the impulse valve, giving us as a result to the height of 4 m a hydraulic efficiency of 84, 8% and to the height of 8 m a hydraulic efficiency of 52.4 %.

Keywords:

Ariete, hydraulic, impulse, didactic, laboratory, electromechanical, valves



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por el señores Egresados de la Carrera de Ingeniería en Electromecánica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas: **Cueva Pico Gabriela Miroslava; Romero Monje Alex Alfonso**, cuyo título versa **“IMPLEMENTACIÓN DE UN ARIETE HIDRÁULICO CON FINES DIDÁCTICOS Y EXPERIMENTALES PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, octubre del 2017

Atentamente,

.....  
Lic. M. Sc. Vladimir Sandoval Vizuete

**DOCENTE C.I.**

**C.C. 050210421-9**



## 1. INFORMACIÓN GENERAL

### **Título del Proyecto:**

“IMPLEMENTACIÓN DE UN ARIETE HIDRÁULICO CON FINES DIDÁCTICOS Y EXPERIMENTALES PARA LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”

### **Fecha de inicio:**

2 de Junio del 2017

### **Fecha de finalización:**

6 de Octubre del 2017

### **Lugar de ejecución:**

San Felipe – Latacunga – Latacunga – Cotopaxi – Universidad Técnica de Cotopaxi

### **Facultad que auspicia**

CIYA

### **Carrera que auspicia:**

Ingeniería Electromecánica

### **Coordinadores.**

#### **Datos personales**

<b>Nombres y Apellidos</b>	Gabriela Miroslava Cueva Pico
<b>Cédula de identidad</b>	172023697-3
<b>Ciudad</b>	Pichincha, Quito
<b>Teléfono</b>	0998105204
<b>E-mail</b>	gabrielacuevapico@gmail.com

#### **Datos personales**

<b>Nombres y Apellidos</b>	Alex Alfonso Romero Monje
----------------------------	---------------------------

<b>Cédula de identidad</b>	050349481-7
<b>Ciudad</b>	Cotopaxi, Pujilí
<b>Teléfono</b>	0995372235
<b>E-mail</b>	mariapazromerozapata@gmail.com

**Área de Conocimiento:**

- Dibujo asistido por computadora
- Taller mecánico I
- Resistencia de materiales
- Taller mecánico II
- Dinámica
- Fluidos
- Control hidroneumático

**Línea de investigación:**

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental

**Sub líneas de investigación de la Carrera:**

Eficiencia energética y uso de fuentes renovables de energía.

**2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

El presente proyecto se refiere al diseño, construcción e implementación de un ariete hidráulico con fines didácticos y experimentales.

El principio fundamental a poner en práctica es el golpe de ariete, su utilidad y los beneficios que este nos brinda.

El ariete hidráulico será desmontable, de esta manera el docente podrá movilizarlo con

facilidad para realizar las practicas fuera de la institución puesto que el lugar donde se desarrollara de una manera óptima es en un rio, laguna, donde exista una caída de agua y un flujo constante, también existirá una constante pérdida de agua en la válvula de ímpetu, además se requiere de espacio para elevar el agua a una altura determinada de acuerdo a los parámetros iniciales que se establezca para la práctica, teniendo en cuenta el alcance que tiene el presente ariete hidráulico.

La provincia de Cotopaxi cuenta con muchos lugares que brinda las condiciones para poner en práctica este ariete hidráulico, con la ventaja que no se necesita ninguna fuente de energía adicional como combustible o energía eléctrica.

Este ariete hidráulico para flujo unidimensional del agua contenida en el tubo dependerá de tres variables, caudal tiempo y altura

Se debe considerar dos estados del ariete hidráulico, el arranque y cuando ya ha superado el arranque y presenta un comportamiento cíclico muy diferente al anterior.

Teniendo que su altura máxima de funcionamiento será 30 m, con un rendimiento del 50 %

*Palabras clave:*

Ariete, hidráulico, impulso, didáctico, laboratorio, electromecánica, válvulas.

### **3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Dada la gran búsqueda por cada día tener más fuentes de energía renovable se plantea el estudio y practica de una de ellas, como es la utilización del agua en movimiento, en este caso específico para tomar el fluido de una altura inicial y elevarlo a una altura superior sin la utilización de una bomba que requiera energía eléctrica.

El ariete hidráulico es una máquina de construcción y funcionamiento muy sencillo y de bajo costo, este aprovecha la elevada presión generada por el fenómeno conocido como “golpe de ariete” para impulsar un fluido a una altura superior de su altura inicial.

Debido al bajo costo de construcción, costo de operación reducido y por su baja contaminación ya que no se utiliza ningún tipo de energía ni combustible, fuera de la fuerza del fluido, se considera que este equipo puede ser utilizado en casi toda actividad donde el caudal inicial de fluido no sea un problema o pueda ser reciclado.

#### 4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

**Tabla 1.** Beneficiarios del proyecto

Directos	Indirectos
Los beneficiarios directos de este proyecto son los estudiantes de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Postulantes: Gabriela Cueva Alex Romero	La comunidad ya que tendrá a su alcance profesionales capacitados para elaborar este tipo de proyecto.

**Fuente:** Los autores

#### 5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En la carrera de Ingeniería Electromecánica se tienen asignaturas que estudian la utilización de fuentes de energía renovables, el comportamiento de los fluidos como uno de los elementos fundamentales la fuerza de empuje y el choque hidráulico, la utilización, clasificación, funcionamiento de bombas además su clasificación, los parámetros de trabajo de las bombas y de los sistemas de bombeo, las curvas características de las bombas.

Dada esta situación, se observa la necesidad de realizar prácticas de laboratorio para dar solución a las necesidades antes planteadas, como son las propiedades de un sistema de bombeo por gravedad, lo que se ha dificultado por la falta de equipamientos de laboratorio; por lo que se requiere de una instalación que permita facilitar el análisis del comportamiento del agua por gravedad a través de un ariete, contribuyendo a mejoras de las prácticas de laboratorios con fines docentes y la elevación de la calidad de las asignaturas.

Por ello tenemos que la falta de equipamientos para un sistema de bombeo por gravedad, donde se determinen los parámetros de trabajo del ariete hidráulico, como son, el flujo, la presión, la altura y los rendimientos; dificulta el desarrollo de prácticas.

#### 6. OBJETIVOS:

##### General

Implementar un ariete hidráulico con fines didácticos y experimentales

##### Específicos

- Construir un módulo que tenga la capacidad de ser movilizado y re ensamblado para medir su rendimiento en diferentes ubicaciones geográficas y que cumpla con los parámetros establecidos a continuación:

Teniendo así que su altura máxima de funcionamiento será 30 m, con un rendimiento del 50 %

- Determinar variables que influyen en el rendimiento del ariete hidráulico.

## 7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

A continuación se presenta un cuadro en el que se observa las actividades que se propone realizar para cumplir cada uno de los objetivos.

**Tabla 2.** Sistema de tareas en relación a los objetivos planteados

<b>Objetivo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Resultado de la Actividad</b>	<b>Descripción de la actividad</b>
Construir un módulo que tenga la capacidad de ser movilizado y re ensamblado.	Recopilación de materiales e instrumentación para la instalación.	Ensamble del módulo utilizando los materiales y la instrumentación	Evaluación y experimentación
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar variables que influyen en el rendimiento del ariete hidráulico.</li> </ul>	Realización de corridas experimentales con agua.	Toma de datos experimentales	Análisis de resultados mediante la diagramación requerida

Fuente: Los autores

## 8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

### Antecedentes

La bomba de ariete, también conocida como ariete hidráulico, es una máquina sencilla que aprovecha la energía hidráulica potencial gravitatoria del agua para la elevación de una porción de la misma, mediante la transformación de la energía potencial, primero, en energía cinética y posteriormente en ondas de presión, conocidas como golpes de ariete.

Toda bomba de ariete requiere una cantidad excedentaria de agua capaz de ceder su energía potencial al agua impulsada (Romero, Universidad Politécnica de Madrid, 2015).

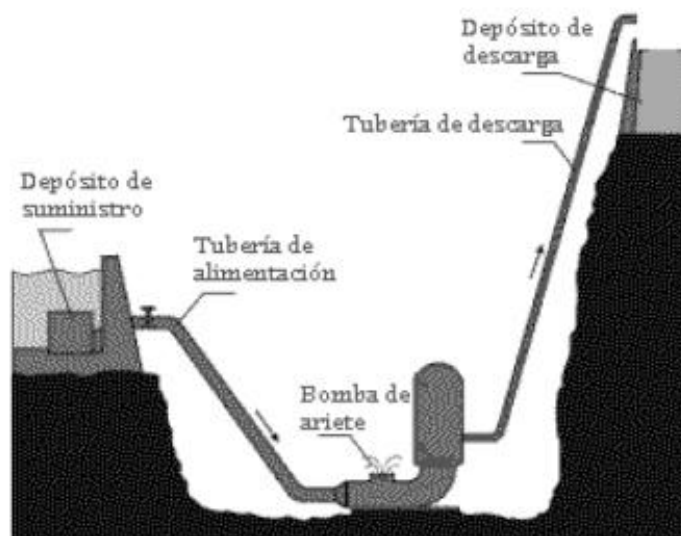


La bomba de ariete es una máquina hidráulica que utiliza la energía de una cantidad de agua situada a una altura ligeramente superior (el desnivel de un río, presa, u otro depósito o caudal) con el objetivo de elevar una parte de esa agua hasta una altura superior, sin usar, para ello, electricidad o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

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

Una de las ventajas que ofrece la bomba de ariete es su escaso mantenimiento. Sólo requiere la sustitución de pequeños elementos de goma y además, procurar que no lleguen a la válvula cualquier tipo de escombros. La vida útil se alarga en gran medida con un poco de mantenimiento (Hincapiè, 2015).

**Figura 1.** Funcionamiento del ariete hidráulico



Fuente: Hincapié, 2015

El funcionamiento de la bomba de ariete es bastante simple y de fácil manejo. El agua procedente de un depósito, acequia o río desciende por gravedad por la tubería de alimentación o impulso bajo la acción de un desnivel en relación con el ariete hidráulico. El agua llega hasta el cuerpo o caja de válvulas con velocidad suficiente para que la presión dinámica cierre la válvula de impulso o ímpetu. El cierre brusco de esta válvula produce el efecto conocido como golpe de ariete, lo cual origina una sobrepresión en la tubería de alimentación que provoca la apertura de la válvula de retención, que permite el paso del agua hacia el interior de una cámara de aire situada en el interior del cuerpo de la bomba. Esta agua provoca la compresión del aire

existente y cierta cantidad de agua asciende por la tubería de bombeo o descarga hasta llegar al depósito de descarga. El ciclo se repite una y otra vez a un ritmo de entre 60 y 90 golpes por minuto y cuanto más lento sea el funcionamiento, más agua utiliza y bombea (Romero, 2015).

El ángulo de inclinación del tubo de alimentación debe estar entre los 10° y los 45° con la horizontal. El caudal de alimentación del ariete dependerá del diámetro de dicho tubo de acometida. Hay que tener en cuenta que el agua que se acelera en el tubo de alimentación, es la que provoca el “golpe de ariete”, por lo que éste ha de tener una longitud, inclinación y diámetro adecuados, sin curvas ni estrechamientos que provoquen pérdidas de carga por rozamiento. (Romero, 2015).

### **Estudio del Fenómeno de Golpe de Ariete**

De acuerdo al principio de funcionamiento del ariete, el cierre de la válvula de impulso, crea una suspensión súbita del movimiento del agua, como explica Massey, si el fluido es completamente incomprensible, y las paredes del tubo fuesen completamente rígidas, todas las partículas de la columna de agua deberían sufrir una detención simultánea por efecto del choque; tomando en cuenta la segunda ley de Newton, para detener todo el flujo instantáneamente, la desaceleración sería infinita, por ende la fuerza requerida también, que simplemente no es posible (Campaña, Guamán, Julio 2011).

Estudios realizados consideran que la velocidad con la que se transmite el estado dinámico, corresponde a una perturbación sonora en el medio de trabajo. El fenómeno anterior es conocido como rebote (Campaña, Guamán, Julio 2011).

El comportamiento de la onda puede ser perfectamente determinado con dos conceptos, cantidad de movimiento y energía, por otra parte los fluidos son capaces de transmitir perturbaciones producidas solo por fenómenos de compresión y extensión mas no de flexión o corte (Campaña, Guamán, Julio 2011).

### **Elementos para la instalación del ariete hidráulico**

Una instalación de ariete hidráulico debe tener presente los siguientes elementos

- **Captación de fuente**

Una fuente es por donde sale agua de la tierra voluntariamente, es decir un lago, rio. Esta debe tener un flujo constante. (Ayala, 2005-2006).

- **Colector de fuente**

Es un pozo que colecta el agua de la fuente y se deja que repose. Por su capacidad de acumulación, el colector de fuente se encarga en sentido inverso de que se mantengan condiciones hidráulicas constantes en la fuente (Diseño y construcción de un ariete multipulsor, 2005-2006).

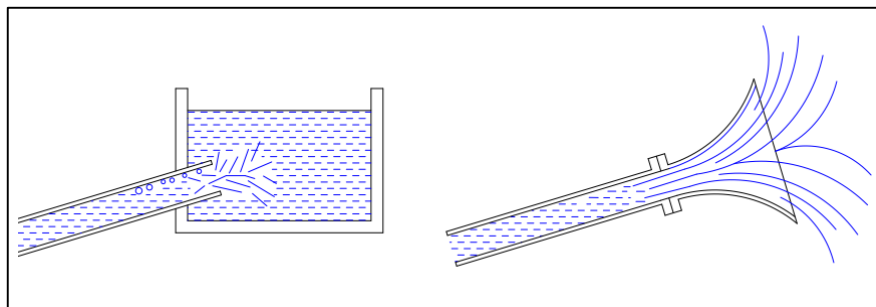
- **Pozo de extracción o tanque de abastecimiento**

Este se encuentra a continuación del colector de fuente, de esta manera nos aseguramos que suministre agua limpia y sedimentada al pozo de extracción o tanque de abastecimiento.

- **Tubería de impulso o tubería de alimentación**

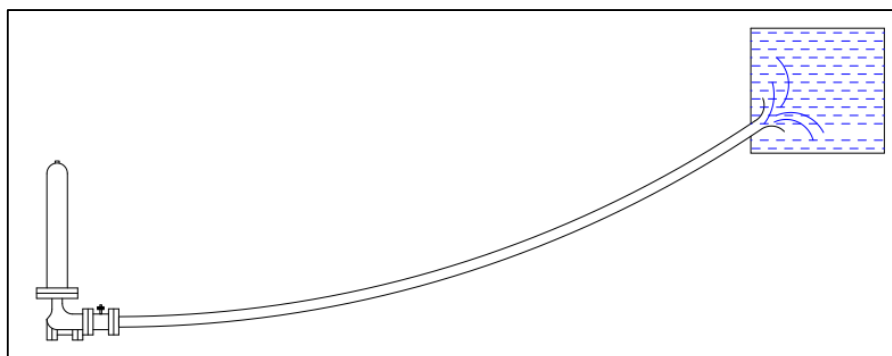
La tubería de impulso merece una atención especial en la construcción, cuando la entrada del tubo no está abocardada en forma de trompeta, la corriente se rompe, lo que ocasiona torbellinos en el agua derivando en pérdidas por fricción (Diseño y construcción de un ariete multipulsor, 2005-2006).

**Figura 2.** Entrada del tubo de impulsión



**Fuente:** Diseño y construcción de un ariete multipulsor, 2005-2006

**Figura 3.** Instalación óptima del tubo de impulsión



**Fuente:** Diseño y construcción de un ariete multipulsor 2005-2006

- **Conducto vertical o tubería de bombeo**

En el conducto vertical se impulsa el agua desde la cámara de aire hacia el tanque elevado. En este conducto no se produce ningún tipo de golpe siempre y cuando el ariete este bien

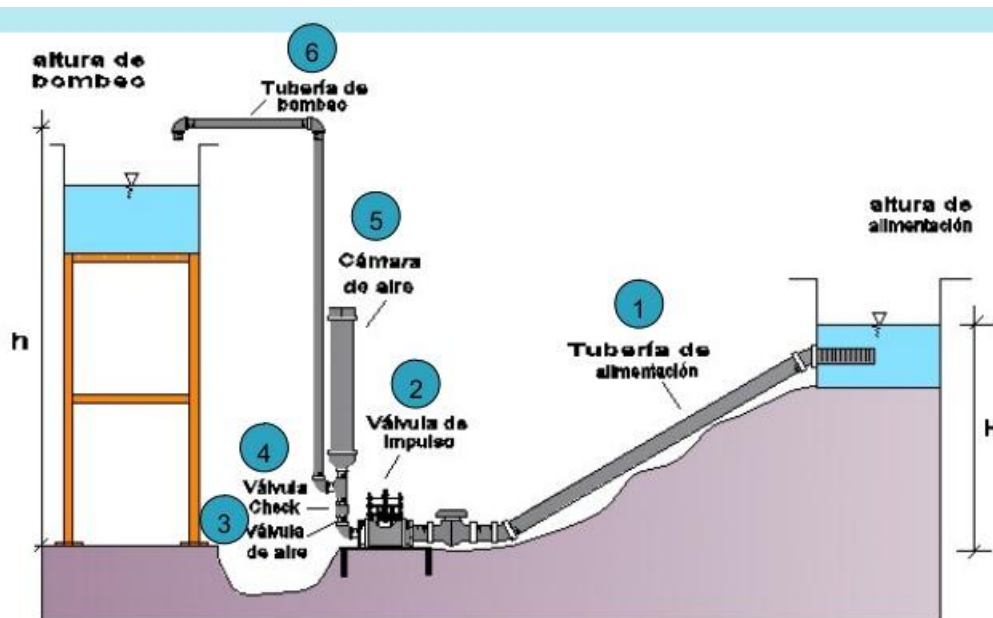
dimensionado. La presión total a vencer depende de la altura geodésica (presión de altura) más la altura de pérdida por fricción en el tubo (Diseño y construcción de un ariete multipulsor, 2005-2006).

- **Tanque elevado**

El tanque elevado es el depósito donde se capta y almacena el agua transportada por el ariete y gracias a su altura definida ejerce una presión uniforme en la columna de agua de la red de consumo (Diseño y construcción de un ariete multipulsor, 2005-2006).

Los elementos que constituyen la instalación de un ariete hidráulico se pueden observar en la Figura 4.

**Figura 4.** Elementos que constituyen la instalación de un ariete hidráulico

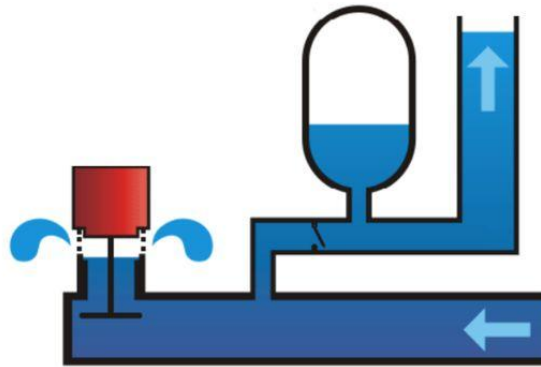


Fuente: Bomba de ariete nuevos modelos – Pablo Cavero, marzo 2004

### **Golpe de ariete**

La Física reconoce el fenómeno denominado golpe de ariete o choque hidráulico, que ocurre cuando varía bruscamente la presión de un fluido dentro de una tubería, motivado por el cierre o abertura de una llave, grifo o válvula; también puede producirse por la puesta en marcha o detención de un motor o bomba hidráulica. Durante la fluctuación brusca de la presión el líquido fluye a lo largo de la tubería a una velocidad definida como de propagación de la onda de choque (Campaña, Guamán, Julio 2011).

**Figura 5.** Golpe de ariete



**Fuente:** Materialdenmg.com, 2012

La energía cinética, que proporciona el agua en movimiento, al ser detenida origina un aumento brusco o golpe de presión, el cual provoca deformaciones elásticas en el líquido y en las paredes de la tubería. Este fenómeno, en general, se considera indeseable y por tal razón, con frecuencia se instalan dispositivos de seguridad (Campaña, Guamán, Julio 2011).

Zhukovski definió, en 1889, el golpe de ariete como la variación de presión en los conductos de agua, provocada por el aumento o disminución brusca de la velocidad del líquido.

- **Golpe de ariete aplicado a la ingeniería**

En el caso del ariete hidráulico, el golpe de ariete va a ser el principio básico para el funcionamiento de la bomba del mismo nombre, creando una sobrepresión que posteriormente va a ser utilizada para impulsar el fluido a un punto más alto. Es por ello que para el diseño de la bomba de ariete interesa que la válvula de impulso se cierre de la forma más rápida posible para crear una mayor sobrepresión (Campaña, Guamán, Julio 2011).

### **Evolución del ariete hidráulico**

En la consolidación de los criterios de la industria moderna, los rendimientos logrados con la bomba de ariete en su versión convencional parecían insuficientes y por este motivo cayó en desuso, sobre todo debido al avance arrollador de la bomba centrífuga. Sin embargo, en la actualidad asistimos a un renacer del interés acerca de este aparato, debido a que es tecnológicamente accesible, eficiente, ecológico y muy didáctico. Son muy apropiados para trabajar en zonas donde debido a la topografía del terreno existan pequeños desniveles o quebradas y cuenten con caídas de agua en su recorrido (Campaña, Guamán, Julio 2011).

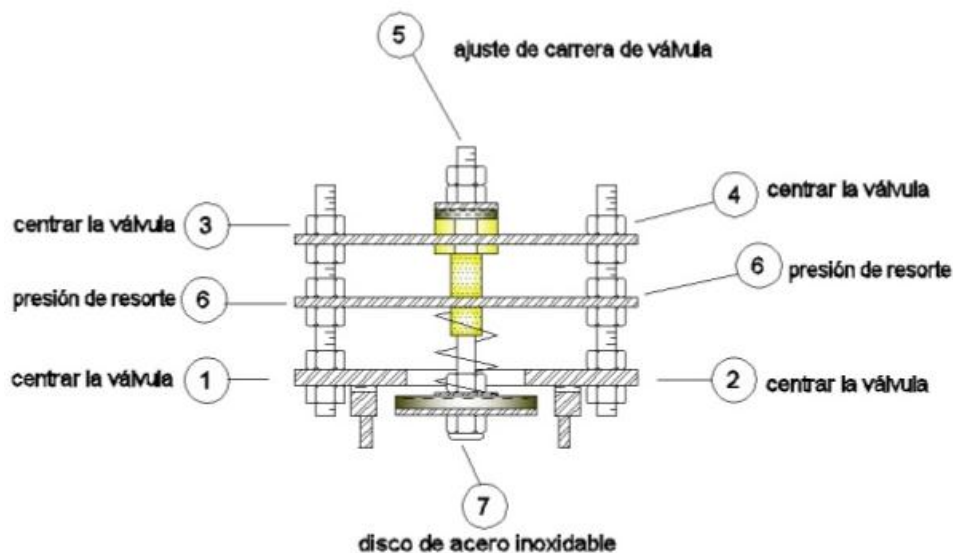
Aunque durante varios años la tecnología de fabricación de arietes hidráulicos, sobre todo en países con tecnología poco avanzada, se ha desarrollado en pequeños talleres quienes han trabajado de forma empírica, pero siempre con un afán innovador, lográndose fabricar sin tener un nivel académico o conocimientos de hidráulica, con el cual puedan certificar cada uno de estos modelos. Por ello mismo no logran ofrecer información técnica de los equipos que producen e instalan. Su construcción, instalación y operación ha dependido exclusivamente de la experiencia de sus promotores. Sin embargo, hoy en día el ariete hidráulico está siendo objeto de estudio en centros académicos de nivel superior y universidades, que apoyarán además en concepciones, modelos, procedimientos tecnologías, categorías y conceptos esenciales relacionados con el área de investigación (Campaña, Guamán, Julio 2011).

### Tiempo de cierre de una válvula

El cálculo de sobrepresiones depende del tiempo de cierre de una válvula y tanto la teoría como la práctica demuestran que las máximas sobrepresiones posibles se logran para los casos en los que la maniobra de cierre sea menor que el tiempo que tarda la onda en su viaje de ida y vuelta hasta la válvula que corta el paso al fluido. Se denomina tiempo crítico (Campaña, 2011).

Así, teniendo en cuenta el tiempo crítico de cierre, podemos considerar los tiempos de cierre de una válvula:

**Figura 6.** Centrado y ajuste de la válvula de impulso



**Fuente:** modelamiento matemático bomba de ariete – Pablo Cavero La Rosa 2001

- *Cierre rápido*: el tiempo de cierre de la válvula es menor que el tiempo crítico. En el cierre rápido de una válvula la onda de presión no tiene tiempo de trasladarse hasta el origen, reflejarse y volver a dicha válvula antes de terminar medio ciclo.
- *Cierre lento*: el tiempo de cierre de la válvula es mayor que el tiempo crítico por lo que la presión máxima será menor que en el caso anterior debido a que la depresión de la onda elástica llega a la válvula antes de que se complete el medio ciclo e impide el aumento de presión (Campaña, 2011).

## 9. PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS:

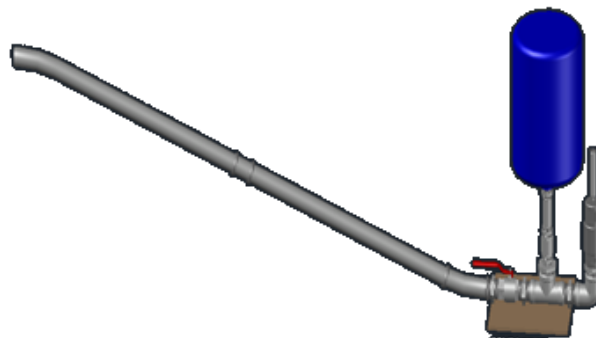
Al ver la necesidad de profundizar en el estudio de fuentes de energía renovable, la utilización del agua en movimiento, el funcionamiento de bombas, se propone que mediante el análisis de los elementos presentes en una bomba de ariete y su funcionamiento se pueda determinar los parámetros de trabajo del ariete hidráulico, como son, el flujo, la presión, la altura y los rendimientos en forma práctica.

## 10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL:

### Metodología para evaluar la eficiencia

Después de un análisis de varios modelos matemáticos, se ha resuelto utilizar el modelo de Krol que es el más completo, además de las características más relevantes de otros cuatro modelos

**Figura 7.** Ariete Hidráulico 3D



**Fuente:** Los autores

Por definición, el rendimiento está dado por la relación entre la potencia útil entregada en la descarga (NU) y la potencia recibida (absorbida) del agua de alimentación (Nb).



$$h = \frac{Nu}{Nb} \cdot 100$$

[1]

El rendimiento de un Ariete puede considerarse desde dos puntos de vistas: analizando el primer punto de vista obtenemos la llamada relación de eficiencia de D'Aubuisson. Considerando solamente el cuerpo del Ariete entonces la potencia entregada en la descarga será, (Pashkov, 1977):

$$Nu = q \cdot Hi \cdot g \cdot \rho \quad [W]$$

[2]

Dónde:

q - caudal de bombeo; (m<sup>3</sup>/s). Hi - altura de impulsión; (m).

Siendo:

$$Hi = h_d + \sum h + h_i$$

[3]

Para la cual:

h<sub>d</sub> - diferencia de nivel; (m).  $\sum h$  - Sumatoria de pérdidas hidráulicas; (m). h<sub>i</sub> - pérdidas inerciales; (m). g - aceleración de la gravedad; (m/s<sup>2</sup>). ρ - densidad del agua; (kg/m<sup>3</sup>).

$$Nb = (Q_d + q) \cdot H_a \cdot g \cdot \rho$$

[4]

Siendo:

Q<sub>d</sub> - caudal derramado por la válvula de impulso; (m<sup>3</sup>/s). Q<sub>d</sub> + q - Caudal de alimentación; (m<sup>3</sup>/s). H<sub>a</sub> - altura de alimentación; (m).

Sustituyendo la ecuación 2 y 4 en la 1, se obtiene:

$$\eta = \frac{q \cdot H_i}{(Q_d + q) \cdot H_a} \cdot 100$$

[5]

Desde otro punto de vista, se determina el rendimiento de Rankine. El mismo toma como referencia el nivel, a considerando la instalación como un todo. Entonces (Pashkov, 1977):

$$\eta_R = \frac{q \cdot (H_i - H_a)}{Q_d \cdot H_a} \cdot 100$$

[6]

El rendimiento volumétrico es la relación entre el caudal de alimentación ( $Q + q$ ) y el de descarga ( $q$ )

$$\eta_v = \frac{q}{Q_d + q} \cdot 100$$

[7]

Mediante el análisis de estos rendimientos, se puede determinar la eficiencia del ariete.

#### **Análisis del tiempo de cierre de la válvula de impulso.**

Para evaluar el tiempo de cierre de las válvulas tenemos que calcular el período, para luego determinar si el cierre es rápido o lento (Pashkov, 1977):

Se denomina periodo o fase de la tubería el tiempo en que la onda de sobrepresión va y vuelve de una extremidad a otra de la tubería (Ayala, 2005-2006).

$$T = \frac{2 \cdot L}{a}$$

[8]

Siendo:

T - fase o período de la tubería; (s). L - Longitud de la tubería (m). a - Velocidad de propagación de la onda (m/s).

Cuando la onda llega, al regresar, ella cambia el sentido, haciendo de nuevo el mismo recorrido de ida y vuelta en el mismo tiempo T, pero con signo contrario, bajo la forma de onda de depresión (Pashkov, 1977).

El tiempo de cierre de la válvula es un importante factor, si el cierre es muy rápido, la válvula quedará completamente cerrada antes de actuar la depresión, por otra parte, si la válvula es cerrada lentamente, habrá tiempo para que la onda de depresión actúe, antes de la obturación completa.

La sobrepresión ocurre cuando la maniobra es rápida. En estas condiciones surge un choque hidráulico directo, la onda de choque reflejándose del recipiente regresa a las válvulas antes de que estas sean cerradas por completo (Pashkov, 1977).

Si la maniobra es rápida se determina con:

$$t_c < \frac{2L}{a}$$

[9]

Si el cierre es rápido la sobrepresión máxima o pulso de Joukowsky se calcula con la siguiente ecuación.

$$h_a = \frac{a \cdot v}{g}$$

[10]

Si la maniobra es lenta se determina con:

$$t_c > \frac{2L}{a}$$

[11]

Para un cierre lento se puede aplicar la formula aproximada de Michaud, que considera la proporción de la velocidad con  $T/t_c$  (válida para maniobras con variación lineal de velocidad).

$$h_a = \frac{2 \cdot L \cdot v}{g \cdot t_c}$$

[12]

La ecuación de Michaud también puede ser aplicada para la determinación del tiempo de cierre a ser adoptado, con el fin de que la sobrepresión no sobrepase determinado límite pre establecido, esta fórmula lleva a valores superiores a los verificados experimentalmente. Sin embargo, todavía viene siendo aplicada en la práctica por ser más segura.

$$h_a = \frac{H_a}{2} (C^2 \pm C\sqrt{4 + C^2})$$

[13]

Siendo:

$$C = \frac{L \cdot v}{g \cdot H_a \cdot t_c}$$

[14]

Dónde:

v - Velocidad media del agua; (m/s). C – Celeridad; (m/s).

El signo  $\pm$  de la ecuación de Allievi indica que la fórmula proporciona el valor de la sobrepresión (+) y el de la subpresión (-).

### **Fuerzas hidráulicas sobre la válvula de impulso**

Durante el periodo de aceleración, la fuerza hidráulicas sobre la válvula de impulso va en aumento hasta que empieza a exceder la fuerza “F”, y éste es el momento en el cual la válvula de impulso empieza su movimiento de cierre (Ayala, 2005-2006).

Según Stevenazzi (1942) el resultado de investigaciones para obtener el máximo rendimiento de un ariete es necesario que la velocidad de la corriente de agua en el momento que se cierra la válvula de derrame sea inferior a la velocidad del régimen bajo la carga constante  $H_a$ .

La relación entre estas dos velocidades varía de 0.3 a 0.8, es decir:  $0,3 V_{m\acute{a}x} < V_o < 0,8 V_{m\acute{a}x}$

La fuerza de arrastre que se ejerce sobre la cara inferior de la válvula, en el momento en que esta válvula empieza a cerrarse, está dada por:

$$F_d = C_d \left( \frac{\rho v_o^2}{2} \right) A_d$$

[15]

Dónde:

$F_d$  - Fuerza de arrastre sobre la válvula de impulso; (N).  $C_d$  - Coeficiente de arrastre; (adimensional).  $\rho$  - Densidad del fluido, (kg/m<sup>3</sup>).  $v_o$  - Velocidad del fluido al iniciarse el cierre; (m/s).  $A_d$  - Área proyectada de la válvula de derrame; (m<sup>2</sup>).

La fuerza “F” de la válvula de derrame es igual al peso W con dirección hacia abajo, y la fuerza de arrastre  $F_d$  que tiene una dirección en contra de la fuerza “F” (hacia arriba) tiene que ser mayor para que se cierre la válvula de derrame, empezando el movimiento de la válvula cuando estas fuerzas son iguales (Ayala, 2005-2006).

El factor  $C_d$  también varía según la carrera de la válvula, por lo que se tiene que encontrar una expresión de  $C_d$  que sea función de la carrera, y la única manera de evaluarlo es experimental. Según el resultado de investigaciones de Stevenazzi (1942) para obtener el máximo rendimiento de un ariete, es necesario que la sección de descarga de la válvula de impulso sea igual a la sección del cuerpo tubular de la tubería de alimentación (Ayala, 2005-2006).

### **Pérdidas hidráulicas por fricción; primarias y secundarias**

Para el cálculo de la pérdida primaria de carga en tuberías, se utiliza la ecuación de Darcy-Weisbach (Ayala, 2005), que fue inicialmente propuesta por Weisbach en 1855 y posteriormente por Darcy en 1875, y cuya expresión es:

$$h_{roz.} = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

[16]

Dónde:

$\lambda$  - Factor de fricción; (adimensional).  $L$  - Longitud de la tubería; (m).  $D$  - Diámetro de la tubería; (m).  $v$  - Velocidad del fluido; (m/s).

La expresión en función del flujo volumétrico es:

$$h_{roz.} = \frac{8 \cdot \lambda \cdot L}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} \cdot Q^2$$

[17]

La ecuación 17 es completamente general y sirve para el cálculo de pérdidas de carga tanto para un flujo laminar como turbulento.

Algunos elementos y complementos especiales de las tuberías, como cuadrantes de tubo o codos, ramificaciones de tubos, modificaciones de la sección transversal o incluso válvulas, generan pérdidas de presión adicionales además de las pérdidas por fricción de la pared (Ayala, 2005-2006).

$$h_{loc} = \zeta_{loc} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

[18]

Cuando se modifica la sección transversal y las velocidades asociadas, en la pérdida de presión total también se deben tener en cuenta porcentajes de la pérdida de presión de Bernoulli (presión dinámica) (Ayala, 2005-2006).

### **Ecuaciones de flujo y pérdidas hidráulicas para el Ariete Hidráulico**

En el ariete hidráulico el gasto se distribuye entre las válvulas, si estas son idénticas  $Q_1 = Q_2 = Q_3$ . La altura de alimentación  $H_a$  encuentra en su recorrido una resistencia hidráulica que se divide en tres partes es decir tres veces menor, lo cual favorece al caudal total  $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$ , el resultado de esta construcción es una máquina de mayor eficiencia ya que aprovecha mejor la carga de alimentación y el volumen de agua que fluye en el ariete es mayor, donde se cumple que (Ayala, 2005-2006):

$$\zeta_1 * \frac{Q_1^2}{2 * g * A^2} = \zeta_2 * \frac{Q_2^2}{2 * g * A^2} = \zeta_3 * \frac{Q_3^2}{2 * g * A^2}$$

[19]

Dónde:

$\zeta$  - Coeficiente de resistencia; (adimensional).  $g$  - aceleración de la gravedad; (m/s<sup>2</sup>).  $Q$  - caudal; (m<sup>3</sup>/s).  $A$  - área, (m<sup>2</sup>).

Cuando se abren las válvulas del ariete la altura  $H_a$  produce la aceleración de la corriente en los primeros instantes, pero al aumentar la velocidad, la altura aceleradora se reduce por el rozamiento y por las pérdidas menores.

### **Altura desarrollada por el ariete y caudal circulante**

Para calcular la altura desarrollada por el ariete  $H_i$  tenemos que sumar a la altura de descarga  $h_d$ , los elementos de pérdidas hidráulicas (locales, rozamiento, inercia) (Ayala, 2005-2006):

$$H_i = h_d + h_{roz} + h_{loc} + h_{iner}$$

[20]

La variable  $h_{iner}$  representa la carga de inercia que es la resistencia de inercia al movimiento o la energía gastada para vencer las fuerzas de inercia. Se calcula según la ecuación:

$$h_{iner.} = \frac{l}{g} \cdot \frac{dv}{dt}$$

[21]

Dónde:

$dv/dt$  es la ley de variación de velocidad con respecto al tiempo, es decir  $v = f(t)$ .

Para obtener el caudal circulante por la tubería tomamos como datos: el diámetro  $D$ , la pérdida de carga  $h_{roz.}$  y la rugosidad absoluta  $\varepsilon$ . En el problema presente, desconocemos si el régimen es laminar o turbulento puesto que la incógnita es el caudal.

En el caso de que el régimen es turbulento, se determina el caudal circulante mediante la ecuación siguiente (Grupo de mecánica de fluidos Politécnica de Valencia, 2000).

$$Q = -6,958 \sqrt{D^5 h_{roz}} \log_{10} \left( \frac{\varepsilon_r}{3,7} + \frac{0,5667v}{D^{1,5}} \sqrt{\frac{L}{h_{roz}}} \right)$$

[22]

### Magnitud del golpe de ariete

El científico ruso N. Zhukovski (1847-1921) estudió este fenómeno por primera vez en su obra “Sobre el choque hidráulico”, como parte de sus indagaciones hidroaeromecánicas, que constituyeron la base teórica para la comprensión del funcionamiento de la bomba de golpe de ariete o ariete hidráulico, lo que demuestra que los fenómenos físicos (y los naturales en general) no deben asumirse como negativos o positivos, sino como leyes que debemos incorporar. Si se asume un flujo sin pérdidas, se puede aplicar el principio de conservación de la energía. (Fonseca, 2015)

Cuando no hay pérdidas al inundar la tubería, la velocidad máxima que puede alcanzar el agua con una caída de  $h_1$  es de:

$$v_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_1}$$

[23]

Con los caudales máxicos, se obtiene la relación de caudal:

$$\mu = \frac{m_2}{m_1} = \frac{h_2}{h_1}$$

[24]

Es decir, el caudal másico  $\dot{m}_2$ , transportado hasta la altura  $h_2$  depende de la relación entre las alturas. A menor cantidad de agua, mayor altura de elevación. Por supuesto, esta simple relación sólo es válida si (Ayala, 2005-2006):

- En el tubo de entrada toda la energía potencial se puede convertir en velocidad.
- Toda la energía cinética se puede convertir en presión.

En la práctica, hay pérdidas a causa del funcionamiento impreciso de las válvulas y de las resistencias al flujo, por lo que se da una reducción considerable de la relación de caudal másico (Ayala, 2005-2006).

Los parámetros que debemos tomar en cuenta para la formulación matemática en la instalación de arietes hidráulicos son:

- El comportamiento de las pérdidas de carga por fricción o turbulencia
- La longitud del recorrido de la válvula de impulso
- El peso que actúa sobre la válvula de impulso
- La resistencia debida a la elasticidad del agua
- El material de la tubería de impulso
- La duración del período durante el cual la válvula de impulso se cierra

En el Golpe de Ariete el efecto de modificar una condición de funcionamiento se transmite al resto de la instalación a una velocidad finita.

Las variables hidráulicas son la altura piezométrica y el caudal (velocidad media) en cada punto de la instalación, matemáticamente expresados como una función de la posición en la instalación y del tiempo (Streeter, 1993).

### **Arranque del Ariete Hidráulico**

Se tiene una serie de procesos aleatorios. El arranque abarca los primeros ciclos de funcionamiento hasta cuando los resultados de un ciclo sean iguales a los de un anterior (Ayala, 2005-2006).

A continuación se detalla las condiciones en el arranque de la bomba:

1. La válvula de impulso permanece cerrada, el tubo de alimentación se encuentra en un lleno total de agua en reposo; estas dos condiciones son imprescindibles para un adecuado arranque del ariete.



2. Se abre manualmente la válvula de impulso, si esta no se logra abrir se tiene dos métodos: esperar que el agua se desfogue por la válvula de aire o desarmar la válvula de impulso y dejar que el agua se libere del cuerpo del ariete; así se tiene una presión atmosférica en la válvula de impulso y el reservorio de alimentación por el principio de los vasos comunicantes.
3. La válvula de impulso se mantiene abierta, hasta que la corriente de agua proveniente del reservorio de alimentación se estabilice.
4. Una vez estabilizada la corriente, se libera la válvula de impulso, ésta acción provoca un incremento de presión, que se aprovecha para la apertura de la válvula de servicio y el agua pasa a la cámara de aire. Luego de un momento descenderá la presión la válvula de servicio se cerrará y la de impulso se reabrirá automáticamente. Cumplidas todas las condiciones anteriores el ariete ya debe tener un funcionamiento autónomo. Si no se alcanza un patrón cíclico en su operación se deberá repetir los pasos del 1 al 4.
5. Luego de varios golpes el tubo de alimentación se habrá llenado completamente; de aquí para adelante se alcanzarán los requerimientos planteados como son caudales y alturas de servicio; pero teniendo en cuenta que no varíen las condiciones de alimentación del caudal: tanto el caudal como la cabeza de presión estática (Ayala, 2005-2006).

### **Periodos del trabajo del ariete hidráulico**

Los periodos de trabajo del ariete hidráulico se divide en 3 bien definidos durante un ciclo de operación, en la gráfica 1 se muestra la relación de la velocidad del agua al final de la tubería de alimentación en función del tiempo y el tiempo de duración de cada uno de estos eventos (Ayala, 2005-2006).

Dónde:

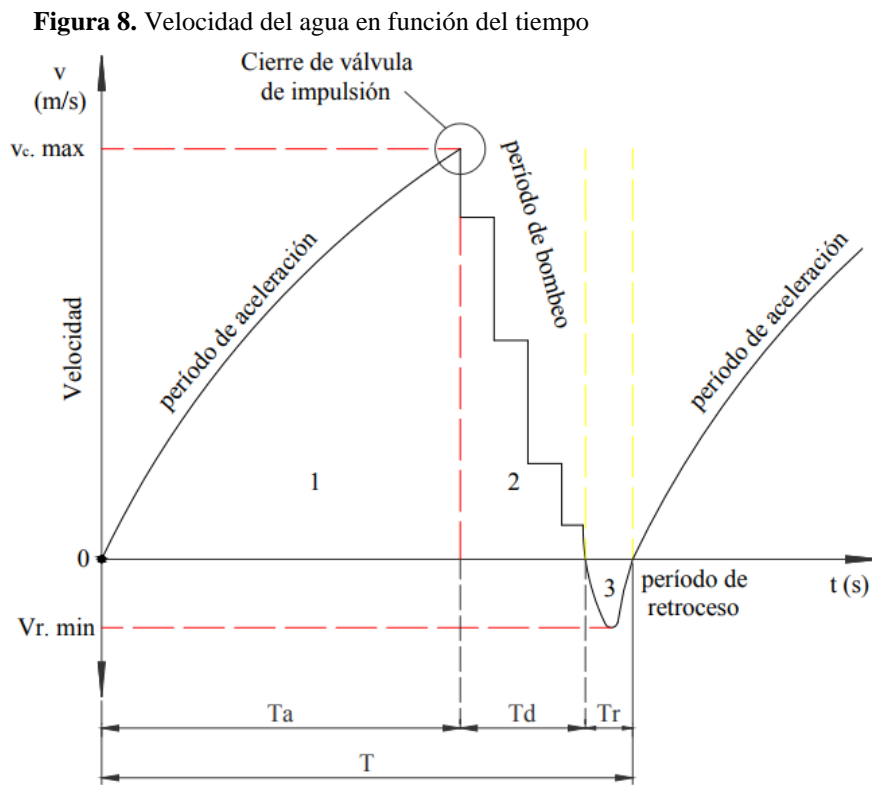
Ta = Tiempo de duración del periodo de aceleración (s). Td = Tiempo de duración del periodo de retardación (s). Tr = Tiempo de duración del periodo de retroceso (s). T = Tiempo de duración del ciclo (s).

$$T = T_a + T_d + T_r$$

[25]

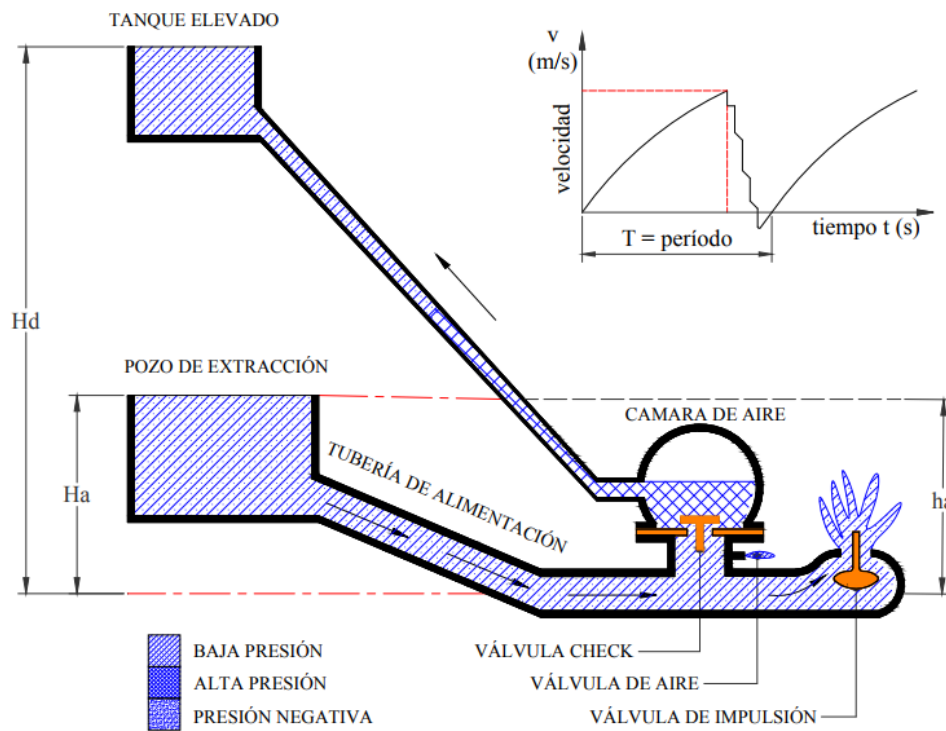
vc = Velocidad del agua en la tubería de alimentación en el momento del cierre de la válvula de impulsión (m/s). vr = Velocidad del agua durante el período de flujo invertido (m/s). v(t) =

Velocidad del agua en la tubería de alimentación en los diferentes instantes de tiempo (m/s) (Ayala, 2005-2006).



**Fuente:** Diseño y construcción de un ariete multipulsor 2005-2006

**Figura 9.** Eventos que se presentan en un ciclo



**Fuente:** Diseño y construcción de un ariete multipulsor, 2005-2006

En la figura 9 podemos observar los eventos que se presentan durante un ciclo, que está comprendido de tres periodos.

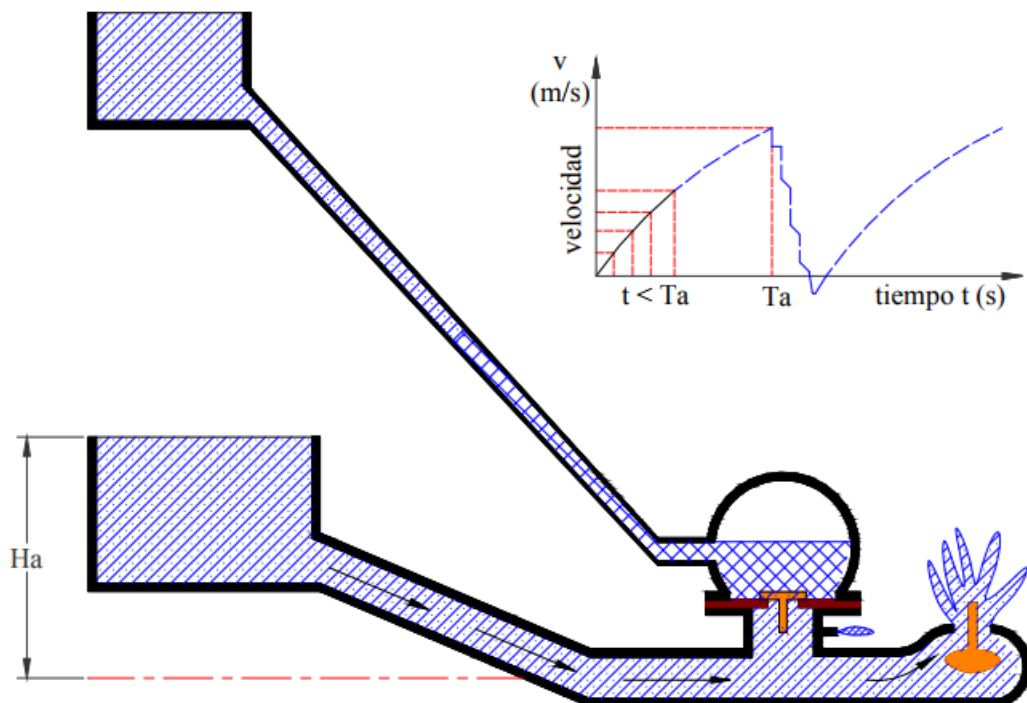
Inicialmente se llena el sistema, la válvula de impulso se cierra por la presión de la carga inicial “Ha” y el agua sube a través de la válvula de retención, que se abre por la misma presión, hasta el nivel “ha” por el principio de los vasos comunicantes. Luego se acciona la válvula de impulso manualmente, extrayendo el aire de las tuberías, hasta que el ariete empiece a funcionar automáticamente (Ayala, 2005-2006).

- **Periodo 1: De aceleración o derrame**

Este periodo se inicia desde el instante en que la velocidad del agua en la tubería de alimentación es nula ( $v = 0$ ), las válvulas de impulso se encuentran abiertas y la de descarga cerrada, el agua se acelera bajo el efecto de la altura de alimentación  $H_a$  como se observa en la figura 10, hasta que la fuerza del flujo contra las válvulas de impulsión es demasiado potente y las cierra como se muestra en la figura 11, iniciándose el periodo 2 (Ayala, 2005-2006).

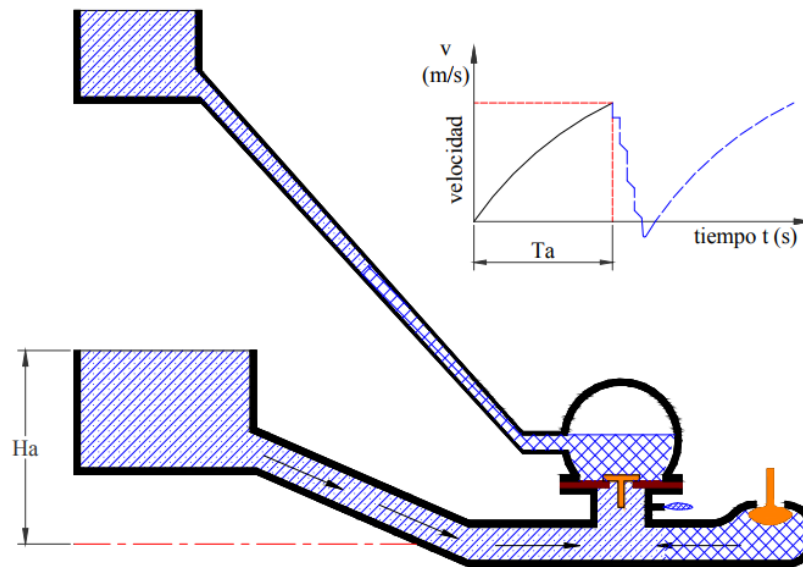
$$(0 \leq t \leq T_a) ; (0 \leq v \leq v_c)$$

**Figura 10.** Aceleración del fluido y derrame por la válvula de impulso.



**Fuente:** Diseño y construcción de un ariete multipulsor, 2005-2006

**Figura 11.** Cierre de las válvulas de impulsión



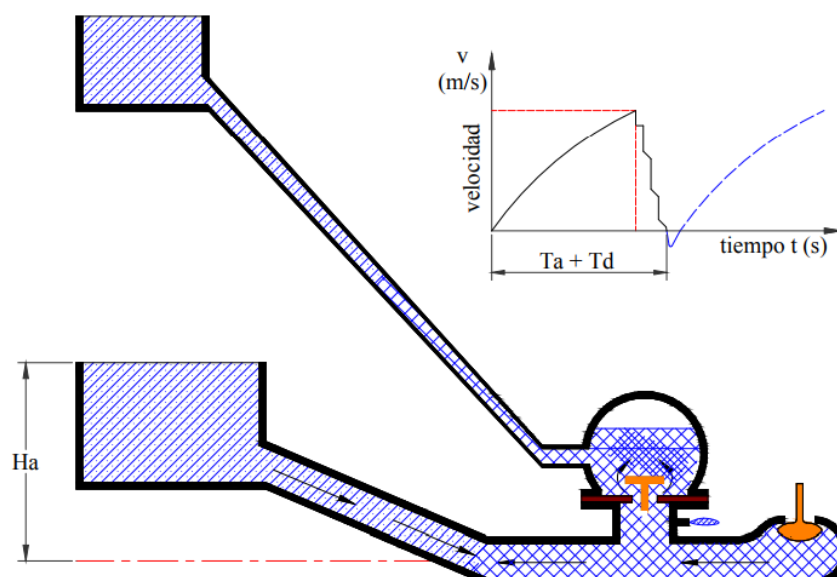
Fuente: Diseño y construcción de un ariete multipulsor, 2005-2006

- **Periodo 2: De retardación o bombeo.**

Este periodo se inicia desde el instante en que se cierran las válvulas de impulso hasta el momento en que se produce la desaceleración del flujo en la cámara de aire como se observa en la figura 12. La columna de agua en la tubería se frena considerablemente y en este instante en la caja de válvulas se produce una sobrepresión, que se amortigua en la cámara de aire (Ayala, 2005-2006).

$$(T_a < t < T_a + T_d) ; (0 < v < v_c)$$

**Figura 12.** Amortiguación en la cámara de aire



Fuente: Diseño y construcción de un ariete multipulsor, 2005-2006

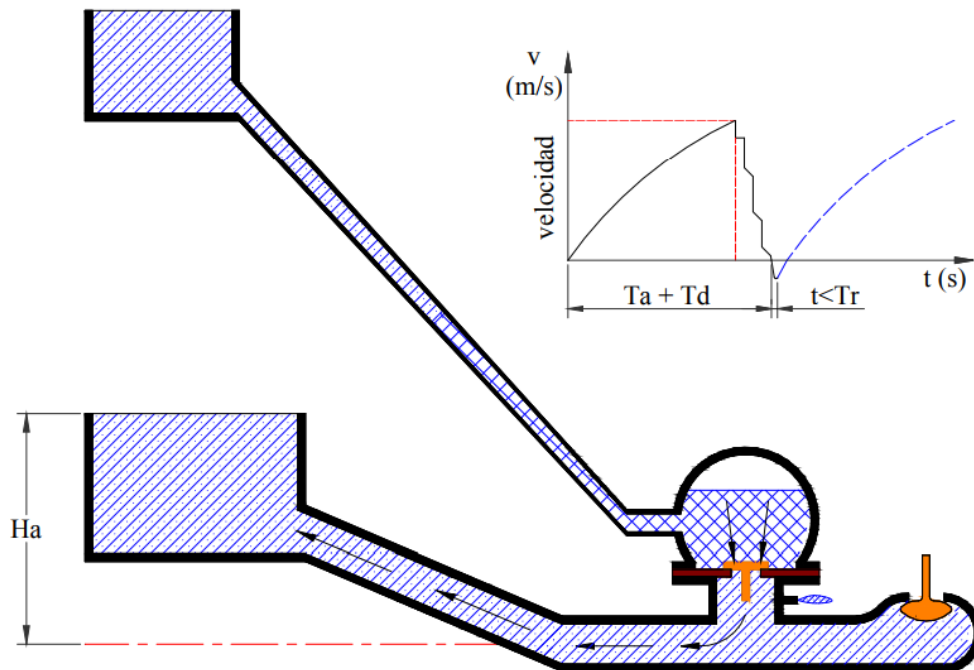
- **Periodo 3: De retroceso o de flujo invertido.**

Este periodo incluye el tiempo durante el cual se cierra la válvula de descarga, se produce la caída de presión y la reapertura de las válvulas de impulso al instante en que la velocidad se hace cero ( $v = 0$ ), iniciándose un nuevo ciclo.

$$(T_a + T_d < t < T); (v_t < v < 0)$$

En la figura 13 se representa una gran presión en la cámara de aire que provoca el cierre de la válvula check, impidiendo el retroceso del agua hacia la caja de válvulas. El flujo toma sentido negativo (en dirección al tanque de abastecimiento) (Ayala, 2005-2006).

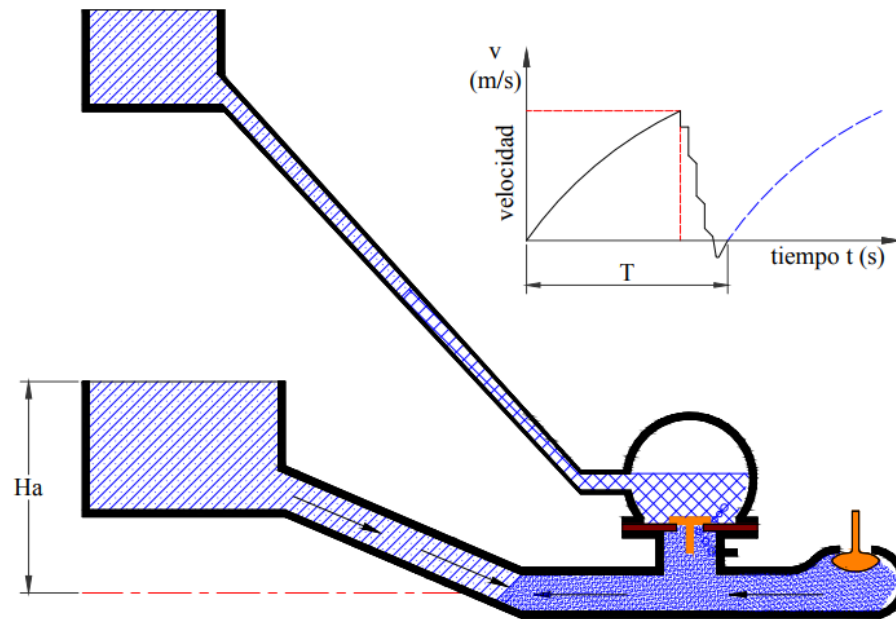
**Figura 13.** Cierre de la válvula de descarga



**Fuente:** Diseño y construcción de un ariete multipulsor, 2005-2006

El retroceso del agua por la tubería de alimentación produce una caída de presión (succión) en la caja de válvulas como se ve en la figura 14, generándose la renovación de aire en la campana neumática por la válvula de aire y al mismo tiempo se produce la reapertura de la válvula de impulsión, empezando un nuevo ciclo de trabajo obsérvese la figura 15 (Ayala, 2005-2006).

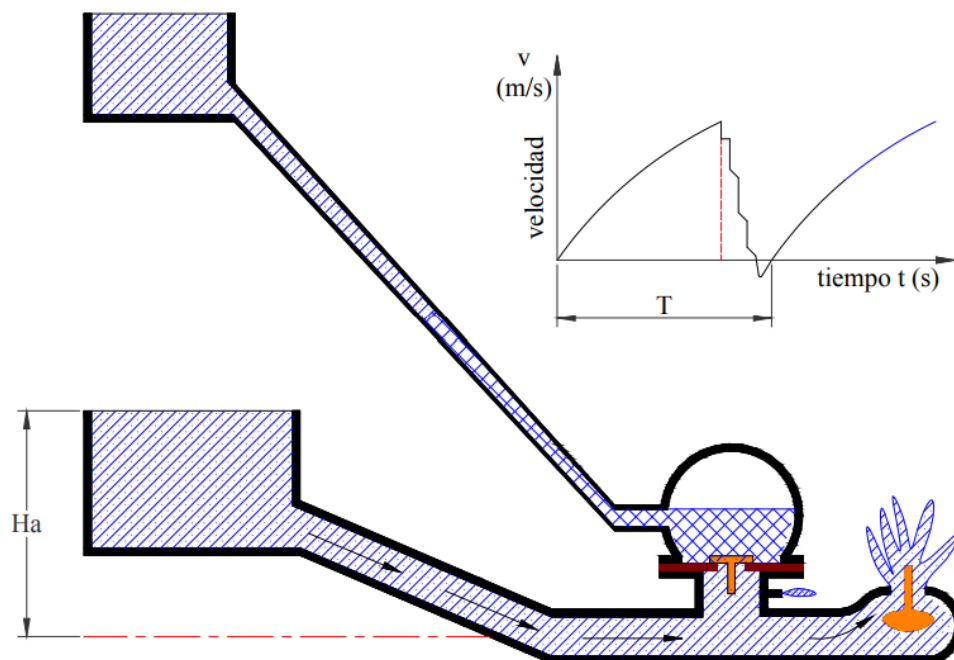
**Figura 14.** Caída de presión en la caja de válvulas



**Fuente:** Diseño y construcción de un ariete multipulsor, 2005-2006

El aire de la cámara neumática se pierde en el flujo bombeado, sino se renovase, manteniendo el nivel de aire se saturaría de agua, por esta razón se coloca la válvula de aire. Esta válvula funciona aprovechando la onda de presión negativa que produce una depresión en la caja del ariete y al producirse dicha depresión, succiona una pequeña cantidad de aire que va a renovar el aire de la cámara neumática.

**Figura 15.** Reapertura de las válvulas, nuevo ciclo de trabajo



**Fuente:** Diseño y construcción de un ariete multipulsor, 2005-2006

## Justificación de materiales

Se indica cada uno de los elementos que forman parte del Ariete Hidráulico

- **Cuerpo del ariete hidráulico**

El ariete hidráulico está fabricado principalmente con acero, se lo fabrico con este material debido a que la presión interna de trabajo es alta, además es un material de fácil acceso.

La campana es un tubo de acero de 6 pulgadas y 30 cm de largo, cerrada en su parte superior con platina de acero y soldado con electrodo E-6013, que según la página web de electrodos para aceros este es de alto rendimiento, soporta altos amperajes y no es poroso, de esta forma nos aseguramos que no existan filtraciones, se utilizó este tipo de electrodo para todas las uniones entre los componentes del cuerpo del ariete hidráulico. (Anexo 6 Figura 4, figura 5 y figura 6)

La forma redondeada de la platina superior se la realizo en una prensa con la utilización de un dado.

La campana tiene una perforación a una altura de 2 pulgadas medidas desde su base, de un diámetro de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, aquí se soldó un tubo de  $\frac{3}{4}$  de pulgada y a este se une a una llave de PVC a la cual conectamos la manguera de salida o de bombeo. La parte inferior de la campana se unió a una platina a la que previamente se le realizo una perforación de  $1\frac{1}{2}$  pulgadas, aquí se unió mediante soldadura a un tubo de  $1\frac{1}{2}$  pulgadas y el otro extremo se unió a una brida en la cual se encuentra una válvula check que será descrita a continuación. El extremo contrario de la brida se encuentra unida al cuerpo del ariete hidráulico con un tubo de  $1\frac{1}{4}$  pulgada, en este tubo se colocó un perno de bronce con una perforación de 1 mm en el medio, esta es la válvula de aire.

El cuerpo del ariete hidráulico está fabricado con tubo de un diámetro de 4 pulgadas y 41 cm de largo, en el que se realizó dos perforaciones, una de  $1\frac{1}{4}$  pulgadas y otra de 3 pulgadas de diámetro.

En el agujero de 3 pulgadas se une un tubo del mismo diámetro y a este se unió una brida, dentro de esta se encuentra construida la válvula de impulso, cerramos el tubo por ambos extremos con platina de acero, la platina que colocamos al lado contrario de donde se encuentra la campana tendrá una perforación de  $1\frac{1}{4}$  de diámetro que se une a un tubo del mismo diámetro este se une a una llave de PVC donde se conecta la manguera de entrada o impulsión.

- **Válvulas**

*Válvula de aire:* la válvula de aire se elaboró con un perno de bronce al que se le realizó una perforación de un milímetro en la mitad, según Serrano Jorge en el manual de aire acondicionado y ventilación industrial 2 menciona que se utiliza bronce debido a su gran resistencia a la corrosión, además de su dureza.

*Válvula Check:* Muchos fabricantes utilizan neopreno (caucho) para su fabricación debido a la resistencia que este material presenta a la fatiga. En este caso se fabricó con caucho de llanta, esta idea surgió al observar que el caucho de las llantas tiene hilos en su interior, brindando así una mayor resistencia, de este modo se logra alargar la vida útil de la válvula, tiene forma ovalada plana con un corte similar a una lengua (Anexo 6, figura 8).

*Válvula de impulso:* la válvula de impulso de este proyecto consta de varios componentes, tiene un perno de doble rosca de  $\frac{3}{4}$  y 4 pulgadas de largo, dentro de un tubo que cubre la parte media del perno el tubo se encuentra fijado a la parte superior de la brida con dos retazos de platina de esta forma cumple las funciones de un pistón, en el extremo inferior del perno, debajo del tubo se colocó dos tuercas y en el medio de ellas una junta de caucho, (empaquete) misma que amortigua el golpe cuando se cierra la válvula, en el extremo superior del perno, sobre el tubo se colocó una junta de caucho de llanta, de esta forma se amortigua el golpe al momento de la apertura de la válvula, sobre ella se encuentran dos tuercas, entre las tuercas se colocaran las arandelas al momento de la experimentación, según lo que se requiera (Anexo 8).

Todos los elementos fabricados en caucho y caucho de llanta son los que más se desgastan, pero así mismo son de fácil reemplazo.

- **Base**

El ariete hidráulico se encuentra fijo a una base construida con tubo cuadrado de 3 cm x 3 cm, está cubierto en sus costados con tol galvanizado y su parte inferior tiene forma de rejas y está realizada con varilla cuadrada (Anexo 6 Figura 7).

- **Pozo de extracción o tanque de abastecimiento**

Cuenta con un tanque cuadrado plástico blanco de 1000 litros, de esta manera el estudiante tendrá el tiempo suficiente para recaudar todos los datos de su práctica antes de que el tanque se vacíe. (Anexo 6 Figura 16).



- **Tubería de impulso o tubería de alimentación**

Como tubería de impulso se colocó una manguera rígida de 1 ¼ de pulgada de diámetro y de 12 metros de longitud, se utilizó manguera para que sea más fácil su transportación, es rígida ya que es en esta parte de la instalación donde necesitamos la menor cantidad de pérdidas, esta manguera debe colocarse totalmente estirada.

- **Conducto vertical o tubería de bombeo**

Para este caso se utilizó manguera flexible de ¾ de pulgada de diámetro y 10 metros de longitud, se utilizó manguera por su fácil transportación esta es flexible ya que todo el trabajo de bombeo se realiza en el ariete hidráulico entonces las pérdidas en la manguera son poco perceptibles.

El hecho de utilizar manguera como material para las tuberías en la instalación producen una baja en la eficiencia del ariete hidráulico, esto se debe a que cuando la válvula de impulso genera los golpes también genera una fuerza misma que ejerce presión en la manguera de la entrada y esta se ensancha provocando turbulencias y estas a su vez producen pérdidas por presión.

### **Maquinas herramientas que utilizamos para la construcción del ariete hidráulico**

- **Suelda eléctrica**

La Soldadura Eléctrica, electrosoldadura o soldadura por resistencia es un proceso termoeléctrico en el que se genera calor, mediante el paso de una corriente eléctrica a través de las piezas, con este tipo de suelda se unieron todas las partes del cuerpo del ariete, y también las partes de la base, en el ariete se utilizó electrodo E – 6013 puesto que no es poroso y de esta forma se evita que existan fugas y para la base se utilizó electrodo E – 6011. (Anexo 6 Figura 1)

- **Amoladora**

Un esmeril de banco o amoladora es una máquina herramienta, que consiste en un motor eléctrico a cuyo eje de giro se acoplan en uno o ambos extremos discos sobre los que se realizan diversas tareas, se utilizó disco de desbaste para limpiar los residuos y las imperfecciones de las soldaduras (Anexo 6 Figura 2)

Además de estas máquinas herramientas utilizaremos destornilladores llaves inglesas escuadras cierras de mano, cepillos de alambre entre otras

## Instrumentos

En la Tabla 3 se muestran los instrumentos que se utilizaron tanto para la experimentación como para la fabricación.

**Tabla 3.** Medios e instrumentos empleados en la experimentación y fabricación.

Medio	Variable a Medir	Unidad de Medida
Cinta métrica	Altura de carga, longitud de tuberías y mangaras, nivel de los tanques.	m
Pie de rey	Dimensiones de las tuberías, válvulas llaves de paso y mangueras.	mm
Cronómetro	Tiempo de cierre de válvula de impulso, tiempo de trabajo.	s
Bandeja plástica graduada	Recolección del agua de derrame por la válvula de impulso.	l
Cubo graduado	Recolección del volumen de agua entregado a la descarga.	l
Manómetro	Medición de presión de trabajo.	kPa

Fuente: Los autores

## 11. Desarrollo de la propuesta

El cálculo de cada una de las partes del ariete hidráulico, tiene importancia debido a que el mismo permite determinar las condiciones en que se deben encontrar las piezas que lo componen para que estas cumplan a cabalidad la función que les corresponde.

A continuación se muestran los materiales utilizados, la construcción así como también el funcionamiento del ariete hidráulico.

### Construcción

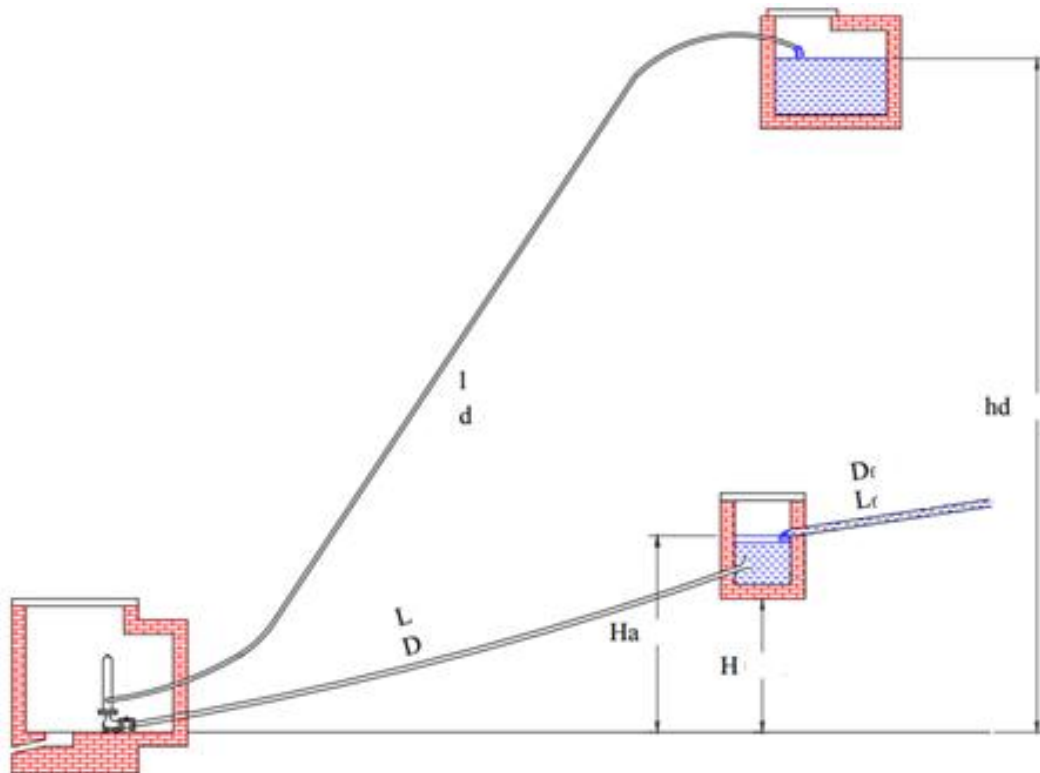
El diseño y la construcción se dividirán en dos partes:

- **Descripción de la parte hidráulica**

En el cálculo de la parte hidráulica se tendrá en cuenta las dimensiones de la instalación, el tipo de régimen, las pérdidas por fricción, las pérdidas locales, la sobrepresión producida por el golpe de ariete para finalmente determinar la eficiencia y rendimiento volumétrico.

- $l$  = longitud del conducto vertical.
- $L$  = longitud del conducto de impulsión.
- $d$  = diámetro del conducto vertical.
- $D$  = diámetro del conducto de impulsión.
- $D_f$  = diámetro del conducto de fuente.
- $hd$  = altura de descarga.
- $L_f$  = longitud del conducto de fuente.  $H_a$  = altura de alimentación.

**Figura 16.** Dimensiones de la instalación experimental



**Fuente:** Diseño y construcción de un ariete multipulsor, 2005-2006

Según Kenneth R. Fox 1981. el largo optimo del tubo de impulsión es seis veces la altura  $H$  (Figura 16.) entonces (Ayala, 2005-2006):

$$L = 6H$$

$$L = 6(2)$$

$$L = 12m.$$

Kenneth R Fox - Weinmann en sus investigaciones afirman que el ángulo de inclinación del conducto de impulsión debe estar entre  $10^\circ$  y  $45^\circ$ , si calculamos el ángulo  $\theta$  con:

$$L = 6\text{m}$$

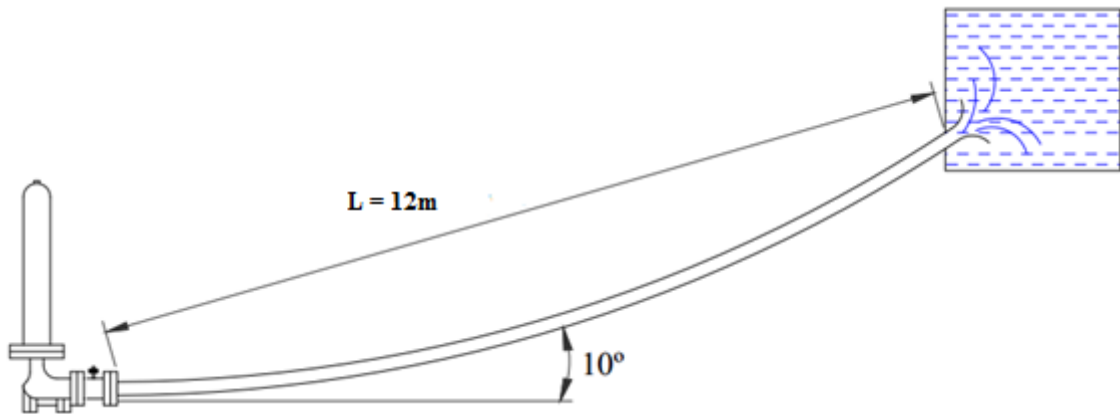
$$H = 1\text{m.}$$

$$\text{sen}\theta = \frac{H}{L}$$

$$\text{sen}\theta = \frac{1}{6}$$

$$\theta = 9.59 \approx 10^\circ$$

**Figura 17.** Dimensión de la tubería de impulsión.



**Fuente:** Diseño y construcción de un ariete multipulsor y Los autores, 2005-2006

Se selecciona manguera que tiene una longitud de 12 m, un diámetro de 1 ¼ pulgadas (40 mm) y debe ser ubicado al momento de la instalación a un ángulo aproximado de 10°

- **Perdidas por fricción en la tubería de alimentación**

Para calcular la pérdida por fricción en la tubería aplicaremos la velocidad de 1,6 m/s demostrada por M. Hadzich en sus instalaciones experimentales, siendo el diámetro de 40 mm, la longitud 12 m, determinamos las pérdidas por rozamiento, aplicando la ecuación [16] obtenemos: ver en tabla de resultados (tabla 4 y 5).

Según el diagrama de Moody (Anexo 2) tenemos que  $\lambda = 0.016$  reemplazando en la ecuación [16] obtenemos: ver en tabla de resultados (tabla 4 y 5).

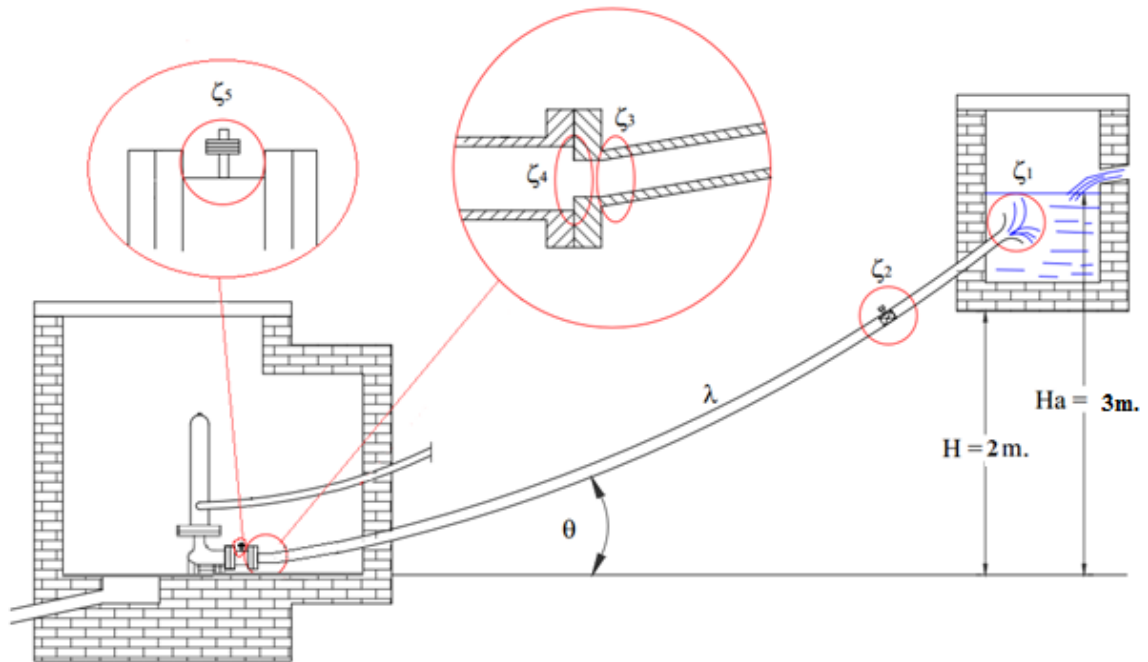
Si tomamos en cuenta que el régimen de trabajo es turbulento entonces se calcula el caudal circulante con ecuación [22] teniendo los resultados en la tabla de resultados (tabla 4 y 5).

Entonces el caudal circulante desde el pozo de extracción hasta el final del conducto de impulsión es de 0,00599 m<sup>3</sup>/s

- **Determinación de los coeficientes de resistencias locales.**

Ahora determinaremos los coeficientes de resistencia ( $\zeta$ ). En la figura 18 representamos los puntos en donde se producen pérdidas locales en la instalación. Analizamos desde la entrada del conducto de impulsión hasta la válvula del ariete (Ayala, 2005-2006).

**Figura 18.** Perdidas locales de la instalación



**Fuente:** Diseño y construcción de un ariete multipulsor y Los autores 2005-2006

Coeficiente de resistencias locales normalizados, (ver el anexo 4).

$\zeta_1 = 0,03 - 0,1$  (Boquilla conoidal o tobera).

$\zeta_2 = 2,0$  (Válvula de disco).

$\zeta_3 = 0,1 - 0,2$  (codo de  $10^\circ$  a  $30^\circ$ ).

$\zeta_4 = 0,3$  (ensanchamiento brusco  $\zeta = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$ , donde  $A_1 < A_2$ )

$\zeta_5 = R_{(s)} = 7,07$  (Válvulas de impulsión).

Esta formulación es posible aplicar a válvulas que estén dentro de este rango de peso 0,1 a 0,8 Kg, donde  $s = 0,30$  pulgadas (7mm) (carrera de la valvula)

$$R_{(s)} = \frac{2,43 - 1,06s + 10^{(0,95 - 13,3 \times s)}}{s}$$

$$R_{(s)} = \frac{2,43 - 1,06(0,30) + 10^{(0,95 - 13,3 \times 0,30)}}{0,30}$$

$$R_{(s)} = 7,07$$

- **Cálculo de la altura de alimentación  $H_a$**

Remplazando los datos y despejado  $H_a$ , obtenemos:

$$H_a = \frac{v^2}{2g} \left( 1 + \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right)$$

[26]

Ver resultados en tabla de resultados (Tabla 5)

- **Tiempo de duración de un período.**

En prácticas realizadas por J. A. Eytelwein el tiempo de aceleración es de 0.9s, el tiempo de bombeo es de 0.052s y el tiempo de retardo es de 0.048s, para nuestro calculo utilizaremos estos tiempos reales. El periodo es la sumatoria de los tiempos, donde (Ayala, 2005-2006):

$$T = T_a + T_d + T_r \quad (s)$$

$$T = 0,9 + 0,052 + 0,048$$

$$T = 1s$$

$T_a$ : Duración del período de aceleración,(s).  $T_d$ : Duración del período de retardación,(s)

$T_r$ : Duración del período de retroceso , (s)  $T$ : Tiempo de duración del ciclo, (s).

- **Cálculo de las pérdidas por fricción en el conducto vertical.**

Con la ecuación [16] se calcula el factor de fricción, tomando en cuenta que el conducto vertical es de plástico por lo tanto el factor de fricción es de 0,007. Ver resultados en la tabla de resultados (Tabla 4 y 5).

Siendo la velocidad 1m/s asumida para el cálculo.

- **Cálculo de las perdidas locales en el conducto vertical.**

Para el cálculo de las perdidas locales utilizamos la ecuación [18], (ver figura 20) Ver resultados en la tabla de resultados (Tabla 4 y 5) (Ayala, 2005-2006).

- **Cálculo de las perdidas inerciales en el conducto vertical.**

Para calcular las pérdidas inerciales utilizaremos la ecuación [21], Ver resultados en la tabla de resultados (Tabla 4 y 5) (Ayala, 2005-2006).

- **Cálculo de la altura desarrollada por el ariete.**

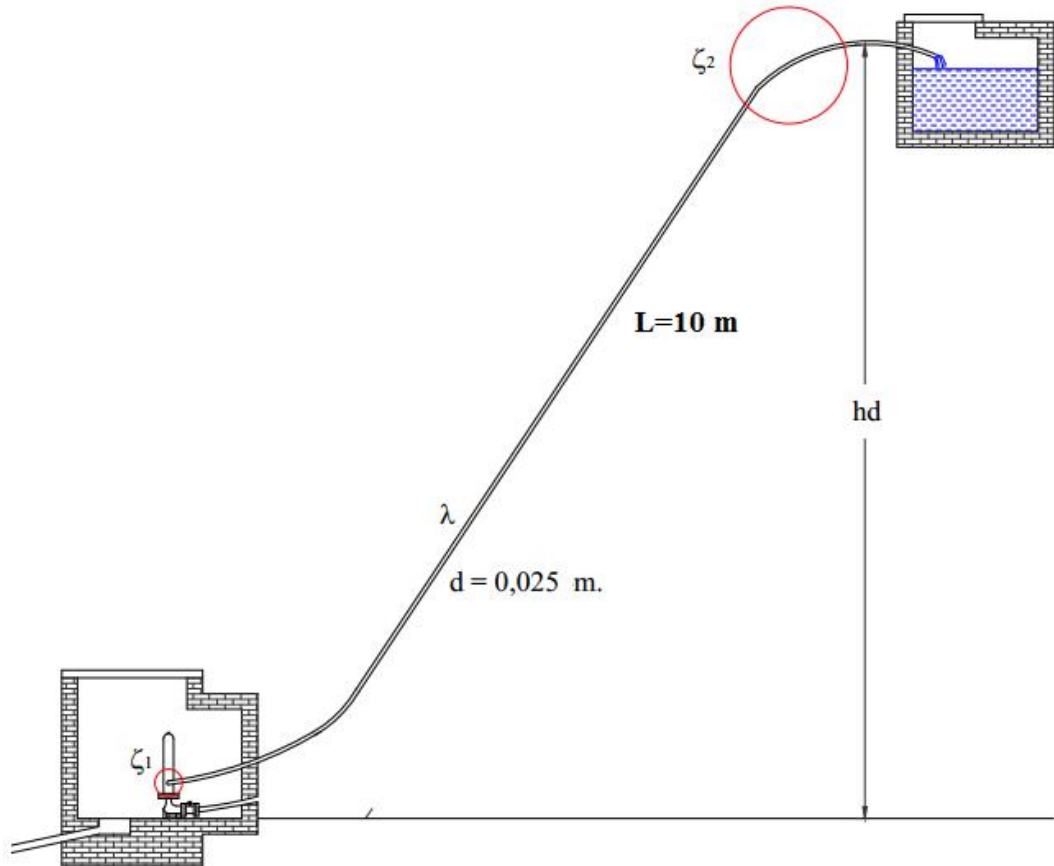
Aplicaremos la fórmula [20], Ver resultados en la tabla de resultados (Tabla 4 y 5) (Ayala, 2005-2006).

Para altura de descarga igual a 8 m.

Donde:

$h_d$  = Altura de descarga (m).  $h_{roz.}$  = pérdidas por rozamiento (m).  $h_{loc.}$  = pérdidas locales (m).  
 $h_{iner}$  = pérdida inerciales (m)

**Figura 19.** Pérdidas locales en la tubería de descarga.



**Fuente:** Diseño y construcción de un ariete multipulsor y Los autores 2005-2006

En las Tabla 4 y Tabla 5 se encuentra en resumen las incógnitas calculadas

**Tabla 4.** Resumen de cálculos

	$\epsilon$ (mm)	D (mm)	$v$ (m/s)	$\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	$v$ Hadzich (m/s)	L (m)
Impulso	0,007	40	1	1E-06	1,6	12
Bombeo	0,007	25	1	1E-06	1,6	10

**Fuente:** Los autores

**Tabla 5.** Resumen de cálculos

	$\epsilon_r$	Re	$\lambda$ calcu	$\lambda$ Moody	hroz (m)	Q+q (m <sup>3</sup> /s)	Ha (m)		hloc (m)	hiner (m)
Impulso	0,0002	35088	0,01	0,016	0,63	0,006	2,01	4		
Bombeo	0,0003	21930	0,02	0,02	1,04				0,052	0,082

Fuente: Los autores

### Determinación del régimen de trabajo

El número de Reynolds caracteriza el tipo de régimen de trabajo, en este caso se tomará en cuenta los aspectos analizados anteriormente para lo cual el diámetro de la tubería es de 25 mm. Una vez conocida la rugosidad relativa, se determinó el factor de fricción. El análisis se parte de los datos obtenidos de manera experimental, resultados que se indican en la tabla

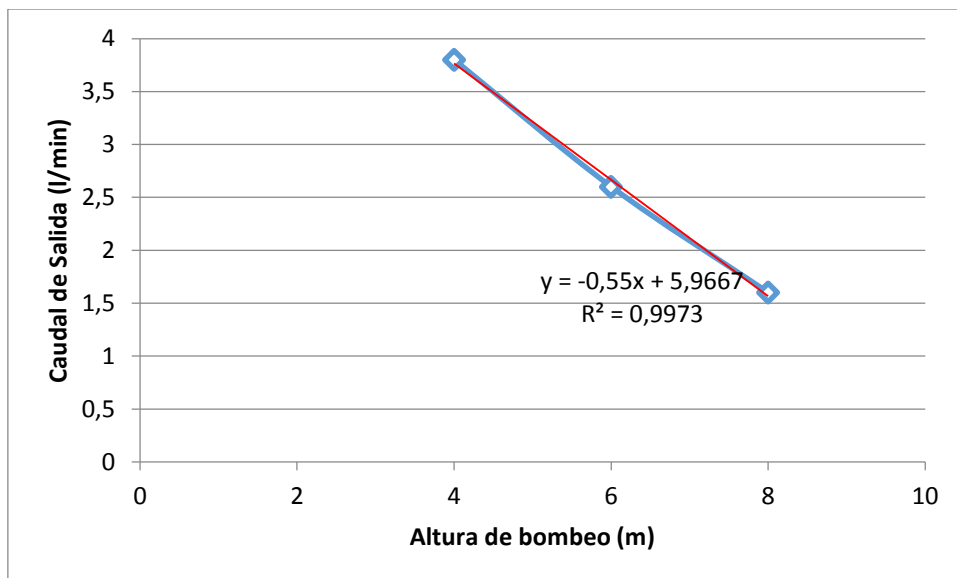
La altura  $H_i$  altura de impulsión permanece constante en 2 m

**Tabla 6.** Resultados experimentales de flujo y altura de descarga del ariete.

H (m)	Q+q (l/min)	Q (l/min)	q (l/min)	q (m <sup>3</sup> /h)	Golpes V(1/min)
4	5,8	2	3,8	0,228	53
6	6,2	3,6	2,6	0,156	37
8	7	5,4	1,6	0,096	29

Fuente: Los autores

Para un correcto análisis de resultados se muestra la figura 21 basada en los datos de la tabla 6

**Figura 20.** Caudal de Salida vs altura de bombeo

Fuente: Los autores



Según la tendencia observada en la figura 20, existe una relación inversa entre el flujo volumétrico y la altura de bombeo, este comportamiento se da por el incremento de las pérdidas hidráulicas y volumétricas que se originan en las válvulas y los demás componentes de ariete.

Con el aumento de la altura se incrementa la resistencia de bombeo, lo que genera oposición al paso del agua, al mismo tiempo se disminuye la cantidad de cierres de la válvula check y aumenta el flujo de pérdida por la válvula de impulso.

Se obtiene que para la altura de descarga de 4 metros se tiene un flujo volumétrico de 3,8 l/min.

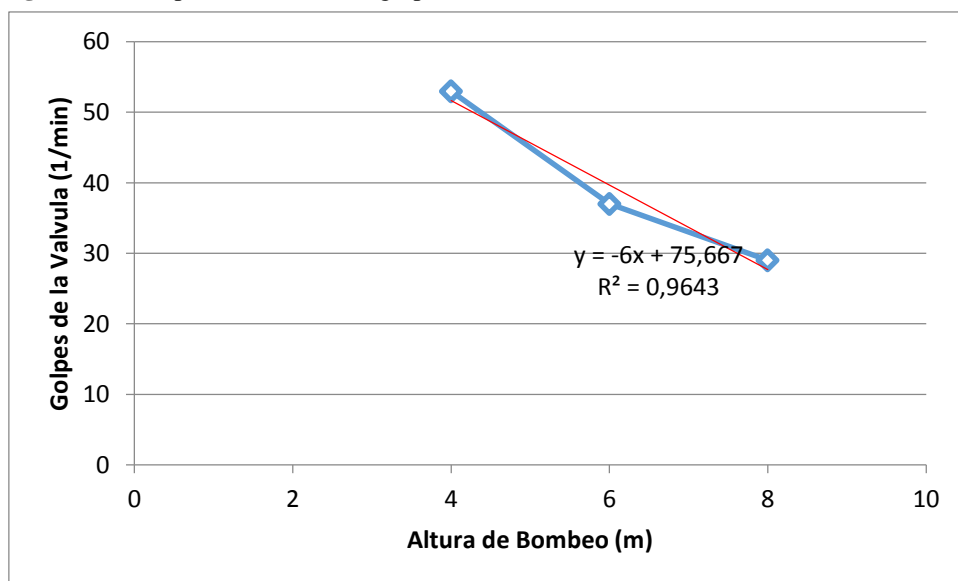
Se obtiene para estas condiciones que el flujo volumétrico se rige por la ecuación:

$$Q = -0,55 \cdot Hd + 5,9667$$

[27]

Con la ecuación [27] se calcula el caudal de salida cuando se varía la altura de bombeo, en el ariete hidráulico de este proyecto.

**Figura 21.** Comportamiento de los golpes de la válvula con el aumento de la altura de carga



**Fuente:** Los autores

La expresión obtenida por la tendencia de los datos de la figura 21, relaciona el comportamiento de la variable, cantidad de golpes por minuto, de la válvula de impulso con la altura de bombeo; siendo:

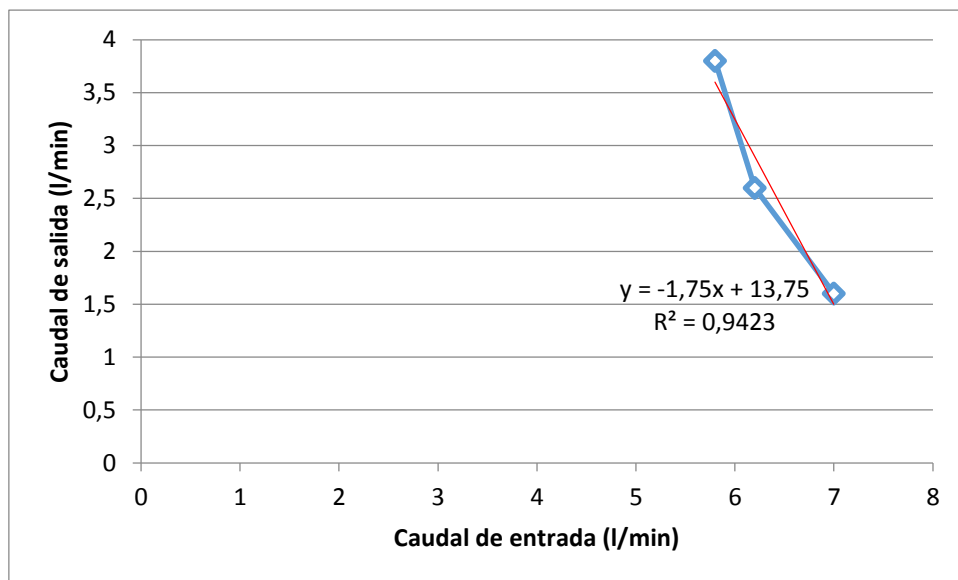
$$Nu_{gol} = -6 \cdot Hd + 75,667$$

[28]

Con la ecuación [28] se puede calcular el número de golpes de la válvula de impulso cuando se varía la altura de bombeo, en el ariete hidráulico de este proyecto.

Para los resultados obtenidos, el número de golpes varía entre 53 y 29 golpes por minuto, mostrándonos que entre más altura de bombeo se tenga, menor cantidad de golpes tendrá la válvula de impulso

**Figura 22.** Relación del caudal de entrada con el caudal de salida



**Fuente:** Los autores

La expresión obtenida por la tendencia de los datos en la figura 22, relaciona el comportamiento de la variable, caudal de entrada, con el caudal de salida; siendo:

$$Q_{salida} = -1,75Q_{entrada} + 13,75$$

[29]

Mediante la ecuación [29] se calcula el caudal de salida conociendo el caudal de entrada.

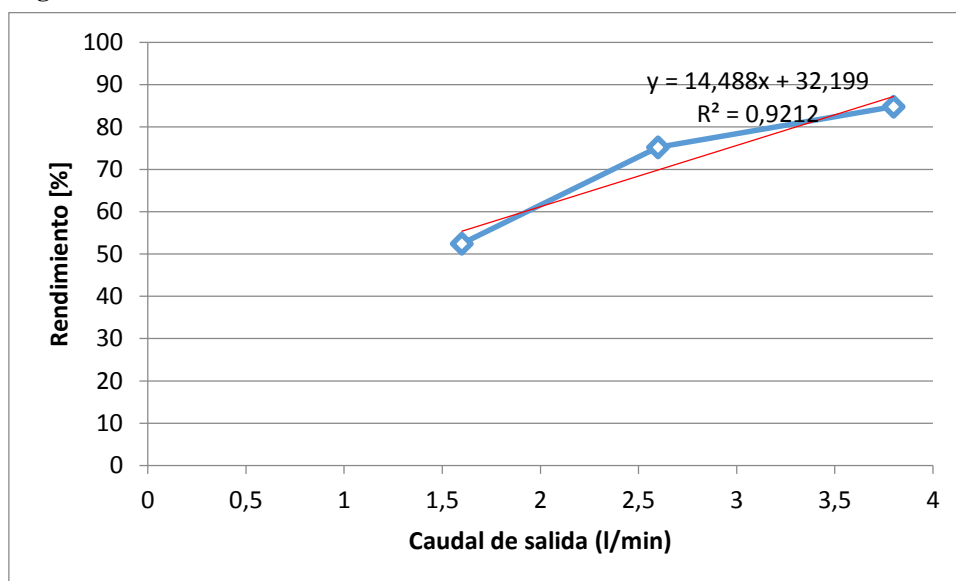
Obteniendo que al aumentar la altura de bombeo, también aumenta el caudal de entrada y disminuye el caudal de salida, de esta forma sabemos que necesitamos una fuente constante que alimente el tanque, obteniendo así un flujo constante.

**Tabla 7.** Resultados experimentales de Rendimiento

q (l/min)	$\eta$ [%]	$\eta_R$ [%]	$\eta_v$ [%]
3,8	84,8	55,9	65,5
2,6	75,2	57,4	41,9
1,6	52,4	38,4	22,9

Fuente: Los autores

La eficiencia hidráulica del ariete está dada por la relación entre la potencia útil entregada en la descarga ( $N_U$ ) y la potencia recibida (absorbida) del agua de alimentación ( $N_b$ ). Esta relación se manifiesta según la carga de trabajo para cada tipo de ariete en particular, en el caso tratado dicho comportamiento se manifiesta por la relación indicada en la figura 23, basada en la tabla 7.

**Figura 23.** Relación del rendimiento con el caudal de salida

Fuente: Los autores

Del comportamiento observado se obtiene la relación que define los valores del rendimiento para distintos valores de caudal de salida, planteándose la ecuación [30]

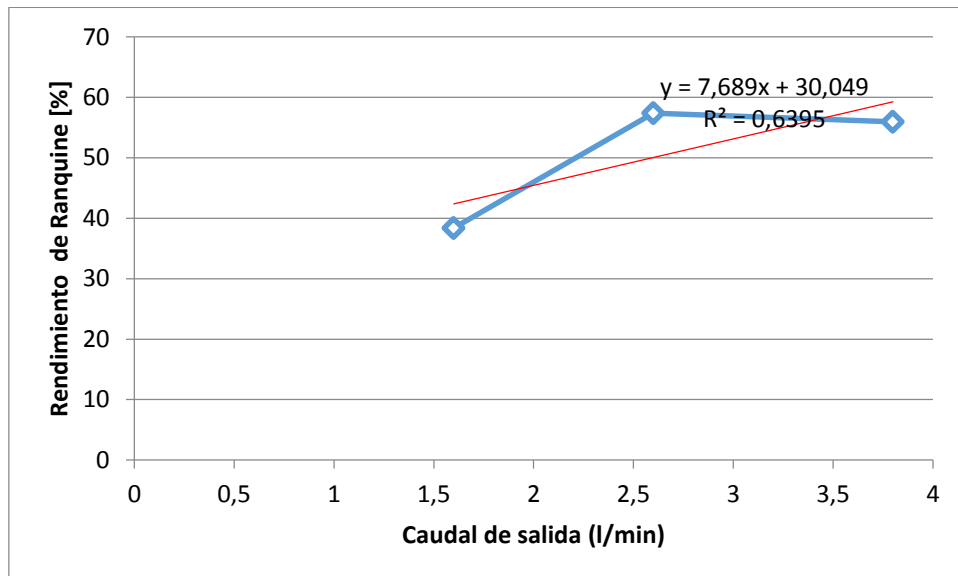
$$\eta = 14,488q + 32,199$$

Con la ecuación [30] se calcula el rendimiento hidráulico que tiene el ariete hidráulico, conociendo el caudal de salida.

Como se observa, la eficiencia hidráulica del ariete disminuye con la variación del caudal de salida, el caudal disminuye debido a la variación de altura, entre más sube el agua menos caudal obtenemos. Según lo experimentado tenemos que va desde 84,8 % en la menor altura con mayor caudal, hasta un 52,4 % en la mayor altura con menor caudal y menor rendimiento, esto se traduce en que existe una mayor pérdida en la válvula de impulso.

Desde otro punto de vista, se determina el rendimiento de Ranquine. El mismo toma como referencia el nivel, donde se a considerando la instalación como un todo. De esta manera se muestran las relaciones de la variable en su conjunto (figura 24)

**Figura 24.** Relación entre el rendimiento de Ranquin con el Caudal de Salida



**Fuente:** Los autores

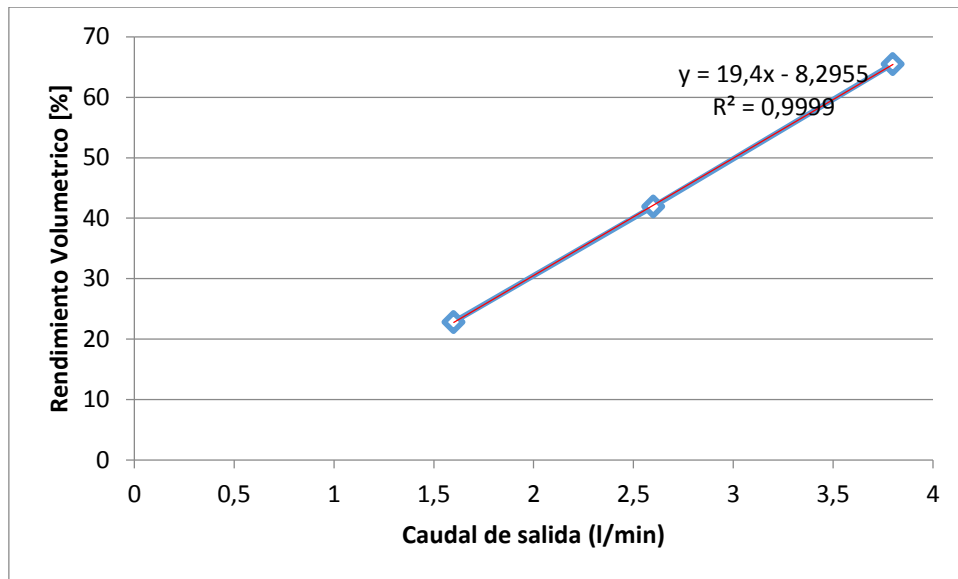
Según se indica en la figura, el rendimiento de Ranquine muestra una tendencia a disminuir con la disminución del caudal de salida teniendo que con un caudal máximo de 3,8 l/min tenemos una eficiencia del 55,9 % esto se debe a la relación entre la energía cinética del fluido y la potencial para la cual a partir de una altura de carga determinada aumenta el flujo de pérdida; dicho comportamiento se rige mediante el modelo propuesto según la ecuación [31].

$$\eta_r = 7,689q + 30,049$$

Con la ecuación [31] se obtiene el rendimiento Ranquin, conociendo el caudal de salida.

El rendimiento volumétrico que es la relación entre el caudal de descarga o salida ( $q$ ) y el caudal de alimentación o entrada ( $Q + q$ ), da como resultado en qué medida se encuentra la relación de flujo de pérdidas. En la figura 25 se muestra la tendencia de la relación del rendimiento volumétrico con el caudal de salida.

**Figura 25.** Relación del rendimiento volumétrico con el caudal de salida.



Fuente: Los autores

Como se observa en la figura el rendimiento volumétrico disminuye con la disminución del caudal de salida en forma lineal descendiente, para estimar los valores de este se recomienda el empleo de la ecuación [32], obtenida según la experimentación.

$$\eta_v = 19,4q - 8,2955$$

[32]

Con la ecuación [32] podemos calcular el rendimiento volumétrico conociendo el caudal de salida del ariete hidráulico.

Del análisis de los rendimientos se deduce que las mejores condiciones de trabajo de ariete se obtienen para el valor de caudal de salida de 3,8 l/min, correspondiéndose a la altura de descarga de 4 m; teniendo aquí los valores más altos de rendimiento.

## **12. IMPACTOS:**

Se analizó los impactos ambientales y económicos

### **Económicos**

La implementación de un ariete hidráulico contribuye a la reducción de consumo de energía eléctrica y de combustibles fósiles en un 100 %, este es un beneficio para todo aquel que requiera la utilización de una bomba de agua para elevar este fluido, sobre todo en aquellos lugares que no poseen energía eléctrica o no tengan las posibilidades económicas para comprar combustibles fósiles con frecuencia. La bomba de ariete permite mejorar la disponibilidad de agua para los cultivos establecidos en la época lluviosa o en el verano

El costo de su fabricación es devengado en corto tiempo, pues no necesita de mucho mantenimiento y los materiales utilizados para su construcción son de fácil acceso y bajos costos (el prototipo de este proyecto tiene un presupuesto de 700 dólares).

### **Ambientales**

Los impactos ambientales son mínimos puesto que su funcionamiento es en el campo y se utiliza el agua en movimiento de un río o laguna, las pérdidas que se generan en la válvula de impulso regresa a la tierra.

### **Sociales**

El ariete hidráulico puede facilitar la vida de muchas personas que no tengan acceso a otros métodos de obtención de suministros de agua.

### **Tecnológicos**

Sus piezas son fáciles de reemplazar, requiriendo un mínimo de mantenimiento y funciona automáticamente ante un suministro de agua, teniendo una vida útil sin realizar mantenimiento ni cambios en sus piezas de hasta 10 años, utilizándola 24 horas al día los 7 días de la semana durante todo el año, pudiendo fácilmente reemplazar a bombas eléctricas, en las condiciones necesarias para su funcionamiento.

### 13. PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO:

En la tabla se puede observar el presupuesto que nos hemos planteado para la ejecución del presente proyecto, sin embargo cabe destacar que a medida que el proyecto siga avanzando es posible que este valor aumente.

**Tabla 8.** Presupuesto

Descripción	Valor Unitario	Cantidad	Valor USD
Tubo de acero 4 pulgadas 1m	45	1	45
Tubo de acero de 6 pulgadas 1m	45	1	45
Llave de paso de $1\frac{1}{4}$ de pulgada	2.50	2	5
Llave de paso de $3/4$	5	1	5
Pernos acerados de $3/4$ x 2 pulgadas	2	10	20
Plancha de acero de $1/2$	10	1	10
Válvula de retención vertical de 2 pulgadas	10	1	10
10m de manguera de $3/4$	1	10	10
12m de manguera de $1\frac{1}{4}$	1	12	12
Válvula de impulso de 2 pulgadas	15	1	15
Manómetro	15	1	15
Llave de purga	10	1	10
Tubo cuadrado de 2 pulgadas	12.50	2	25
Electrodos	1	1	20

Fuente: Los autores

Continuación de la **Tabla 9.** Presupuesto

Ángulos de 1 pulgada	8	2	16
Pintura negra , roja	5	4	20
Tanque reservorio de 1000 litros	50	1	50
Pernos de $\frac{3}{4}$ X 2 pulgadas	0.80	10	8
Empaques de neopreno	10	2	20
Válvula check	1	1	10
Mano de obra	100	2	200
Abrazaderas	2	2	4
Impresiones, internet, transporte, alimentación.	100	1	100
<b>Total</b>			<b>675\$</b>

**Fuente:** Los autores

## 14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- El ariete está construido para ser movilizadado a donde el estudiante lo necesite, cada uno de sus componentes son re ensamblables, y de fácil montaje.
- Con la experimentación se pudo determinar todas las variables que se requiere para calcular el rendimiento hidráulico, rendimiento de Ranquin y rendimiento volumétrico de este ariete hidráulico, teniendo como resultado que a menor altura de bombeo tendremos un mayor rendimiento hidráulico, de Ranquin y volumétrico
- A mayor altura, en este caso de 8 m el rendimiento hidráulico, Ranquin y volumétrico son menores, es decir conforme aumenta la altura de bombeo disminuye el rendimiento del ariete, esto se debe a que existe una mayor perdida en la válvula de impulso.



- Los golpes generados en la válvula de impulso disminuyen al variar la altura de bombeo, los valores ideales alcanzados son de un golpe por segundo, misma frecuencia que disminuye al tener mayor altura
- El rendimiento es inversamente proporcional a la altura de bombeo
- Las pérdidas en la válvula de impulso son directamente proporcionales a la altura de bombeo
- Con el uso de la válvula hidrodinámica, se obtiene un rendimiento mayor en un 18 % que en las válvulas de plato; y por razón de estudio, ya que matemáticamente se puede demostrar las pérdidas que origina la válvula.
- A partir de la relación de la velocidad del agua al final de la tubería de alimentación en función del tiempo se puede determinar el agua que se escapa a través de la válvula de impulso y la cantidad bombeada por ciclos.

### **Recomendaciones**

- Si se mantiene el área de la válvula de descarga fija, el aumento del área de la válvula de impulso producirá un ariete más eficiente. Adicionalmente, una válvula de descarga con mayor área permite un mayor flujo en el sistema.
- Para un mayor rendimiento del ariete hidráulico se deberá utilizar tubería de acero galvanizado en la entrada al ariete.
- Al aumentar la altura de entrada H es recomendable colocar más peso o menos peso en la válvula de impulso, entre las dos tuercas superiores hasta conseguir que la válvula entre en funcionamiento, es decir que no se quede constantemente abierta o cerrada.
- Para reducir las pérdidas, regulamos el perno doble rosca para que la apertura de la válvula de impulso no sea mayor a 4 mm.

## 15. BIBLIOGRAFÍA

- Adelki Fonsca Urquia, Moa (2015) Evaluacion de los parametros de operación de un Ariete Hidraulico mono pulsor para practicas de laboratorio, Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa " Dr. Antonio Nunez Jimenez"
- Campaña, C. (02 de 02 de 2011). Diseño e Implementaciòn de una Bomba de Ariete. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4020/1/CD-3778.pdf>
- Campaña, S. (12 de 05 de 2015). DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE ARIETE HIDRAULICO PARA EL. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6717/62125R412.pdf?sequence=1>
- Cristian Napoleon Campana Calero, Darwin Arturo Guaman Alarcon, (Quito, Julio 2011), Diseño y construccion de una bomba de Ariete Hidraulico, Escuela Politecnica Nacional.
- Daniel Fernando Orduz, La Instalación de un Ariete Hidráulico su Técnica y Obtención de Curvas Características. Pereira (1981)
- Enrgias, J. (15 de 02 de 2015). Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de [polired.upm.es/index.php/distecd/article/download/2512/2590](http://polired.upm.es/index.php/distecd/article/download/2512/2590)
- Federico Guido, Capitulo 19: Conversion de la energia del golpe de ariete, Agua y energía. Sinergia Hidroenergética
- Hidraulico, C. (02 de 02 de 2011). Diseño e Implementaciòn de una Bomba de Ariete. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4020/1/CD-3778.pdf>
- Hincapiè, S. (12 de 05 de 2015). DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE ARIETE HIDRAULICO PARA EL. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6717/62125R412.pdf?sequence=1>
- Manuel Ignacio Ayala Chauvin. (2005-2006). Disenio y Contruccion de un Ariete Multipulsor. Universidad Nacional de Loja
- Pashkov, N.N. y F.M. Dolqachev. 1985. Hidr·ulica y M·quinas Hidr·ulicas. Editorial MIR, Mosc.

Romero, J. (15 de 02 de 2015). Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de [polired.upm.es/index.php/distecd/article/download/2512/2590](http://polired.upm.es/index.php/distecd/article/download/2512/2590)

# ANEXOS

## Anexo 1

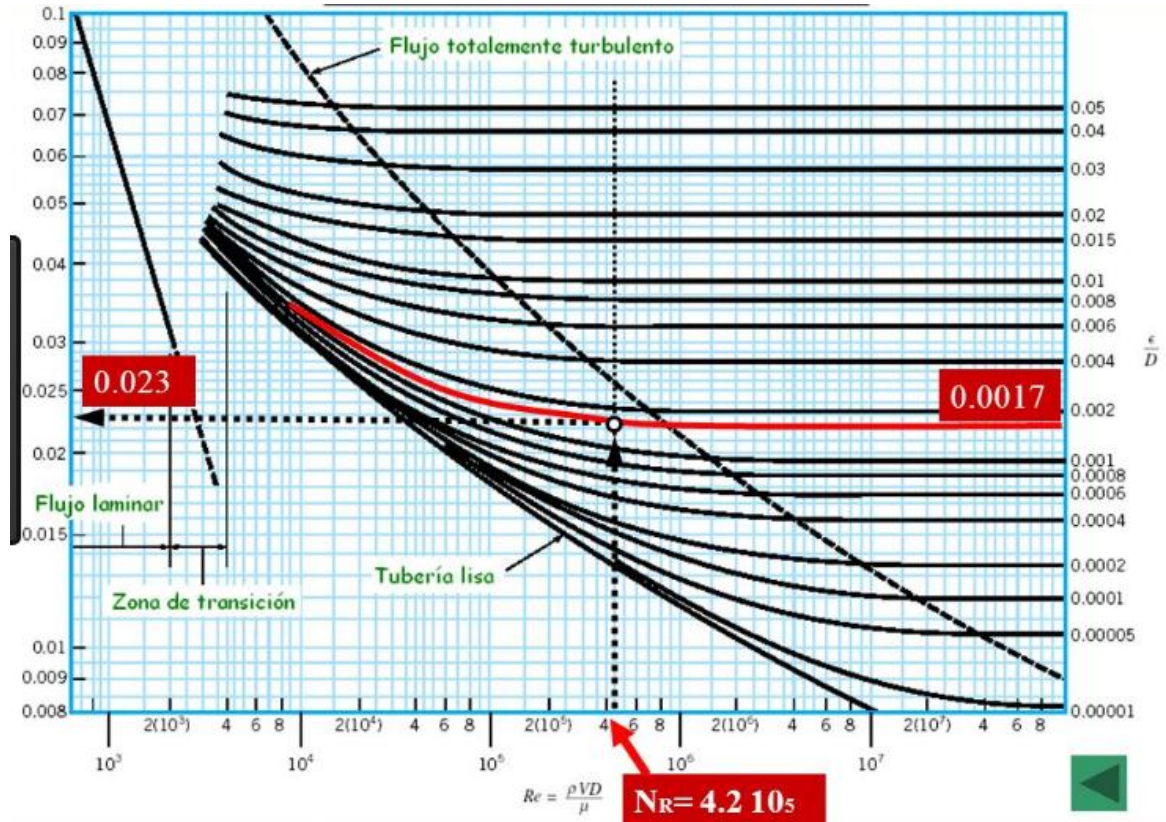
### Rugosidad absoluta según el material

<b>Material</b>	<b>Rugosidad absoluta <math>\epsilon</math> (mm)</b>
Acero bridado	0.9-9
Acero comercial	0.45
Acero galvanizado	0.15
Concreto	0.3-3
Concreto bituminoso	0.25
CCP	0.12
Hierro forjado	0.06
Hierro fundido	0.15
Hierro dúctil <sup>(1)</sup>	0.25
Hierro galvanizado	0.15
Hierro dulce asfaltado	0.12
GRP	0.030
Polietileno	0.007
PVC	0.0015

<sup>(1)</sup> cuando la tubería de hierro dúctil esté revestida internamente, se debe tomar el valor de rugosidad absoluta del material de revestimiento.

## Anexo 2

### Diagrama de Moody



## Anexo 3

### Equivalencias de diámetros nominales entre tipos de tuberías



**talleres transglass, s.l.**

Avda. de Gijón, 114  
33460 Avilés-Asturias (España)  
Tfno. (+34) 985 565 320  
Fax (+34) 985 563 969  
www.transglass.net - transglass@transglass.net

#### EQUIVALENCIAS DE DIÁMETROS NOMINALES ENTRE TIPOS DE TUBERÍAS

Diámetro nominal		Clase de tuberías				
		Plásticos		Fibrocemento		Acero
Milímetros	Pulgadas	Diam. exterior	Clase	Diam. exterior	Diam. exterior	Diam. exterior
10	3/8"	16			17,1	
15	1/2"	20			21,3	
20	3/4"	25			26,7	
25	1"	32			33,4	
32	1 1/4"	40			42,2	
40	1 1/2"	50			48,3	
50	2"	63			60,3	
60	2 1/2"		A-F	77		77
65	2 1/2"	75			76,1/73	
80	3"	90	A-F	101	88,39	98
100	4"	110	AD	119	114,3	118
			EF	125		
125	5"	125	AD	149	139,7	144
			EF	156		
150	6"	160	AD	170	168,3	170
			EF	187	165,1	
175	7"	180			193,7	
200	8"	200	AC	222	219,1	222
			D	232		
			EF	249		
250	10"	250	AB	272	273,1	274
			C	280		
			D	287		
			EF	311		
300	12"	315	AB	326	323,9	326
			C	330		
			D	339		
			EF	360		
350	14"	355	AB	380	355,6	378
			C	385		
			D	395		
			EF	420		

Diámetro nominal		Clase de tuberías				
		Plásticos		Fibrocemento		Acero
Milímetros	Pulgadas	Diam. exterior	Clase	Diam. exterior	Diam. exterior	Diam. exterior
400	16"	400	AB	434	406,4	429
			C	440		
			D	452		
			EF	480		
450	18"	450	AB	488	457,2	480
			C	494		
			D	508		
			EF	540		
500	20"	500	AB	543	508	532
			C	549		
			D	564		
			EF	600		
600	24"	630	AB	651	609,6	635
			C	659		
			D	677		
			E	705		
			F	720		
700	28"	710	AB	760	711,2	738
			C	769		
			D	790		
			E	822		
			F	840		
800	32"	800	AB	868	812,8	842
			C	879		
			D	903		
			E	940		
			F	960		
900	36"	900	AB	978	914,4	945
			C	989		
			D	1015		
			E	1057		
			F	1080		
1000	40"	1000	AB	1086	1016	1048
			C	1100		
			D	1128		
			E	1174		
			F	1200		

## Anexo 4

### Coeficientes de resistencia locales

#### Coeficientes de resistencias locales según P. G. Kiseliiov.

Entrada en el tubo para bordes agudos.....	$\zeta = 0,50.$
Entrada suave en el tubo.....	$\zeta = 0,50-0,20.$
Ensanchamiento repentino.....	$\zeta = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 .$
Estrechamiento repentino.....	$\zeta = 0,5\left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) .$
Cono de transición (para $d_2 = 2d_1$ ).....	$\zeta = 5,0.$
Cono de transición (para $d_2 \approx 0,5d_1$ ).....	$\zeta = 0,20.$
Giro brusco a $90^\circ$ .....	$\zeta = 1,20.$
Giro suave a $90^\circ$ .....	$\zeta = 0,15.$
Salida del tubo por debajo del nivel.....	$\zeta = 1,0.$
Válvula de disco totalmente abierta.....	$\zeta = 0,10.$
Válvula de compuerta totalmente abierta.....	$\zeta = 0,11-0,12.$
Diferentes robinetes totalmente abiertos.....	$\zeta = 5.$
Válvulas de sujeción con bombas provistas de mallas.....	$\zeta = 10.$
Entrada suave en el canal.....	$\zeta = 0,10.$
Entrada en el canal con bordes de entrada agudos (con presión lateral).....	$\zeta = 0,40$
Estrechamiento suave del canal.....	$\zeta = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$
Estrechamiento suave del canal ( $A_2 < A_1$ ).....	$\zeta = 0,10.$

Fuente: **Pashkov, N.N., Dolqachev, F.M.,** (1985), Hidráulica y máquinas hidráulicas, Editorial Mir Moscú-Rusia.

---



## Anexo 5

### Diámetros de la tubería de impulsión en función del caudal

#### DIÁMETROS DE LA TUBERÍA DE IMPULSIÓN EN FUNCIÓN DEL CAUDAL

Diámetro del tubo de impulsión  (Milímetros)	Q = Litros por minuto	
	caudal mínimo	caudal máximo
19.05	3	8
25.40	8	38
38.00	15	57
51.00	30	95
63.50	57	170
76.00	95	265
102.00	151	473

Fuente: **Fox R., Kenneth**, (1984), Manual de diseño construcción, instalación, mantenimiento de arietes hidráulicos. Predesur, Loja-Ecuador.

## Anexo 6, Fotografias

Figura 1: Suelda electrica



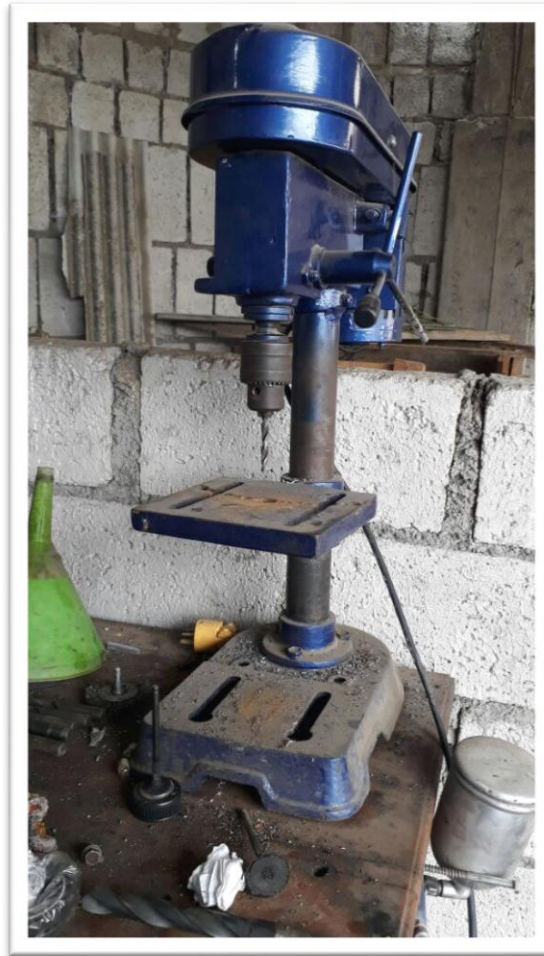
Los autores

Figura 2: Amoladora



Los autores

Figura 3: Taladro



Los autores

Figura 4: Materia prima tubo de acero



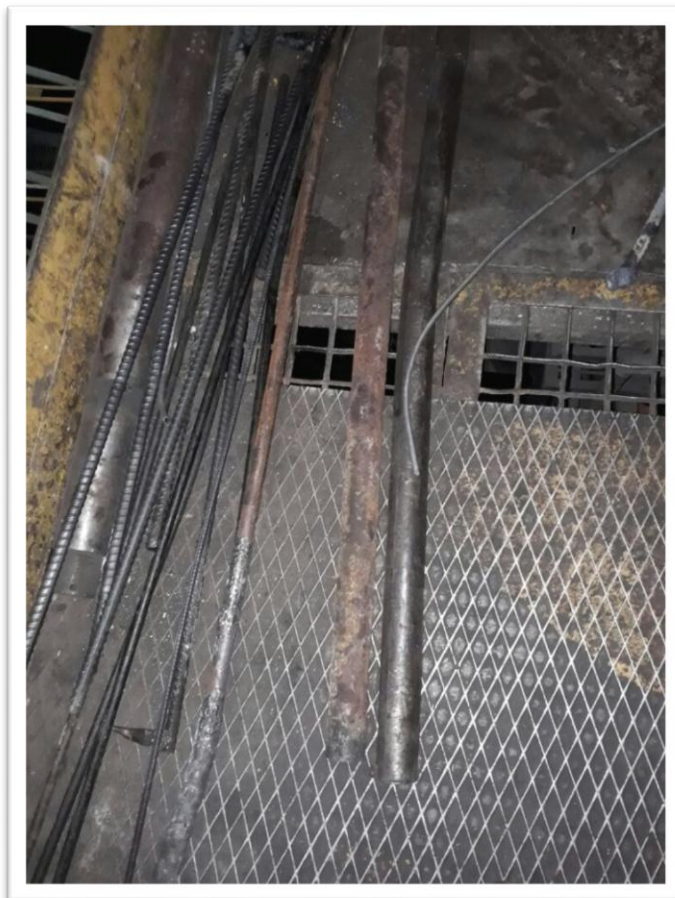
Los autores

Figura 5: Materia prima plancha de acero



Los autores

Figura 6: Materia prima tubos de acero



Los autores



Figura 7: Construccion de la base del ariete



Los autores

Figura 8: Construccion de valvula check



Los autores

Figura 9: Mesa de trabajo



Los autores

Figura 10: Ariete armado



Los autores



Figura 11: Ariete pulido



Los autores

Figura 12: Colocación de manómetro



Los autores

Figura 13: Colocación de llaves de paso y mangueras



Los autores

Figura 14: Colocación de abrazaderas



Los autores



Figura 15: Abastecimiento de agua para primeras pruebas de funcionamiento



Los autores

Figura 16: Tanque reservorio de 1000 litros



Los autores

Figura 17: Conexión de mangueras



Los autores

Figura 18: Altura del tanque



Los autores



Figura 19: Conexiones de tubería



Los autores

Figura 20: Ariete instalado



Los autores

Figura 21: Poste graduado



Los autores

Figura 22: Medición del caudal de llegada



Los autores

Figura23: Pruebas de funcionamiento



Los autores

Figura 24: Medición



Los autores



Figura 25: Calibración de válvula de impulso



Los autores

## Anexo 7

### Hojas de cálculo

Tabla de cálculos 1

H (m)	Q+q (l/min)	Q (l/min)	q (l/min)	q (m <sup>3</sup> /h)	Golpes v(1/min)
4	5,8	2	3,8	0,228	53
6	6,2	3,6	2,6	0,156	37
8	7	5,4	1,6	0,096	29

Los autores

Tabla de cálculos 2

H (m)	Hi (m)	q (l/min)	Q (l/min)	Q+q (l/min)	Nu (W)	Nb (W)	$\eta$ [%]	$\eta_{\lambda}$ [%]	$\eta_R$ [%]	$\eta_v$ [%]
4	5,178	3,8	2	5,8	193,01	228	84,8	84,8	55,9	65,5
6	7,178	2,6	3,6	6,2	183,07	243	75,2	75,2	57,4	41,9
8	9,178	1,6	5,4	7	144,05	275	52,4	52,4	38,4	22,9

Los autores

Tabla de cálculos 3

	$\epsilon$ (mm)	D (mm)	v (m/s)	$\nu$ (m <sup>2</sup> /s)	v Hadzich (m/s)	L (m)	$\frac{g}{(m^2/s)}$	$\sum \zeta$	$\zeta_{loc}$	$\rho$
Impulso	0,007	40	1	1E-06	1,6	12	9,81	9,6	0,2	1000
Bombeo	0,007	25	1	1E-06	1,6	10				

Los autores

Tabla de cálculos 4

	$\epsilon r$	Re	$\lambda$ calculo	$\lambda$ Moody	hroz (m)	Q+q (m <sup>3</sup> /s)	Ha (m)		hloc (m)	hiner (m)
Impulso	0,0002	35088	0,01	0,016	0,63	0,006	2,01	4		
Bombeo	0,0003	21930	0,02	0,02	1,04				0,052	0,082

Los autores



## Anexo 10

### Datos de los coordinadores



#### Datos personales

<b>Nombres y Apellidos</b>	Alex Alfonso Romero Monje
<b>Cédula de identidad</b>	050349481-7
<b>Fecha de nacimiento</b>	11 de Marzo de 1990
<b>Lugar de nacimiento</b>	Latacunga
<b>Estado civil</b>	Casado
<b>Ciudad</b>	Cotopaxi, Pujilí
<b>Dirección</b>	Calle Pichincha y Luis Rivadeneira
<b>Teléfono</b>	0995372235
<b>E-mail</b>	mariapazromerozapata@gmail.com

#### *Estudios realizados*

<b>Estudios Primarios:</b>	Escuela Antonio Aristarco Jacome
<b>Estudios Secundarios:</b>	Instituto Tecnológico Ramon Barba Naranjo Electromecánico
<b>Universitarios:</b>	Universidad Técnica de Cotopaxi Egresado
<b>Idioma Extranjero:</b>	Inglés



**Datos personales**

<b>Nombres y Apellidos</b>	Gabriela Miroslava Cueva Pico
<b>Cédula de identidad</b>	172023697-3
<b>Nacionalidad</b>	Ecuatoriana
<b>Fecha de nacimiento</b>	23 de Octubre de 1986
<b>Lugar de nacimiento</b>	Quito
<b>Estado civil</b>	Casada
<b>Ciudad</b>	Pichincha, Quito
<b>Dirección</b>	Conocoto, Urb. Ciudad de Quito
<b>Teléfono</b>	0998105204
<b>E-mail</b>	gabrielacuevapico@gmail.com

***Estudios realizados***

<b>Estudios Primarios:</b>	Instituto “Perez Pallares”
<b>Estudios Secundarios:</b>	Colegio Experimental “24 de Mayo” Física Matemática
<b>Universitarios:</b>	Escuela Politecnica Nacional Tecnología Electromecánica Universidad Técnica de Cotopaxi Egresada
<b>Idioma Extranjero:</b>	Inglès