

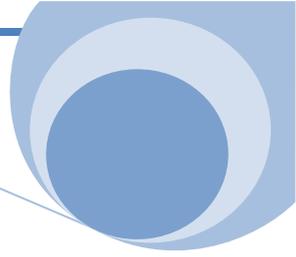


Holger M. Benavides Muñoz
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido y revisado la tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Civil, realizada por: Johanna Lizbed Armijos Torres, la misma que lleva como título: **“APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA CINÉTICA DEL AGUA PARA SU PROPIA IMPULSIÓN, MEDIANTE BATERIAS DE BOMBAS DE ARIETE”**; tema que cumple con las características exigidas por la reglamentación de la Escuela de Ingeniería Civil, por tanto, autorizo su presentación.

Holger M. Benavides Muñoz



AUTORÍA

El contenido en general; conceptos, análisis, criterios, y desarrollo del programa es de exclusiva responsabilidad de la autora.

Johanna Lizbed Armijos Torres

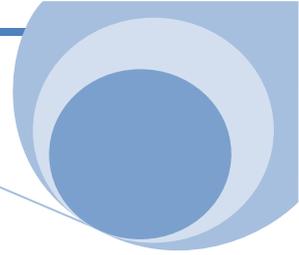


CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Johanna Lizbed Armijos Torres, declaro ser autor del presente trabajo y absuelvo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la universidad”.

Johanna Lizbed Armijos Torres



AGRADECIMIENTO

“En los momentos de crisis, sólo la imaginación es más importante que el conocimiento; la creatividad nace de la angustia como el día nace de la noche oscura. La verdadera crisis es la crisis de la incompetencia. El inconveniente de las personas y los países es la pereza para encontrar las salidas y soluciones”

ALBERT EINSTEIN

Agradezco de manera muy especial y profunda a la Universidad Técnica Particular de Loja, en especial a la Escuela de Ingeniería Civil y a sus docentes, quienes gracias a su apoyo, esfuerzo y dedicación, han compartido sus sabios conocimientos y enseñanzas hacia mi persona.

De igual forma, es grato para mi agradecer al Ingeniero Holger M. Benavides Muñoz, Director de Tesis, por su apoyo y guía en la elaboración de este proyecto.

Principalmente, agradezco al amor de mi vida (mi padre) y la mujer más valiosa y maravillosa (mi madre); quienes gracias a su apoyo, a sus cuidados y sabios consejos como padres y principalmente como los mejores amigos, me han sabido guiar por buen camino.

También quiero agradecer a mis amigos(as): Diana, Glenda, Cinthya y Paola principalmente, mujeres encantadoras de nobles sentimientos, cómplices de mis momentos de alegría, tristeza y llanto.

Gracias

La autora

DEDICATORIA

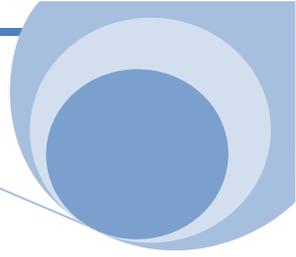
Dios, guía de mi camino.

A mis padres y hermanos, fuente de alegría, inspiración, valores y virtudes; principales apoyos para mi superación académica, profesional y personal.

A Claudio Carmelo, mi tío, por su apoyo, consejos y enseñanzas; mas que un tío un verdadero amigo y hermano.

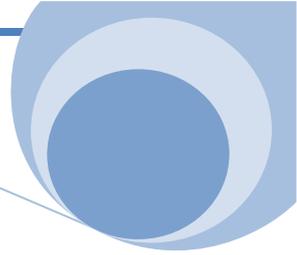
A Jhonn Alexander, la persona con quien quiero construir mi futuro.

Johanna Lizbed Armijos Torres



CAPÍTULO I

GENERALIDADES



INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la construcción de bombas de ariete, no tiene un alto interés para los investigadores e inversionistas, puesto que la aparición de bombas eléctricas y motores, han hecho que no se aplique principios físicos elementales (energía cinética del fluido) para la propia impulsión del agua; sin embargo, la aparición de recientes campañas de prevención y protección del medio ambiente, así como también la falta de recursos económicos, sobre todo en países pobres, ponen a los investigadores en busca de recursos nuevos para contribuir a solucionar los siguientes problemas:

La población rural (campesinos) normalmente habitan en zonas topográficamente elevadas en la que los cauces naturales son de difícil acceso para esta población, convirtiéndose en una actividad tediosa el abastecimiento de caudales tanto para riego, abrevaderos como para consumo humano suficiente y permanente.



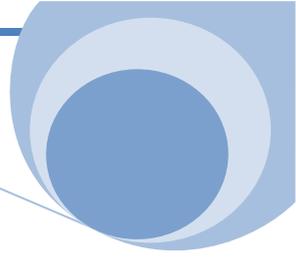
Por otro lado, estas personas deben invertir cuantiosos recursos económicos para elevar caudales capaces de satisfacer sus necesidades en las cotas requeridas. Asimismo, los gastos de operación y mantenimiento de los equipos de bombeo (eléctrico convencionales) lo convierten en costoso.

Teniendo en cuenta esta problemática nos permitimos dar una alternativa de solución que garantice eficiencia y economía, a través de la construcción de arietes, que eleven líquidos (como agua) a cotas superiores a la del cauce natural, que puedan trabajar sin la necesidad de aportar energía externa, y sobre todo construir las a bajas costos y de una forma sencilla.

A continuación se da una breve descripción de su funcionamiento:

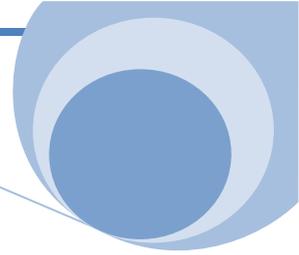
Tomando como punto de partida el cambio cíclico de la energía cinética a energía elástica y a su vez en energía de presión, producto del fenómeno transitorio hidráulico producido por un cierre brusco de una válvula en una aducción a presión, elaboraremos el modelo matemático para la comprensión técnica del comportamiento de un golpe de ariete controlado; seguidamente construiremos prototipos (bombas de ariete) de diferentes diámetros y modelos para corroborar su funcionamiento; y con ensayos de campo obtendremos datos de caudales y alturas de impulsión derivadas del funcionamiento de las mismas.

Las bombas a construirse emplearán únicamente la energía cinética producida por un volumen relativamente grande de agua trasegando desde una corta altura, para impulsar una pequeña cantidad de agua a una altura mucho mayor.



OBJETIVOS

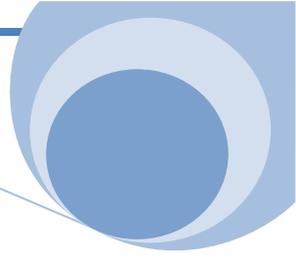
OBJETIVO GENERAL



- 👉 Plantear un procedimiento matemático-constructivo de baterías de arietes para aprovechar la energía cinemática del agua en su propia impulsión.

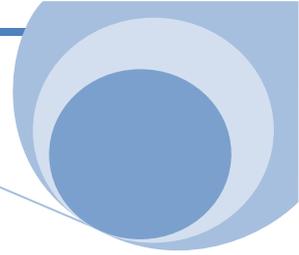
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 👉 Desarrollar el modelo matemático del fenómeno del golpe de ariete.
- 👉 Construcción del prototipo (batería de bombas de ariete), instalaciones y puesta en funcionamiento.
- 👉 Elaboración de un manual técnico para: construcción, operación y mantenimiento de bombas de ariete.
- 👉 Estructurar un curso on-line (aprovechando el **Entorno Virtual de Aprendizaje** EVA-Universidad Técnica Particular de Loja) para esta temática.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO



2. EL ARIETE

2.1. ¿Qué es un ariete?

El ariete es una máquina sencilla que permite elevar un caudal de agua “ q ”, hasta una altura “ H_i ” mayor que la altura de carga “ h_c ” que constituye la fuente de alimentación de la bomba.

Su funcionamiento aprovecha las grandes presiones del fenómeno conocido como fenómeno transitorio, (también conocido como golpe de ariete y/o ariete hidráulico) generado mediante el cierre violento de una válvula. Para ello un caudal “ Q ” (*mayor que q*) ingresa a la bomba y se derrama, activando las válvulas que la bomba tiene para este fin. **(Ver figura 1-4)**

Un ariete es una máquina hidráulica básica que no necesita aporte de energía exterior, brindando una alternativa práctica para abastecer de líquido vital, a un bajo costo.

La historia data que “el ariete, se conoce desde 1775, cuando John Whetherst a través de la asociación de ingenieros en Londres, mostró un ariete de operación manual. En 1776, Joseph M de Montgolbier, coinventor del globo



aerostático de aire caliente, construyó un ariete de operación automática, cuya patente le fue entregada en 1797".¹

2.2. Energía cinética y bombas de ariete

La variación de energía según el primer principio de la termodinámica se define como la suma de la variación del *calor al trabajo mecánico*, que puede revestir formas muy diversas y puede transformarse de un tipo de energía en otra.

En palabras, la primera ley de la termodinámica para un sistema es:

Razón de aumento con respecto al tiempo de la energía total almacenada del sistema	=	Razón neta de cambio con respecto al tiempo de la adición de energía por transferencia de calor hacia el sistema	+	Razón neta de cambio con respecto al tiempo de la adición de energía por transferencia de trabajo hacia el sistema
--	---	--	---	--

Matemáticamente la proposición anterior es:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{dQ}{dt} + \frac{dW}{dt} \quad \text{[Ec. 2.1]}$$

La transferencia de calor (Q) es el transporte de energía a través de una frontera del sistema, en virtud de alguna diferencia de temperaturas entre él y sus alrededores. El trabajo (W) es el transporte de energía por la acción de una fuerza a través de una distancia.

¹Tomado de:

Dr. Raúl Izquierdo Pupo del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Cuba (ISMM) en su libro: Izquierdo, P, R y Alberto V: Ariete Hidráulico, Diseño, construcción y explotación. Publicaciones internas, ISMM, Cuba. 1992. Email: rizquierdo@ismm.edu.cu



La energía cinética está asociada con el movimiento de la masa, por lo que se la denomina energía almacenada en un sistema, que se la define a través del teorema de transporte de Reynolds (Ec. 02).

$$\frac{dE}{dt} = \frac{dQ}{dt} + \frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{V_c} e \rho dV + \int_{V_c} \rho e \left(\vec{V}_{sc} \times \vec{dA} \right) \quad [\text{Ec. 2.2}]^2$$

Donde:

$$e = \frac{V^2}{2} + gz + y = \frac{\text{Entrada total E}}{\text{Masa}}$$

\vec{V}_{sc} - velocidad del flujo en \vec{dA}

$$y = \frac{\text{Energía interna}}{\text{Masa}}$$

“La energía cinética de una partícula infinitesimal es, por definición, igual a $(1/2) dmV^2$, el cambio de la energía cinética durante un proceso depende sólo de las velocidades inicial y final del sistema infinitesimal durante un proceso”³.

2.3. Partes del ariete

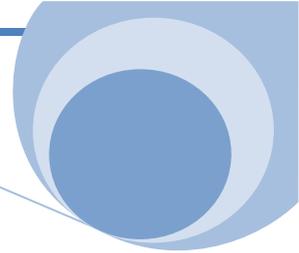
Un ariete tipo consta de las siguientes partes. (**Ver figura 1-1**)

- **Válvula de derrame (C)**

Constituye la parte más importante en el funcionamiento del equipo. Se encarga de producir el golpe de ariete por el cierre brusco que se origina por el incremento de velocidad del fluido. Esta válvula permite regular la cantidad de agua que penetra en la cámara de aire, que se logra al cambiar la frecuencia de los golpes por minuto (GPM) del ariete.

² Fundamentos de mecánica de fluidos. Brucer R. Munson. Donald F. Young. Theodore H. Okiishi. Limusa Wiley. 1999

³ Mecánica de fluidos. Irving H. Shames..Tercera edición. Mc Graw Hill 1995



Cuando se dispone de suficiente agua en la captación se regula esta válvula a una frecuencia tal que permita bombear el máximo, sin darle mayor importancia al agua que se pierda por el derrame del ariete; pero si el agua disponible es limitada la regulación debe limitarse de manera tal que el caudal bombeado más el derramado sea ligeramente menor que el disponible con lo que se evitará que el ariete se detenga por falta de agua.

- **Válvula de descarga (D)**

La válvula de descarga permite el paso del agua, desde la caja de válvulas hasta la cámara de aire, no permite el retroceso del fluido al cerrarse por los efectos del rebote que se produce con el aire comprimido dentro de la cámara, lo que hace que el agua sea impulsada hasta un nivel superior al de captación. Debe estar construida de forma tal que se logre una buena hermeticidad, lo que evita pérdidas en la eficiencia y el rendimiento.

Cuando existe una falta de caudal (o presión) en el ingreso de la caja de válvulas, ó, obstrucción por material de arrastre (arenas o gravilla); la válvula de derrame no cierra; provocando que no se produzca el fenómeno de ariete, en vista que no existe el cierre brusco que genere la onda de presión regresiva, es decir, la celeridad tiende a cero, provocando un déficit de presión para comprimir el aire; por tanto el ariete deja de funcionar.

- **Caja de válvulas**

Aquí se produce la inversión de la onda de presión y es donde se colocan las válvulas de impulso y de derrame.

- **Cámara de aire (E)**

Funciona como amortiguador de los golpes de ariete e impulsa el agua por la tubería de descarga dando de esta forma un flujo casi continuo, logrando un nivel superior al de captación. Este vacío trae como consecuencia tres efectos:

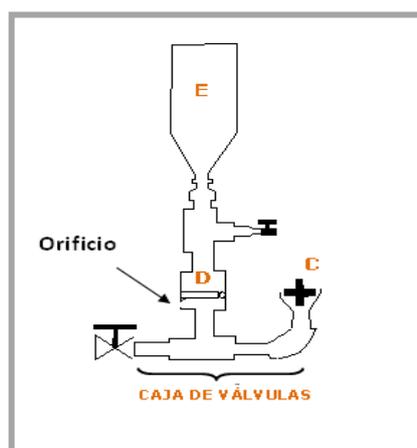
1. El primero es ayudar a la apertura de la válvula de derrame para poder así completar el ciclo de trabajo. Esta presión de vacío, juntamente con el peso de la válvula facilitan la apertura de la válvula e iniciar su movimiento de descenso.
2. El segundo efecto es permitir el ingreso de una cantidad pequeña de aire, a través de un orificio de entrada de aire que se encuentra inmediatamente debajo de la válvula de descarga. (ver figura 01).

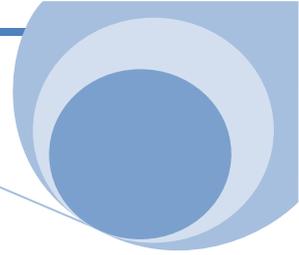
Se aprovecha este ligero instante de presión negativa para hacer entrar a la bomba, a través de un pequeño orificio, una pequeña cantidad de aire que sirve para mantener cargado el acumulador. Esta cantidad de aire que ingresa es para reemplazar el aire que se disuelve en el acumulador debido al movimiento del fluido sobre el aire, e impedir de esta manera un mal funcionamiento de la bomba.

3. El tercer efecto es cerrar la válvula de descarga con la ayuda de la presión de descarga " H_i ", terminando de esta manera el bombeo en este ciclo.

Por otra parte la cámara de aire debe tener una dimensión no menor de 0.5 metros de longitud ni mayor de 1 metro y pueden utilizarse relaciones de $D/2$ a $D/3$ de la tubería de alimentación del ariete para elegir el diámetro de la base de la cámara de aire.

FIGURA 1-1. Partes de un ariete





Fuente: La autora

2.4. Operación de un ariete

2.4.1. Elementos necesarios para la instalación del prototipo

La instalación del prototipo variará de acuerdo al sitio o lugar, a los recursos disponibles, y, al uso que se le vaya a dar al agua impulsada. Los elementos principales en un sistema de bombeo son: (ver figura 1-4)

- ✓ Fuente de alimentación **A**
- ✓ Tubería de alimentación **B**
- ✓ Cuerpo del ariete.
- ✓ Tubería de descarga **F**
- ✓ Tanque de almacenamiento **G**

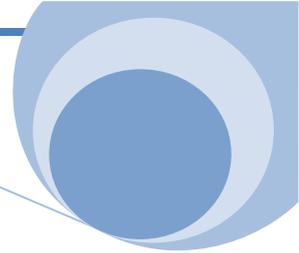
Fuente de alimentación A

Este servirá para abastecer de agua al ariete. El mismo que será diseñado de acuerdo al uso del líquido impulsado: consumo humano, agrícola o para la agricultura; también dependerá si se toma el agua de un río, arroyo, salto, presa o embalse natural.

Cuando el agua se toma de un río o quebrada es necesario hacer una derivación para colocar el ariete fuera del cauce para evitar daños por crecida o época de lluvia.

La carga de agua será no menor a 30 cm para evitar la succión de aire por la tubería de alimentación.

Tubería de alimentación B



La tubería de alimentación une la fuente con el ariete. Constituye el elemento fijo más importante y soporta con mayor intensidad los efectos del choque hidráulico. Por tal razón debe estar construida de un material rígido y de elevada dureza; además debe colocarse lo más recto posible y estar fuertemente anclada para evitar vibraciones.

Hay que tener en cuenta que el agua que se acelera en el tubo de alimentación es el que provoca el golpe de ariete por lo que su trayectoria ha de ser recta y sin estrechamientos.

El desnivel de trabajo ó altura de carga (**h_c**) deberá ser superior a 1m, de tal forma que se pueda conseguir la presión y velocidad suficientes para el funcionamiento del ariete. El caudal de alimentación dependerá del tubo de acometida, el cual deberá ser siempre menor del caudal que posea el rio, acequia o canal.

La longitud (**L**) de la tubería de alimentación dependerá de la altura de carga (**h_c**) y de la topografía del terreno donde se instale la bomba.

Es necesario colocar un filtro a la entrada del tubo de alimentación para evitar el paso de partículas que puedan dañar el equipo.

Cuerpo del ariete

Este corresponde al prototipo que usted fabricará en los capítulos 3, 4 y 5.

Tubería de descarga F

Se puede construir con manguera de goma pero habrá que tener en cuenta la altura a bombear para conocer la presión máxima en columna de agua que resiste.



La manguera deberá ser tendida sin formar ondulaciones ni bolsas de aire, ya que estas reducen el caudal bombeado y pueden parar el ariete. El diámetro de la misma deberá estar entre 0.3 a 0.5 veces el diámetro de la tubería que alimenta al ariete.

Si la altura de elevación es muy grande se debe cuidar que la manguera no sufra roturas por sobrepresión. Esta rotura por lo general se da en las partes bajas en forma longitudinal. Para esto es recomendable instalar los primeros 8 m con tubo de materiales y espesores que garanticen su operatividad.

Tanque de almacenamiento G

Es la obra civil final, que recoge el caudal impulsado q . Esta será diseñada de acuerdo al máximo caudal bombeado y a la utilidad del agua.

Para consumo humano el tamaño del tanque será diseñado para que se llene en las horas que no exista demanda, si es para riego o abrevadero dependerá de la demanda ó consumo de agua.

2.4.2. Puesta en marcha del prototipo

Una vez construido el ariete, deberá ponerlo a funcionar. Asegúrese que no existan fugas y que la altura de trabajo sea la adecuada, usualmente mayor a un metro, para nuestros arietes se ensayo con alturas mayores a 2 metros. Los golpes de ariete suelen ser de uno a dos por segundo.

Para que un ariete comience a funcionar es necesario mantener la válvula de entrada de la tubería de alimentación totalmente abierta y libre de obstrucciones. Se abre la válvula de derrame por un tiempo de uno a dos minutos para eliminar el aire de la tubería de entrada al ariete, luego se comienza a cerrar y abrir la misma hasta que se establezca el ciclo de funcionamiento y comience a marchar de forma automática. Debido a que el gasto entregado por el equipo es relativamente pequeño la tubería de descarga

demorará cierto tiempo en derramar el agua, significando esto el tiempo necesario para que se llene la misma.

2.5. Fenómeno del golpe de ariete

“El golpe de ariete es un fenómeno transitorio, es decir, de régimen *variable* y líquido *compresible*.”

Las principales razones que producen un golpe de ariete en un conducto, es al abrir y cerrar bruscamente una válvula; y, al poner en marcha o parar una máquina hidráulica.

Al cerrar rápidamente una válvula, en virtud del principio de conservación de la energía, al disminuir la energía cinética, ésta se va transformando en un trabajo de compresión del fluido que llena la tubería, producido una sobrepresión (golpe de ariete positivo). Por el contrario, al abrir rápidamente una válvula se puede producir una depresión (golpe de ariete negativo).⁴

- **Fenómeno del golpe de ariete en una tubería de longitud L ⁵.**

La figura 1-2 representa una tubería de longitud “ L ”, espesor “ δ ” y diámetro interior “ D ” por la que circula agua proveniente de un embalse y que termina en su extremo derecho en una válvula.

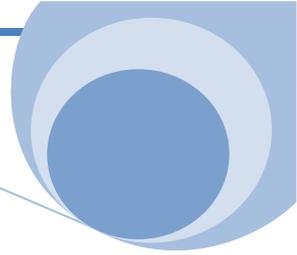
FIGURA 1-2. Fenómeno del golpe de ariete en una tubería de longitud L

⁴Resumido de:

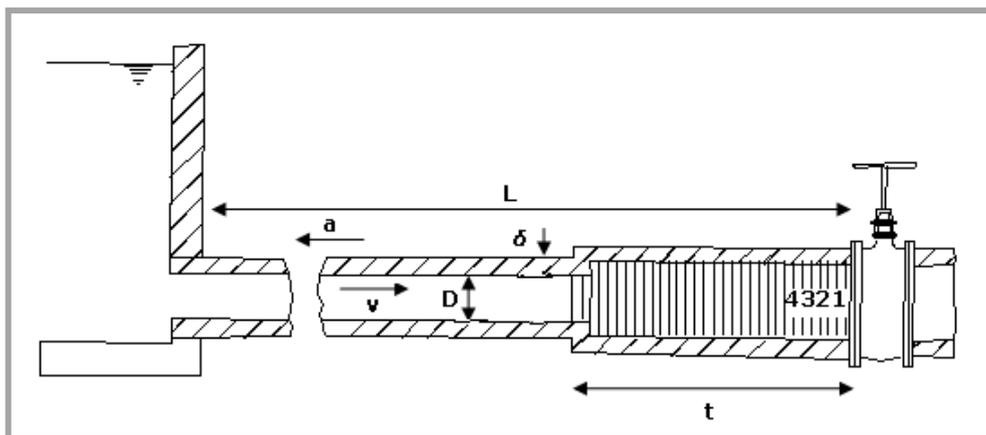
Claudio Mataix, Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas, 2da. Edición., Pag. 312, Harla-México 1982

⁵ Tomado de:

Claudio Mataix, Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas, 2da. Edición. Harla-México 1982



Fuente: Claudio Mataix, Mecánica de Fluidos y Maquinas
Hidráulicas, 2da. Edición. Pag. 313. Harla-México 1982



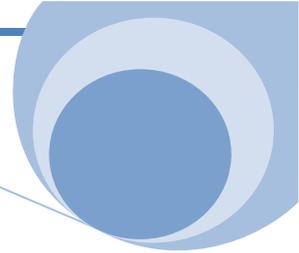
Al
cer
rar
se
por
co
mp
let

o instantáneamente la válvula de la figura 1-2, si dividimos imaginariamente todo el fluido que llena la tubería en rodajas, como la 1, 2, 3 y 4 indicadas en la figura 1-2, se quedará primero en reposo la rodaja 1 y a continuación la 2, 3, 4, etc., necesitando un cierto tiempo. Es decir, en la válvula se ha originado una onda de presión que se propaga con celeridad "a", la cual en el instante considerado tiene dirección contraria a la velocidad "v" del fluido: se ha creado una onda elástica, o sea una onda de presión que se propaga por la tubería; se refleja en el embalse, vuelve a la válvula y de nuevo al embalse, y así sucesivamente; originando sobre presiones y depresiones en la tubería, la cual se dilata o contrae al paso de la onda.



Consideremos la figura 1-3 la serie de los acontecimientos en la tubería durante un período $T = 4 L/a$.

- a. No hay perturbación. Régimen permanente. El líquido en la tubería se desplaza con velocidad “v” del embalse a la válvula. Diámetro de la tubería normal.
- b. Tiempo 0. La válvula se cierra instantáneamente. La velocidad de líquido se anula a partir de la válvula no instantáneamente, en toda la tubería.
- c. Tiempo $t_{r/2} = L/2a$. La onda de presión se propaga hacia el embalse con la celeridad “a” y su frente llega a la mitad de la tubería. Mitad derecha de la tubería dilatada por las sobre presión. Mitad izquierda diámetro normal. En esta mitad izquierda el agua sigue circulando con velocidad “v” hacia la válvula. En la mitad derecha, $v = 0$.
- d. Tiempo $t_r = L/a$. La onda de presión ha llegado al embalse. En toda las tuberías de líquido esta en reposo, $v = 0$, pero no en equilibrio. Toda la tubería esta dilatada. El agua en la tubería comienza a moverse con velocidad “v”, en sentido contrario figura 1-3 (a).
- e. Tiempo $3/2 t_r = 3/2 L/a$. La mitad izquierda el fluido circula con velocidad “v” y la tubería se ha contraído a su diámetro normal. La onda sigue propagándose hacia la derecha con celeridad “a”.
- f. Tiempo $2 t_r = 2 L/a$. Diámetro de toda la tubería normal. Todo el fluido de la tubería en movimiento desde la válvula hacia el embalse con velocidad “v”; o sea en dirección contraria a la de la figura 1-3 (a, b y c).
- g. Tiempo $5/2 t_r = 5 L/a$. La depresión ha alcanzado la mitad de la tubería. La mitad derecha de la tubería contiene agua en reposo y a una presión por debajo de la normal. El diámetro de la tubería en esta mitad es inferior al normal.



- h. Tiempo $3 tr = 3 L/a$. El agua en toda la tubería está en reposo; pero no en equilibrio. La depresión reina en toda la tubería. El diámetro de toda la tubería es inferior al normal.
- i. Tiempo $7/2 tr = 7/2 L/a$. En la mitad izquierda de la tubería del fluido esta en movimiento con velocidad “v” hacia la válvula. En la mitad derecha el líquido continúa en reposo y en depresión. El diámetro de la parte izquierda que es normal. El de la mitad derecha menor que el normal; “a” y “v” tienen el mismo sentido.
- j. Tiempo $4 tr = 4 L/a$. Diámetro de la tubería normal. Todo el fluido en movimiento con velocidad “v” hacia la válvula. Todo igual que el tiempo 0.

El periodo total de este movimiento es:

$$T = 4 \times tr = 4 \times \frac{L}{a} \quad [\text{Ec. 2.3}]$$

Donde:

T - período total del movimiento (s)

tr- tiempo (s) que tarda la onda de presión en recorrer la longitud L

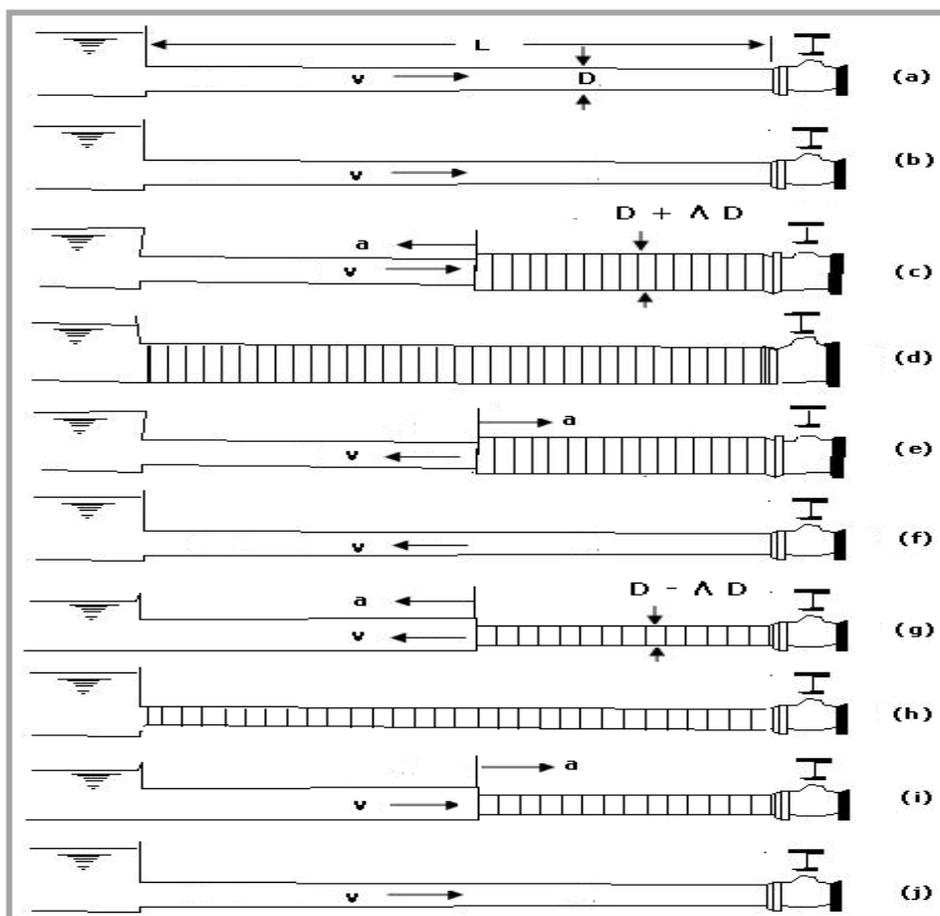
L - longitud de la tubería de alimentación (m)

a - celeridad de la onda de presión (m/s)

Teóricamente este movimiento oscilatorio continuaría indefinidamente. En la práctica, la deformación de la tubería y la viscosidad del líquido disipan energía y las oscilaciones se amortiguan. Por lo tanto se trata de crear golpe de ariete para que, con la presión elevada que se obtiene, la bomba sea capaz de elevar un fluido.



FIGURA 1-3. Fenómeno del golpe de ariete en una tubería de longitud "L"



Fuente: Claudio Mataix, Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas, 2da. Edición. Harla-México.pag.314 1982

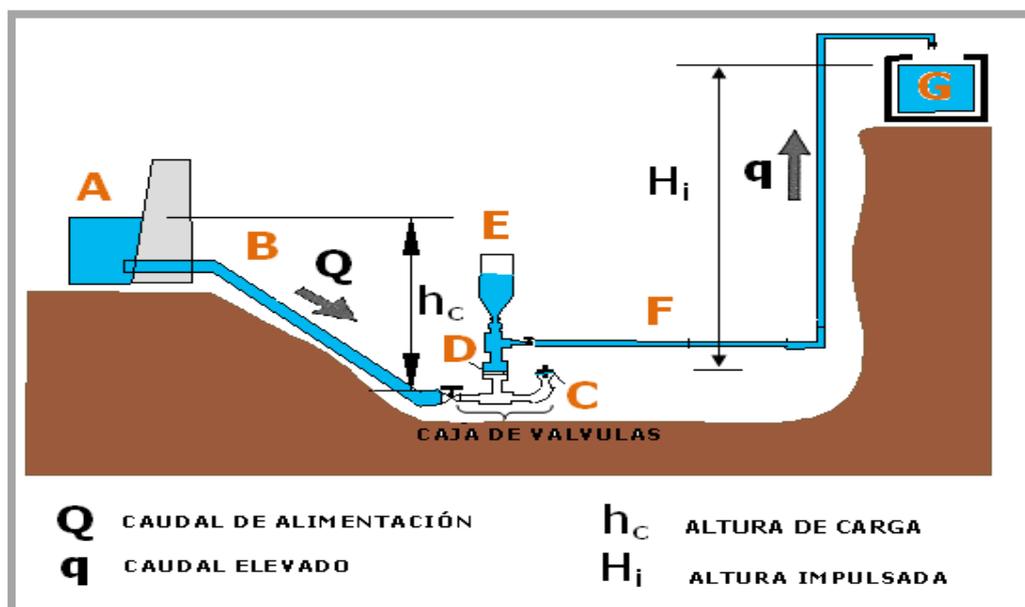
2.6. Principio de funcionamiento de un ariete

El agua procedente de una fuente de alimentación (A) desciende por gravedad por una tubería de alimentación (B) bajo la acción de la altura de carga (h_c) con un caudal determinado (Q), acelerándose hasta adquirir una velocidad suficiente para que la presión dinámica cierre la válvula de derrame (C). El cierre brusco de ésta válvula produce el efecto conocido como golpe de ariete, lo que provoca una sobrepresión que fuerza a abrir la válvula de descarga (D), la cual permite salir una cierta cantidad de agua que penetra en la cámara de aire (E) donde comprime el aire existente en su interior.

El agua sigue fluyendo dentro de la cámara de aire (E) hasta que la mayor presión existente reduzca a cero la velocidad, entonces la válvula D se cierra aprisionando el volumen de agua que penetró y que, por efecto de la elasticidad del aire, es impulsada a través de la tubería de descarga (F) hacia el tanque elevado de almacenamiento (G).

Cerrada la válvula D la depresión oscilatoria (velocidad negativa) del golpe de ariete hace que la válvula de derrame (C) se abra otra vez y comienza un nuevo ciclo, con el consiguiente ascenso de una columna estable de agua hacia el tanque elevado de almacenamiento del fluido (G). (Ver figura 1-4).

FIGURA 1-4. Esquema de la instalación típica de una BAH



Fuente: La autora

2.7. Ecuaciones para el cálculo

- Rendimiento (η)



El rendimiento del ariete varía en función del cociente de altura impulsada y altura de carga (H_i/h_c). Al aumentar el valor de este cociente, el rendimiento (η) disminuye. Para el cálculo del rendimiento utilizaremos la fórmula de D'aubuisson, que considera a la bomba como una máquina que bombea un caudal “q” hasta una altura “ H_i ”.

$$\eta = \frac{q \times H_i}{Q \times h_c} \times 100 \quad [\text{Ec. 2.4}]$$

Donde:

η	-	rendimiento del ariete (%)
q	-	caudal elevado (L/min)
H_i	-	altura impulsada (m)
Q	-	caudal de alimentación (L/min)
h_c	-	altura de carga (m)

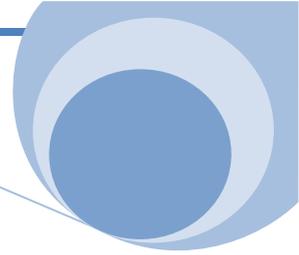
- **Altura impulsada (H_i)**

Para un cálculo más exacto, seguro y realista, el valor de la altura impulsada (H_i) viene dado por la siguiente fórmula:

$$H_i = H_n + H_f \quad [\text{Ec. 2.5}]$$

Donde:

H_i	-	altura impulsada (m)
H_n	-	altura neta de elevación (m)



H_f - altura de fricción (m)

La altura de fricción está aproximadamente dada por el 10% de la longitud de la tubería de descarga, así:

$$H_f = 0.1 \times l \quad [\text{Ec. 2.6}]$$

Donde:

l - longitud de la tubería de descarga (m)

Finalmente se tiene:

$$H_i = H_n + (0.1 \times l) \quad [\text{Ec. 2.7}]$$

- **Caudal elevado (q)**

El caudal elevado depende del rendimiento (η), del caudal de alimentación (Q), de la altura de carga (h_c) y de la altura impulsada (H_i). Su fórmula viene dada por:

$$q = \eta \times \frac{Q \times h_c}{H_i} \quad [\text{Ec. 2.8}]$$

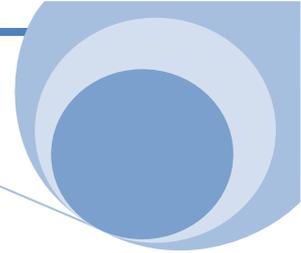
- **Caudal de alimentación (Q)**

El caudal de alimentación es igual a la suma del caudal impulsado más el caudal derramado.

$$Q = q + Q_d \quad [\text{Ec. 2.9}]$$

Donde:

Q_d - caudal derramado (L/min)



- **Periodo de aceleración**

Abarca el tiempo desde la iniciación del derrame hasta el momento en que se inicia el cierre de la válvula de derrame. Para determinar el tiempo en el cual el flujo de una tubería tarda en estabilizarse, se debe estimar las pérdidas en los accesorios y la fricción en la tubería, puesto que la carga original, disminuye al aumentar la velocidad dentro de una tubería.

La relación existente entre el caudal y el tiempo para la estabilización de un flujo viene dada por la siguiente ecuación:

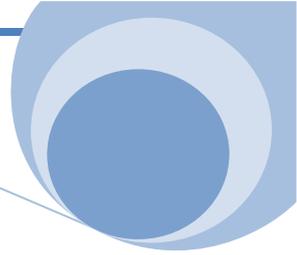
$$Q = \frac{A \times x \left(e^{\frac{w \times x \times t}{L}} - 1 \right)}{\left(e^{\frac{w \times x \times t}{L}} + 1 \right)} \quad \text{[Ec. 2.10]}$$

Donde:

$$w = 1 + KQ + \left(f \times \frac{L}{D} \right)$$

$$x = \sqrt{2 \times g \times \frac{h_c}{w}}$$

- t- tiempo de estabilización de flujo (s)
- L- longitud de la tubería de alimentación (m)
- D- diámetro d-e la tubería de alimentación (m)
- A - área del interior de la tubería (m²)
- g- aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)
- Q- caudal de alimentación (lt/min)
- h_c- altura de carga (m)
- KQ- factor de pérdidas en accesorios



- f- factor de fricción en la tubería $f=0.0025$
- e- base del logaritmo neperiano

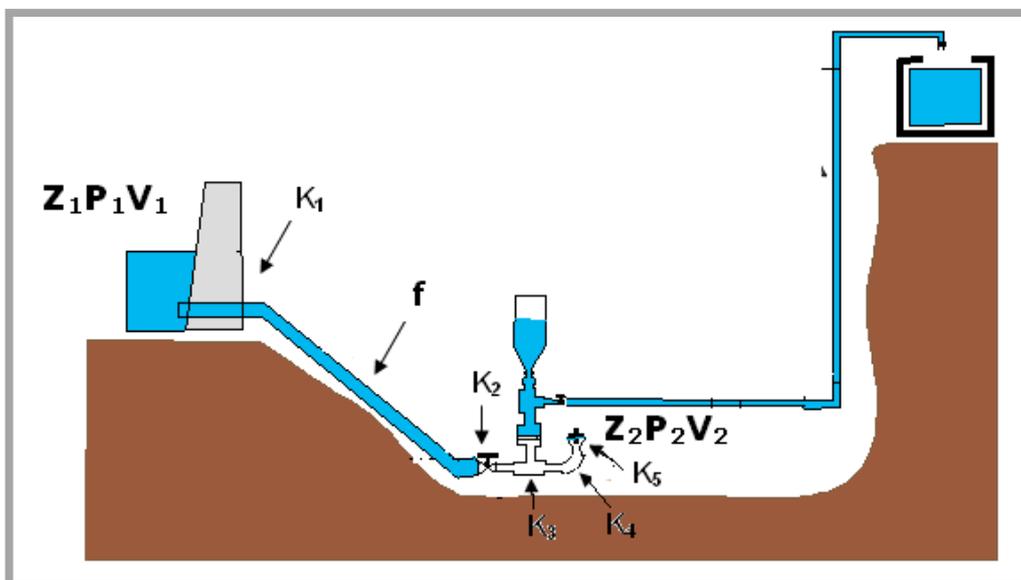
Las pérdidas en accesorios KQ (ver figura 05) para tubería de alimentación serán:

$$KQ = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 \quad [\text{Ec. 2.11}]$$

Donde:

- KQ - factor de pérdidas en accesorios para la tubería de alimentación
- K_1 - factor de pérdidas por contracción en la fuente de alimentación.
- K_2 - factor de pérdidas por válvula de alimentación.
- K_3 - factor de pérdidas por accesorio T- de un tramo
- K_4 - factor de pérdidas por accesorio codo 90° - estándar
- K_5 - factor de pérdidas en la salida de la válvula de derrame.

FIGURA 1-5. Esquema de pérdidas de una BAH



Fuente: La autora

- Periodo de retardación

Al cerrarse la válvula de derrame se produce el golpe de ariete hidráulico, que genera una onda de presión, siendo “a” la celeridad. *Joukowski* presenta la celeridad de la onda de presión en una tubería en la siguiente expresión:

$$a = \frac{\sqrt{\frac{E_o}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{E_o \times D}{E \times \delta}}} \quad [\text{Ec. 2.12}]$$

Donde:

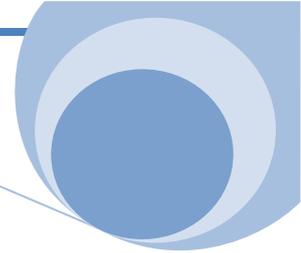
- a- Celeridad onda elástica del fluido en la tubería (m/s)
- E_o- Módulo de elasticidad volumétrica del fluido (N/m²)
- ρ- Densidad del fluido (kg/m³)
- E- Módulo de elasticidad del material de la tubería (N/m²)
- D- Diámetro interior de la tubería (m)
- δ- Espesor de la pared de la tubería (m)

- **Tiempo total del ciclo T**

Comprende el tiempo en que tarda en estabilizarse el fluido **t**, que se lo calcula según la ecuación 8, más el tiempo en que tarda la válvula de derrame en cerrarse **tc**, y más el tiempo en que tarda en abrirse nuevamente la válvula de derrame **tf**.

$$T = t + tc + tf \quad [\text{Ec. 2.13}]$$

Donde:



- T- tiempo total de duración de un ciclo (s)
- t- tiempo de estabilización del fluido (s)
- tc- tiempo de cierre de la válvula de derrame (s)
- tf- tiempo de apertura de la válvula de derrame (s)

- **Tiempo de estabilización del fluido ó retro - flujo**

Al cerrarse la válvula de derrame se abre la válvula de descarga, cambiando el sentido del flujo (en dirección al tanque de alimentación).

El intervalo de este tiempo fluctuará entre: (el tiempo de cierre + apertura de la válvula de derrame) y el tiempo total de duración de un ciclo completo. Tiempo en el que la velocidad varía entre los valores del rango: desde la velocidad de ingreso en la tubería hasta cero.

$$\left(t_c + t_f \right) \leq t_t < T \quad ; \quad V_{ingreso} < V < 0$$

Relacionando la velocidad en la tubería de alimentación ($V_{ingreso}$) y el tiempo (t) se puede determinar el caudal impulsado (q).

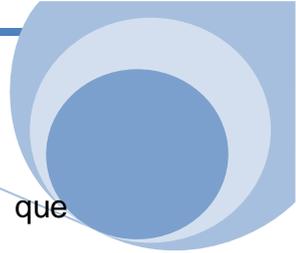
$$q \cong C \left(\frac{A}{T} \right) \quad ; \quad q \cong \left(\frac{\pi r^2}{t_c + t_f + t} \right) \quad \text{[Ec. 2.14]}$$

Donde:

- r- radio interior de la tubería de alimentación (m)

De la ecuación 12 se concluye que, a mayor recorrido del vástago (de la válvula de derrame) mayor tiempo de retro-flujo y mayor caudal derramado.

2.8. Mantenimiento de un ariete

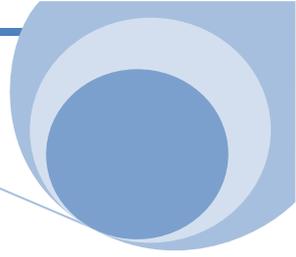


Si un ariete es bien construido y debidamente instalado el mantenimiento que requiere es mínimo.

Los componentes están diseñados para soportar muchos años de servicio, por lo que el mantenimiento de la máquina se reduce a una limpieza periódica. En el caso de romperse algún elemento, su sustitución es rápida y sencilla.

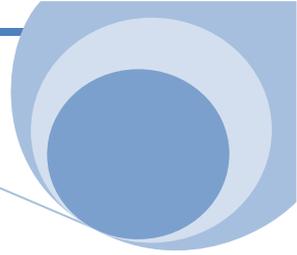
La limpieza se hará cada 6 meses cerrando las dos llaves para que se vacíe el equipo. Se debe desarmar éste en sus partes desmontables y extraer partículas que se hayan introducido. Las partes que deben chequearse generalmente son: La válvula de descarga, la válvula de derrame, tuercas, y tornillos que pueden aflojarse o destruirse producto de la corrosión, limpiar el filtro y la cámara de aire (así se renueva el aire, que puede llegar a disolverse con el paso del tiempo).

Durante la construcción del prototipo cuide que todas las uniones roscadas contengan la suficiente cantidad de teflón; además deben estar bien estopadas y fuertemente apretadas para evitar fugas en el ariete. En el caso de usar soldadura PVC, la superficie a pegar deberá estar limpia y libre de humedad, para que las piezas se adhieran perfectamente.



CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN EXPERIMENTAL.- ARIETE DE UNA PULGADA CON CÁMARA DE AIRE VERTICAL

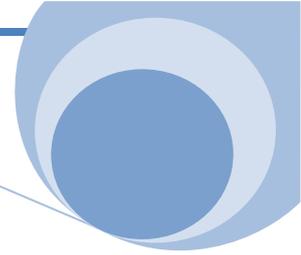


3. INSTRUCCIONES PARA EL ARMADO DEL ARIETE

3.1. Construcción

El ariete se fabrica con elementos comunes de fontanería. La mayoría de las piezas son en HG (hierro galvanizado), pero igual pueden fabricarse en PVC. Es económica y de fácil montaje, además es eficiente ecológico y muy didáctico.

FOTO 3-1. Vista general del ariete con una cámara de aire



Fuente: La autora

Identificamos por números las secciones generales para luego darles más detalle. Tenemos:

1. Caja de válvulas
2. Válvula de derrame
3. Válvula de impulso
4. Sección de salida o impulso
5. Cámara de aire

CUADRO 3-1. Materiales para construir el ariete

ITEM	DESCRIPCIÓN	N°
A	Llave de media vuelta de 1 pulgada	1
B	Llave de media vuelta de ½ pulgada	1
C	Neplos perdidos o unión macho de 1 pulgada	7
D	Neplo perdido o unión macho de ½ pulgada	1
E	Neplo de cintura o unión macho de cintura de ¾ de pulgada	1
F	Tee de 1 pulgada	2
G	Codo de 90° de 1 pulgada	1
H	Bushing con reducción de 1 pulgada a ¾ de pulgada	1

I	Bushing de 1 pulgada a ½ pulgada	1
J	Válvula check de 1 pulgada	1
K	Válvula de pozo o pie de 1 pulgada	1
L	Botella de 3 litros de capacidad	1
O	Abrazadera para tubo de ¾ de pulgada	1
	Cinta teflón	1

Fuente: La autora

1. **Caja de válvulas:** sobre ésta se asienta la válvula de impulsión y la válvula de derrame. Cada pieza se unen roscadas entre sí.

FOTO 3-2. Armado de la caja de válvulas



Fuente: La autora

2. **Válvula de derrame:** Esta se une roscada al neplo perdido C y luego se une éste conjunto a la caja de válvulas por encima de G. Ésta pieza se consigue en los mercados en bronce, pero últimamente también están disponibles en materiales plásticos, que son más baratos.

FOTO 3-3. Armado de la válvula de derrame



Fuente: La autora

- **Modificación de la válvula de derrame:** La válvula de derrame es la única pieza que requiere de modificación, debido a que estas válvulas están diseñadas para permanecer cerradas y abrirse ante una presión negativa. Y nosotros necesitamos que se mantenga abierta y se cierre ante una presión positiva, que en nuestro caso es la del agua que ingresa a la caja de válvulas del ariete.

A continuación indicaremos paso a paso la modificación de la válvula de derrame, únicamente aplicable para la válvula del ejemplo. En el mercado existen muchos tipos de válvulas de pie por lo que se recomienda utilizar su propio ingenio de tal forma que al final cumpla con su función.

- a. Aquí se presenta la imagen de la válvula tal como se consigue en el mercado

FOTO 3-4. Válvula de pie o pozo (válvula de derrame)



Fuente: La autora

- b. *Desarmar la válvula:* primero retiramos la malla, en este caso ésta se une mediante un tornillo que es fácil de desmontar. Seguidamente se corta un espacio de aproximadamente dos centímetros en un costado de la bomba para soltar el tornillo que retiene el eje de la válvula.

FOTOS 3-5 y 3-6. Desmontaje de la válvula de derrame



Fuente: La autora

Desarmado se ve así:

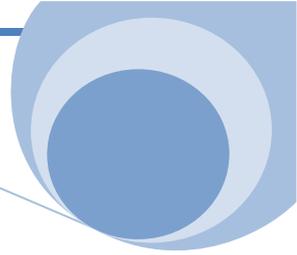


FOTO 3-7. Válvula de derrame desarmada



Fuente: La autora

Como se puede ver en la foto 3-5 y 3-6 del literal b el resorte se encuentra en la parte superior, presionando la válvula contra su marco, manteniéndola cerrada.

- c. *Modificación de la válvula:* cambiamos la posición del resorte de la parte superior a la parte inferior, de tal forma que en lugar de mantener cerrada la válvula la mantenga abierta. Para lograr esto, primero introducimos el resorte en el eje de la válvula y luego volvemos armar, así:

FOTOS 3-8 y 3-9. Modificación de la válvula de derrame. Parte 1



Fuente: La autora

Ahora volvemos a colocar el tornillo en la parte superior

FOTOS 3-10 y 3-11. Modificación de la válvula de derrame. Parte 2



Fuente: La autora

Como podemos ver en la fotografía 3-11 el resorte ahora obliga a alejar la válvula del marco, manteniéndola abierta. Finalmente colocamos nuevamente la malla de la válvula; y ahora si está listo para roscarla por encima del neplo perdido C (ver foto 3-3) en el ariete.

Para que la válvula trabaje correctamente debe cerrar bien al momento del golpe, por lo que las piezas deben ser precisas y los empaques o cauchos deberán estar en buen estado y encajar bien.

- 3. Válvula de impulso:** esta se une roscada a la caja de válvulas mediante un neplo perdido C por encima de F. En este caso es de bronce. No requiere de modificación pero si se debe tener cuidado de no instalarla en sentido contrario al flujo, algunas válvulas check, como la que se muestra en la imagen, traen una flecha que indican la dirección del flujo.

FOTO 3-12. Dirección de la válvula check



Fuente: La autora

- 4. Sección de salida o impulso:** se une roscada mediante unión macho C a la válvula de impulso J.

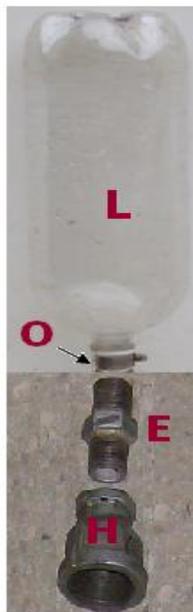
FOTO 3-13. Armado de la sección de salida o impulso



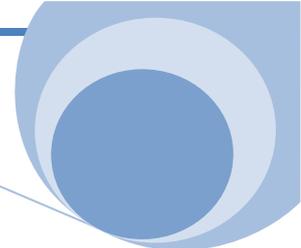
Fuente: La autora

- 5. Cámara de aire:** se une roscada mediante neplo perdido o unión macho C a la sección de salida o impulso. La botella se retiene al neplo de cintura E con la ayuda de una abrazadera O.

FOTO 3-14. Armado de la cámara de aire



Fuente: La autora



3.2. Instalación experimental

Para el ensayo experimental se dispuso de un depósito de hormigón de 1.5m x 2.0m x 2.0m. La fuente de alimentación se encontraba a una cota de 923 m.s.n.m. La tubería de alimentación se colocó 20 cm por encima de la base de la fuente de alimentación.

CUADRO 3-2. Datos de campo del ariete

NGPM	L (m)	tc (s)	tf (s)	l (m)	hc (m)	Ang. H (grados)	Hn (m)	t (min)	Qd (L)	q (L)
82	6	0.51	0.61	20	2	20	4	1.15	11.00	4.00
							5	1.62	15.00	4.00
							6	2.10	20.00	4.00
							7	3.83	29.00	4.00
							8	4.92	37.50	4.00
74	12	0.61	0.8	20	3	15	7	1.01	9.20	3.90
							8	1.01	8.90	3.00
							9	1.02	8.30	2.37
							10	1.00	7.20	1.55
							11	1.00	5.90	0.90
71	18	0.4	1.02	20	4	13	12	1.00	5.00	0.60
							7	1.00	8.40	4.30
							8	1.01	10.30	3.40
							9	1.02	12.25	2.75
							10	1.01	11.25	2.20
							11	1.02	10.80	1.90
							12	1.00	10.40	1.60
13	1.01	11.20	1.40							
							14	1.01	12.10	1.00

Fuente: La autora

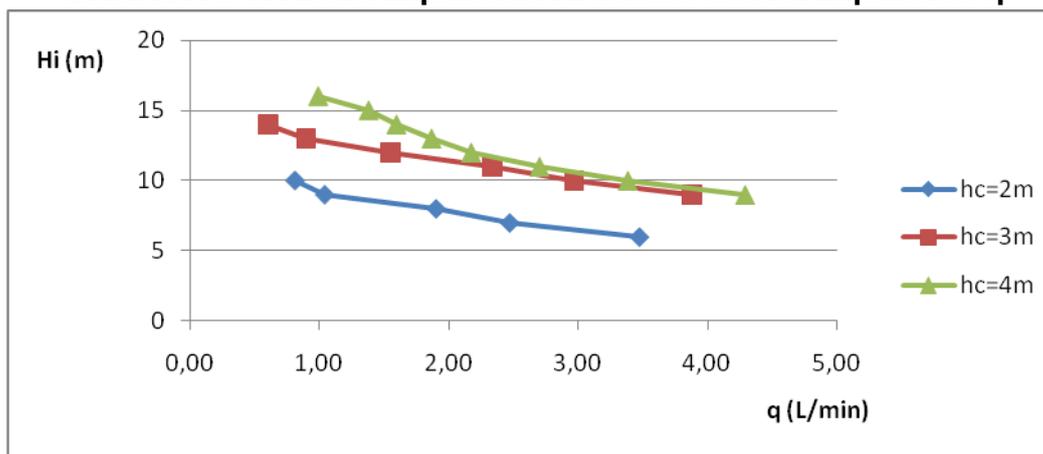
CUADRO 3-3. Cálculo de caudales, altura impulsada y rendimiento

"hc" carga= 2m					
"q" impulsado (L/min)	"Q _d " derramado (L/min)	"Q" entrada (L/min)	"Hi" impulsada (m)	Hi/hc	"η" rendimiento (%)
3.48	9.57	13.04	6	3.00	80.00
2.47	9.28	11.75	7	3.50	73.68
1.90	9.52	11.43	8	4.00	66.67
1.04	7.57	8.61	9	4.50	54.55
...viene	7.63	8.44	10	5.00	48.19
"hc" carga= 3m					
3.88	9.15	13.03	9	3.0	sigue...

2.97	8.81	11.78	10	3.33	84.03
2.34	8.16	10.50	11	3.67	81.58
1.55	7.19	8.74	12	4.00	70.86
0.90	5.87	6.77	13	4.33	57.35
0.60	4.99	5.59	14	4.67	50.00
"hc" carga= 3m					
4.29	8.37	12.66	9	2.25	76.18
3.38	10.25	13.63	10	2.50	62.04
2.70	12.04	14.74	11	2.75	50.42
2.17	11.12	13.29	12	3.00	49.07
1.87	10.62	12.49	13	3.25	48.62
1.60	10.39	11.99	14	3.50	46.67
1.38	11.07	12.45	15	3.75	41.67
1.00	12.04	13.03	16	4.00	30.53

Fuente: La autora

GRÁFICA 3-1. Altura impulsada H_i versus caudal impulsado q

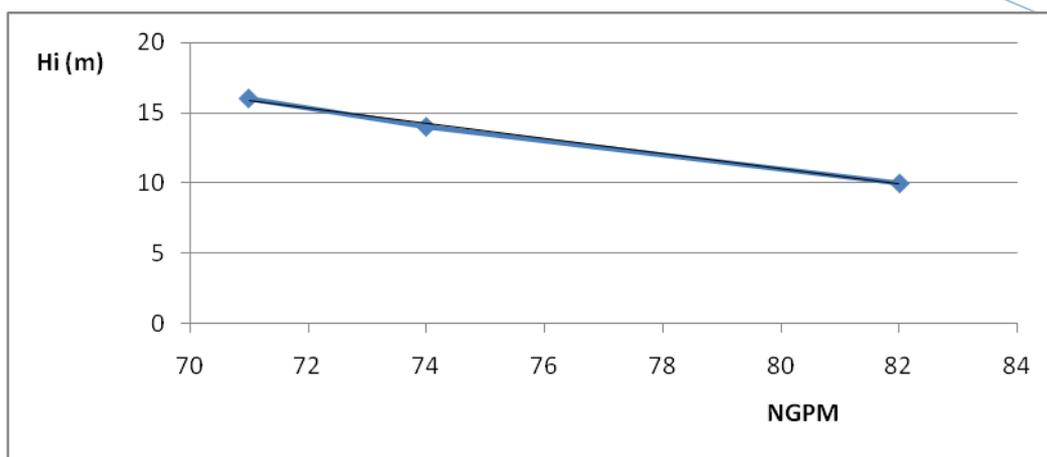
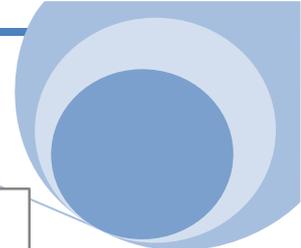


Fuente: La autora

Los valores de la curva trazada corresponden a la variación del caudal impulsado q en relación a la altura impulsada H_i ; para diferentes alturas de carga hc .

De la gráfica 3-1 se concluye que al aprovechar un mayor desnivel de trabajo, se logra una cota superior de elevación disminuyendo el caudal de entrega al aumentar la altura de impulsión.

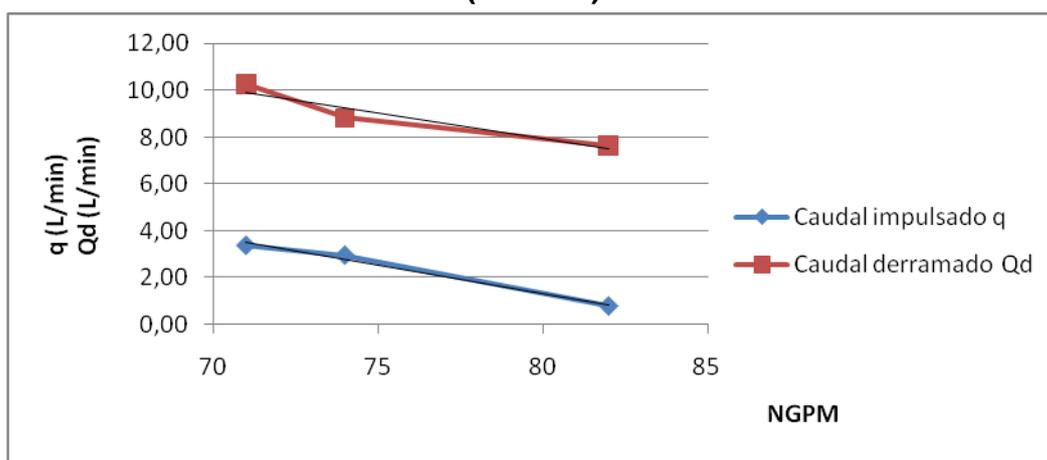
GRÁFICA 3-2. Altura impulsada H_i versus NGPM



Fuente: La autora

Aquí podemos ver, que los golpes por minuto del ariete de cámara de aire vertical, disminuyen al aumentar la altura de impulsión H_i .

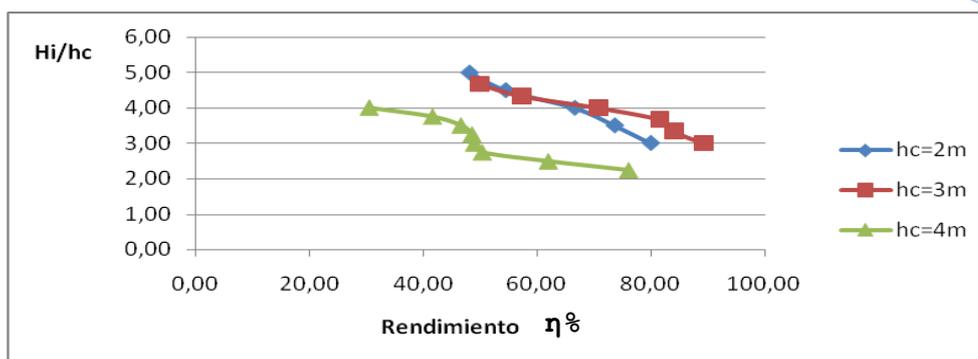
GRÁFICA 3-3. Caudal impulsado q , caudal derramado Q_d versus NGPM. ($H_i=10m$)



Fuente: La autora

El caudal derramado Q_d , y el caudal impulsado q aumentan al disminuir los golpes por minuto, es decir, mientras mayor sea el tiempo comprendido entre el cierre y apertura de la válvula de derrame, mayor será el caudal derramado y entregado por el equipo.

GRÁFICA 3-4. Relación altura impulsada H_i /altura de carga h_c versus rendimiento.



Fuente: La autora

Al aumentar la relación **Hi/hc** (altura impulsada/altura de carga), el rendimiento η disminuye, es decir, a una misma altura de carga **hc** al aumentar la altura de impulsada **Hi** el rendimiento η es menor.

3.3. Estimación del tiempo de duración de un ciclo T de la onda de presión

Para la estimación del tiempo de duración de un ciclo de la onda de presión, se debe considerar las pérdidas de carga de succión por longitud y accesorios del ariete. El factor K de pérdidas en piezas especiales se resume en el cuadro siguiente.

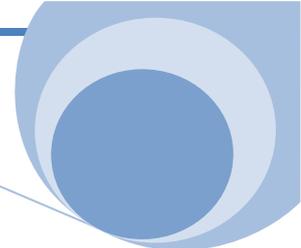
CUADRO 3-4. Pérdidas de carga en piezas especiales

Ítem	K
Entrada en la tubería	0.5
Salida de tubería	1
Válvula globo abierta	10
Tee de salida bilateral	1.8
Codo redondeado de 90°	0.25
Válvula de derrame (pie)	1.75
Válvula check	2.75
Unión o junta	0.4
Reducción gradual	0.15

Fuente: Pontificia Universidad Católica del Perú. Grupo de apoyo al sector rural. Página web: <http://www.pucp.edu.pe/invest/grupo>

Las pérdidas por longitud se determinaron con la ecuación de Darcy Weisbach (Ec. 3.1), con un factor de fricción “f” para tuberías de PVC de 0.0025.

$$hf = \frac{8 \times f \times l}{\pi^2 \times g \times D^5} \times Q^2 \quad \text{[Ec. 3.1]}$$



3.3.1. Estimación de la pérdida en la succión del ariete

Corresponde a pérdidas de carga en accesorios y longitud, desde la tubería de alimentación de la bomba, hasta la válvula de pie (válvula de derrame) en la caja de válvulas del ariete.

CUADRO 3-5. Velocidad del fluido en función del caudal impulsado y el área de la tubería; para diferentes alturas de carga ($H_i = 10$ m)

hc=2m					
D (pulg.)	D (m)	q(lt/min)	q(m3/s)	A(m2)	V=q/A (m/s)
1	0.0254	0.81	1.35593E-05	0.000506707	0.026759664
1/2	0.0127	0.81	1.35593E-05	0.000126677	0.107038657
hc=3m					
1	0.0254	2.97	4.94805E-05	0.000506707	0.097650927
1/2	0.0127	2.97	4.94805E-05	0.000126677	0.390603709
hc=4m					
1	0.0254	3.38	5.63847E-05	0.000506707	0.111276713
1/2	0.0127	3.38	5.63847E-05	0.000126677	0.445106854

Fuente: La autora

CUADRO 3-6. Cálculo de pérdidas por accesorios en la succión

ITEM	K			V2/(2g)			hf			
	hc=2 m	hc=3 m	hc=4m	hc=2m	hc=3m	hc=4m	hc=2m	hc=3m	hc=4m	
Entrada a la tubería de 1"	0.50	0.50	0.50	3.6E-05	4.9E-04	6.3E-04	0.00002	0.00024	0.00032	
Unión o junta de 1"		0.40	0.80	3.6E-05	4.9E-04	6.3E-04		0.00019	0.00050	
Válvula globo abierta de 1"	10.00	10.00	10.00	3.6E-05	4.9E-04	6.3E-04	0.00036	0.00486	0.00631	
Tee de salida bilateral de 1"	1.80	1.80	1.80	3.6E-05	4.9E-04	6.3E-04	0.00007	0.00087	0.00114	
Codo de 1" redondeado 90°	0.25	0.25	0.25	3.6E-05	4.9E-04	6.3E-04	0.00001	0.00012	0.00016	
Válvula de pie de 1"	1.75	1.75	1.75	3.6E-05	4.9E-04	6.3E-04	0.00006	0.00085	0.00110	
							SUMA:	0.0005	0.0071	0.0095

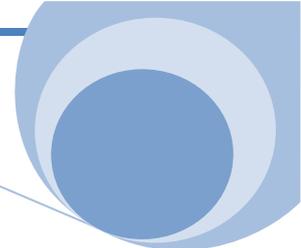
Fuente: La autora

CUADRO 3-7. Pérdidas por longitud en la succión del ariete

hc (m)	L (m)	hf
2	6.20	0.0000223
3	12.20	0.0005836
4	18.00	0.0011181

Fuente: La autora

De la suma de las pérdidas por accesorio y longitud, para cada altura de carga, resulta la pérdida en la succión total, obteniéndose las siguientes.



CUADRO 3-8. Pérdidas por succión

hc=2m	hc=3m	hc=4m
0.0005	0.0077	0.0106

Fuente: La autora

Con las pérdidas por succión apreciadas, se establece el tiempo total de duración de un ciclo T (ver Ec. Que involucran el cálculo de esta variable en el capítulo 2).

CUADRO 3-9. Duración del periodo T de la onda de presión (Hi=10m)

hc (m)	L (m)	D (m)	Q (L/min)	Qd (L/min)	tc (s)	tf (s)	K	w	x	A (m ²)	t (s)	T (s)
2	6.20	0.0254	8.44	7.63	0.51	0.61	0.0005	1.61	4.94	0.000507	0.088	1.208
3	12.20	0.0254	11.78	8.81	0.61	0.80	0.0077	2.20	5.16	0.000507	0.161	1.571
4	18.20	0.0254	13.63	10.25	0.40	1.02	0.0106	2.80	5.29	0.000507	0.208	1.628

Fuente: La autora

De acuerdo a los valores del cuadro 3-9, se deduce que el caudal derramado es mayor al aumentar el tiempo de duración de un ciclo T, este último se incrementa cuando el recorrido del vástago de la válvula de derrame es mayor.

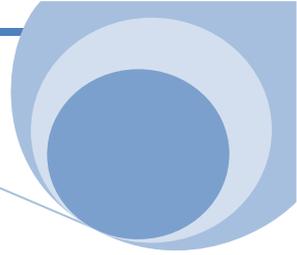
3.3.2. Estimación de pérdidas en la descarga del ariete

Estimaremos las pérdidas en la descarga del prototipo, con el fin de obtener la pérdida total del sistema completo.

CUADRO 3-10. Cálculo de pérdidas en accesorios en la descarga

ITEM	K	V ² /(2g)			hf accesorios			
		hc=2m	hc=3m	hc=4m	hc=2m	hc=3m	hc=4m	
Válvula check de 1"	2.75	0.000036	0.000486	0.000631	0.00010	0.00134	0.00174	
Tee de salida bilateral de 1"	1.80	0.000036	0.000486	0.000631	0.00007	0.00087	0.00114	
Reducción gradual a 1/2"	0.15	0.000584	0.007776	0.010098	0.00009	0.00117	0.00151	
Válvula globo abierta de 1/2"	10.00	0.000584	0.007776	0.010098	0.00584	0.07776	0.10098	
Junta o unión de 1/2"	0.40	0.000584	0.007776	0.010098	0.00023	0.00311	0.00404	
Entrada a la tubería de 1/2"	0.50	0.000584	0.007776	0.010098	0.00029	0.00389	0.00505	
Salida de tubería de 1/2"	1.00	0.000584	0.007776	0.010098	0.00058	0.00778	0.01010	
					SUMA:	0.0072	0.0959	0.1246

Fuente: La autora



CUADRO 3-11. Pérdidas en longitud en la descarga del ariete

hc (m)	L (m)	hf longitud
2	20.00	0.0022991
3	20.00	0.0306154
4	20.00	0.0397554

Fuente: La autora

Al sumar las pérdidas en accesorios y longitud, se calcula fácilmente las pérdidas en la descarga del ariete.

CUADRO 3-12. Pérdidas en la descarga

hc=2m	hc=3m	hc=4m
0.0095	0.1265	0.1643

Fuente: La autora

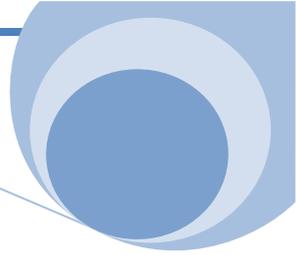
Sumando las pérdidas en la succión y en la descarga de la bomba, se establece la pérdida del sistema completo, para cada altura de carga hc.

CUADRO 3-13. Perdidas por longitud y accesorios del sistema

hc(m)	L(m)	hf succión	hf descarga	hf sistema
2	6.20	0.0005	0.0095	0.0100
3	12.20	0.0077	0.1265	0.1343
4	18.00	0.0106	0.1643	0.1750

Fuente: La autora

Del cuadro 3-13 se concluye que las pérdidas en el sistema son mayores al aumentar longitudes y accesorios en el sistema.

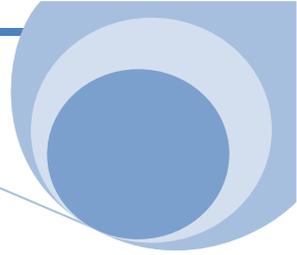


CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN

EXPERIMENTAL.- ARIETE DE UNA PULGADA

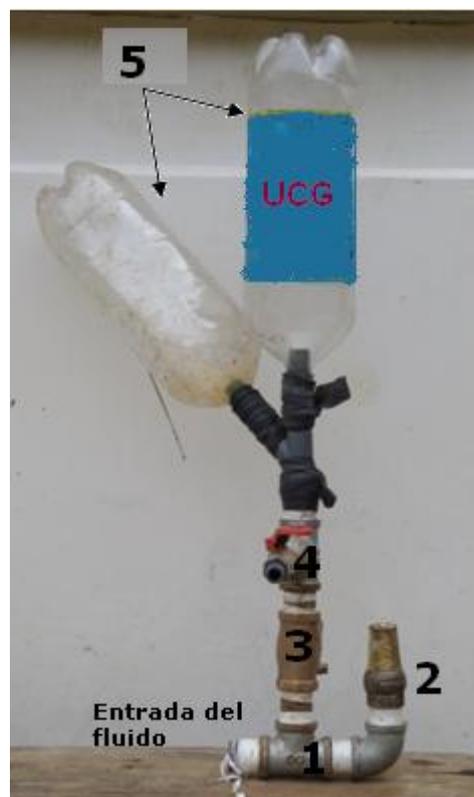
CON DOBLE CÁMARA DE AIRE VERTICAL



4. INSTRUCCIONES PARA EL ARMADO DEL ARIETE CON DOBLE CÁMARA DE AIRE

4.1. Construcción

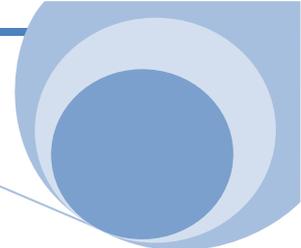
FOTO 4-1. Vista general del ariete de doble cámara



Fuente: La autora

Como podemos ver en la foto 4-1 las partes del ariete hidráulico de dos cámaras de aire son iguales al de una cámara. La diferencia radica en la doble cámara de aire.

1. Caja de válvulas
2. Válvula de derrame



3. Válvula de impulso
4. Sección de salida o impulso
5. Doble Cámara de aire

CUADRO 4-1. Materiales para la construcción del ariete con doble cámara

ITEM	DESCRIPCIÓN	N°
A	Llave de media vuelta de 1 pulgada	1
B	Llave de media vuelta de ½ pulgada	1
C	Neplos perdidos o unión macho de 1 pulgada	7
D	Neplo perdido o unión macho de ½ pulgada	1
E	Neplo de cintura o unión macho de cintura de ¾ de pulgada	3
F	Tee de 1 pulgada	2
G	Codo de 90° de 1 pulgada	1
H	Bushing con reducción de 1 pulgada a ¾ de pulgada	1
I	Bushing de 1 pulgada a ½ pulgada	1
J	Válvula check de 1 pulgada	1
K	Válvula de pozo o pie de 1 pulgada	1
L	Botella de 3 litros de capacidad	2
M	Yee de ¾ de pulgada de PVC	1
N	Tubo PVC de ½ pulgada y 10 cm de longitud	2
O	Abrazadera para tubo de ¾ de pulgada	2
	Soldadura PVC	
	Tiras sacadas de neumáticos desechados de llanta de vehículo	3
	Cinta teflón	1

Fuente: La autora

Se sigue el mismo proceso constructivo que el del ariete de una cámara de aire, para las secciones 1, 2, 3 y 4. La sección 5 que corresponde a la doble cámara de aire se arma como se detalla más adelante.

Del proceso constructivo del ariete de una cámara de aire hasta la sección 4 (sección de salida o impulso), se ha armado el ariete hasta donde se muestra la fotografía 4-2, finalizando con el neplo perdido o unión macho E.

Cabe mencionar que en este prototipo al igual que en el ariete de una cámara de aire, también se hará la modificación de la válvula de derrame (ver cap. 3).

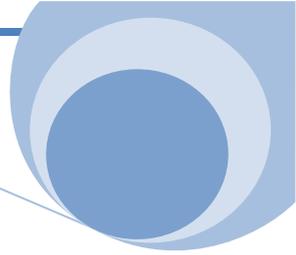


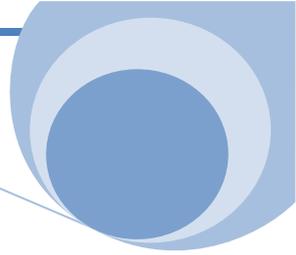
FOTO 4-2. Ariete de doble cámara armado hasta la sección 4



Fuente: La autora

Ahora, armamos la cámara de aire introduciendo la Yee M el interior del neplo C. Luego, introducimos los tubitos de $\frac{1}{2}$ pulgada N en el interior de las salidas de la Yee M. Debido a que estas últimas piezas son de PVC se deberán unir con pegante especial o soldadura PVC.

FOTO 4-3. Armado de la doble cámara de aire. Parte 1



Fuente: La autora

Finalmente se introducen las botellas, una de cada lado, las mismas que se aprietan con una abrazadera O.

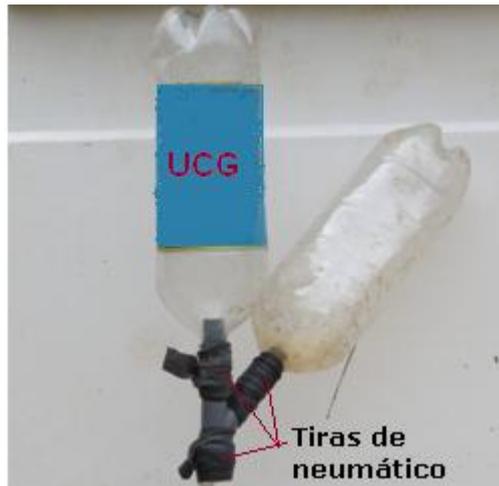
FOTO 4-4. Armado de la doble cámara de aire. Parte 2



Fuente: La autora

Para evitar fugas de aire se debe cubrir las tres puntas de la Yee con tiras de caucho o un material que garantice un empate hermético.

FOTO 4-5. Armado de la doble cámara de aire. Parte 3



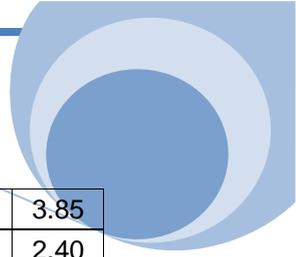
Fuente: La autora

4.2. Instalación experimental

Para el ensayo de ariete de doble cámara se dispuso de la misma fuente de alimentación que se utilizó para el ariete de una cámara vertical (ver cap. 3), obteniéndose los siguientes resultados.

CUADRO 4-2. Datos de campo del ariete

N° gol/min	L (m)	tc (s)	Tf (s)	l (m)	hc (m)	Ang. H (grados)	Hn (m)	t (min)	Qd (lt)	q (lt)
81	6	0.81	0.71	20	2	20	4	1.02	9.00	4.00
							5	1.32	12.00	4.00
							6	1.93	16.75	4.00
							7	3.13	25.50	4.00
							8	4.33	37.50	4.00
73	12	0.61	0.8	20	3	15	8	1.01	10.15	3.90
							9	1.00	10.38	3.00
							10	1.01	10.90	2.40
							11	1.02	10.10	1.65
							12	1.00	9.25	1.15
							8	1.01	8.50	4.00



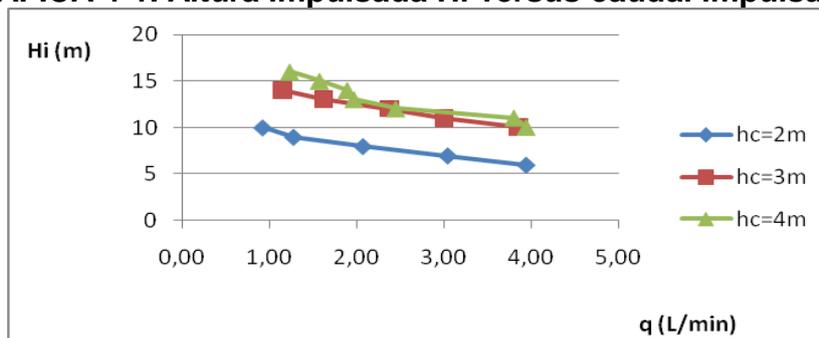
70	18	0.3	0.9	20	4	13	9	1.01	9.40	3.85
							10	1.03	9.60	2.40
							11	1.01	9.90	2.00
							12	1.00	10.30	1.90
							13	1.02	10.40	1.60
							14	1.01	11.10	1.25

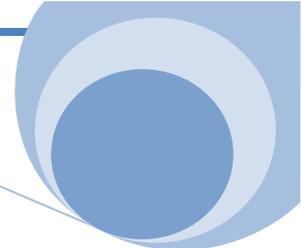
CUADRO 4-3. Cálculo de caudales, altura impulsada y rendimiento

"hc" carga=2m					
"q" impulsado (L/min)	"Q _d " derramado (L/min)	"Q" entrada (L/min)	"Hi" impulsada (m)	Hi/hc	"η" rendimiento (%)
3.93	8.85	12.79	6	3.00	92.31
3.04	9.11	12.15	7	3.50	87.50
2.07	8.66	10.73	8	4.00	77.11
1.28	8.14	9.41	9	4.50	61.02
...viene	8.65	9.58	10	5.00	48.19
"hc" carga= 3m					
3.85	10.03	13.88	10	3.33	82.53
3.00	10.36	13.36	11	3.67	82.24
2.35	10.77	13.11	12	4.00	72.18
1.57	9.91	11.47	13	4.33	60.85
1.00	9.22	10.22	14	4.67	51.60
"hc" carga= 3m					
3.94	8.38	12.33	10	2.50	80.00
3.80	9.29	13.09	11	2.75	79.91
2.45	9.35	11.80	12	3.00	62.31
1.97	9.76	11.73	13	3.25	54.62
1.89	10.27	12.16	14	3.50	54.51
1.58	10.25	11.82	15	3.75	50.00
1.19	10.98	12.16	16	4.00	40.49

Fuente: La autora

GRÁFICA 4-1. Altura impulsada Hi versus caudal impulsado q

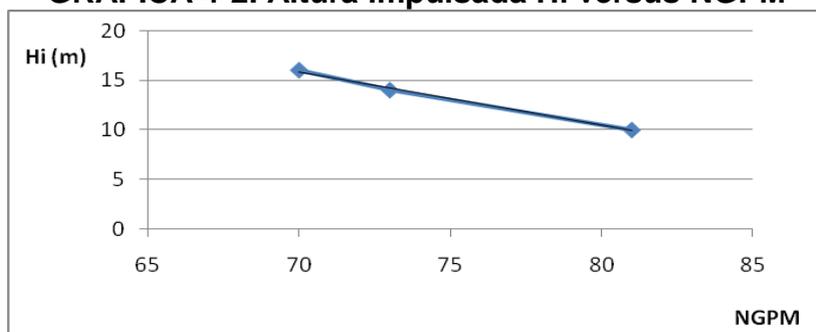




Fuente: La autora

Las curvas trazadas muestran, que a mayor altura de trabajo, mayor altura de impulsión y menor caudal entregado, es decir, el caudal impulsado disminuye gradualmente al alcanzar cotas mayores de elevación de agua.

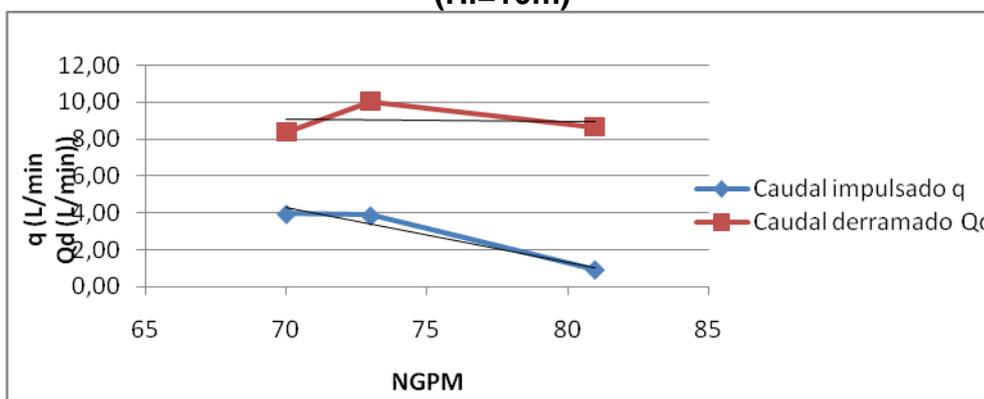
GRÁFICA 4-2. Altura impulsada H_i versus NGPM



Fuente: La autora

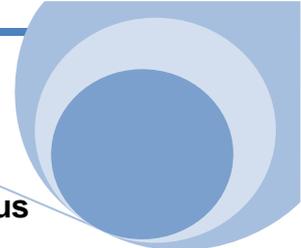
La interpretación que se da a esta gráfica es la misma que dimos para el ariete de una sola cámara vertical (cap. 2): los golpes por minuto son menores al aumentar la altura de impulsión.

GRÁFICA 4-3. Caudal impulsado q , caudal derramado Q_d versus NGPM. ($H_i=10m$)

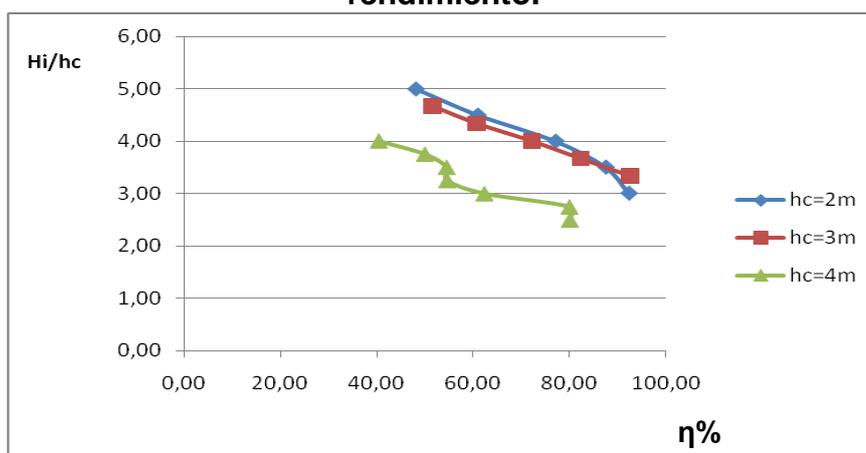


Fuente: La autora

Al trazar una línea de tendencia en las curvas presentadas en la gráfica 4-3, se puede apreciar que el caudal impulsado y derramado aumenta al disminuir los golpes por minuto.



GRÁFICA 4-4. Relación altura impulsada H_i /altura de carga h_c versus rendimiento.



Fuente: La autora

Las curvas trazadas en la gráfica 4-4, muestran la disminución del rendimiento al incrementarse la altura de impulso en alturas de carga constantes, que en nuestro caso se ensayo primero para un $h_c=2m$, luego para $h_c=3m$ y finalmente con un $h_c=4m$.

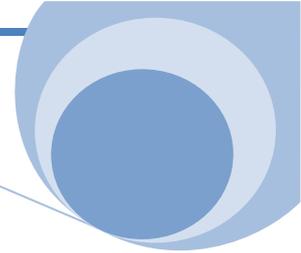
4.3. Tiempo de duración de un ciclo T de la onda de presión

4.3.1. Estimación de la pérdida en la succión del ariete

Los valores del coeficiente de pérdidas K para piezas especiales, así como también el factor de fricción f para el cálculo de pérdidas de Darcy Weisbash, se muestran en el cap. 3. (Ver K en el cuadro 3-4)

CUADRO 4-4. Velocidad del fluido en función del caudal impulsado y el área de la tubería; para diferentes alturas de carga ($H_i = 10 m$)

$h_c=2m$					
D (pulg.)	D (m)	q (lt/min)	q (m³/s)	A (m²)	V=q/A (m/s)
1	0.025	0.92	1.5385E-05	0.00050671	0.030361927
1/2	0.013	0.92	1.5385E-05	0.00012668	0.121447707
$h_c=3m$					
1	0.025	3.85	6.4208E-05	0.00050671	0.126716306
1/2	0.013	3.85	6.4208E-05	0.00012668	0.506865225
$h_c=4m$					
1	0.025	3.94	6.5735E-05	0.00050671	0.129730501



1/2	0.013	3.94	6.5735E-05	0.00012668	0.518922003
-----	-------	------	------------	------------	-------------

Fuente: La autora

CUADRO 4-5. Cálculo de pérdidas por accesorios en la succión

ITEM	K			V2/(2g)			hf accesorios			
	hc=2m	hc=3m	hc=4m	hc=2m	hc=3m	hc=4m	hc=2m	hc=3m	hc=4m	
Entrada a la tubería de 1"	0.50	0.50	0.50	4.7E-05	0.000818	0.000858	0.00002	0.00041	0.00043	
Unión o junta de 1"		0.40	0.16	4.7E-05	0.000818	0.000858		0.00033	0.00014	
Válvula globo abierta de 1"	10.00	10.00	10.00	4.7E-05	0.000818	0.000858	0.00047	0.00818	0.00858	
Tee de salida bilateral de 1"	1.80	1.80	1.80	4.7E-05	0.000818	0.000858	0.00008	0.00147	0.00154	
Codo de 1" redondeado 90°	0.25	0.25	0.25	4.7E-05	0.000818	0.000858	0.00001	0.00020	0.00021	
Válvula de pie de 1"	1.75	1.75	1.75	4.7E-05	0.000818	0.000858	0.00008	0.00143	0.00150	
							SUMA:	0.00067	0.01203	0.01295

Fuente: La autora

CUADRO 4-6. Pérdidas por longitud en la succión del ariete

hc (m)	L (m)	hf longitud
2	6.20	0.0000287
3	12.20	0.0099845
4	18.00	0.0154404

Fuente: La autora

Luego, se tiene que la pérdida en la succión de la bomba es:

CUADRO 4-7. Pérdidas por succión

hc=2m	hc=3m	hc=4m
0.0007	0.0220	0.0284

Fuente: La autora

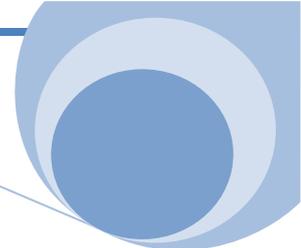
Del cálculo siguiente se determina el tiempo de duración de un período de la onda de presión (Ver ecuaciones para el cálculo. Cap. 2)

CUADRO 4-8. Duración del periodo T de la onda de presión (Hi=10m)

hc (m)	L (m)	D (m)	Q (L/min)	Qd (L/min)	tc (s)	tf (s)	K	w	x	A (m ²)	t (s)	T (s)
2	6.2	0.0254	9.58	8.65	0.58	0.71	0.0007	1.61	4.94	0.00051	0.100	1.390
3	12.2	0.0254	13.88	10.03	0.61	0.8	0.0220	2.22	5.15	0.00051	0.191	1.600
4	18.2	0.0254	12.33	8.38	0.3	0.9	0.0284	2.82	5.28	0.00051	0.188	1.388

Fuente: La autora

Observe en la gráfica 4-8, como el caudal de derrame aumenta al incrementar el tiempo del período de la onda de presión, esto se produce porque el recorrido del vástago de la válvula de derrame es mayor.



4.3.2. Pérdidas en la descarga del ariete

CUADRO 4-9. Cálculo de pérdidas en accesorios en la descarga

ITEM	K	V ² /(2g)			hf accesorios		
		hc=2m	hc=3m	hc=4m	hc=2m	hc=3m	hc=4m
Válvula check de 1"	2.75	0.000047	0.000818	0.000858	0.00013	0.00225	0.00236
Tee de salida bilateral de 1"	1.80	0.000047	0.000818	0.000858	0.00008	0.00147	0.00154
...viene	0.15	0.000752	0.013094	0.013725	0.00011	0.00196	0.00206
valvula globo abierta de 1/2"	10.00	0.000752	0.013094	0.013725	0.00752	0.13094	0.13725
Junta o unión de 1/2"	0.40	0.000752	0.013094	0.013725	0.0003	sigue...	0.00549
Entrada a la tubería de 1/2"	0.50	0.000752	0.013094	0.013725	0.0003		0.00686
Salida de tubería de 1/2"	1.00	0.000752	0.013094	0.013725	0.00075	0.01309	0.01372
SUMA:					0.0093	0.1615	0.1693

Fuente: La autora

CUADRO 4-10. Pérdidas en longitud en la descarga del ariete

hc (m)	L (m)	hf longitud
2	20.00	0.0029597
3	20.00	0.0515528
4	20.00	0.0540345

Fuente: La autora

Las pérdidas en la descarga son igual a la sumatoria de pérdidas por longitud y accesorios.

CUADRO 4-11. Pérdidas en la descarga

hc=2m	hc=3m	hc=4m
0.0122	0.2131	0.2233

Fuente: La autora

Las pérdidas totales sistema completo se muestran en la tabla siguiente, en la que se puede observar que las pérdidas son mayores, cuando existen longitudes de tubería extensas con mayor número de accesorios.

CUADRO 4-12. Perdidas por longitud y accesorios del sistema

hc(m)	L(m)	hf succión	hf descarga	hf sistema
-------	------	------------	-------------	------------

2	6.20	0.0007	0.0122	0.0129
3	12.20	0.0220	0.2131	0.2351
4	18.00	0.0284	0.2233	0.2517

Fuente: La autora

CAPÍTULO V

CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN EXPERIMENTAL.- ARIETE DE UNA PULGADA CON CÁMARA DE AIRE HORIZONTAL

5. INSTRUCCIONES PARA EL ARMADO DEL ARIETE CON CÁMARA HORIZONTAL

5.1. Construcción

FOTO 5-1. Vista general del ariete de cámara horizontal



Fuente: La autora

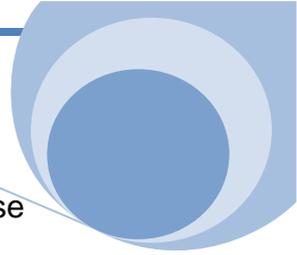
En la figura se identifican tres secciones que conforman el ariete hidráulico con cámara horizontal, éstas son:

1. Válvula de derrame
2. Válvula de impulso
3. Cámara de aire horizontal

CUADRO 5-1. Materiales para ariete con cámara horizontal

ITEM	DESCRIPCIÓN	N°
A	Llave de media vuelta de 1 pulgada	1
B	Unión hembra de 1 pulgada	1
C	Neplos perdidos o unión macho de 1 pulgada	4
D	Adaptador para manguera de 1 pulgada con unión macho roscable de 1 pulgada.	1
E	Adaptador para manguera de 1 pulgada con salida a manguera de ½ pulgada.	1
F	Tee de 1 pulgada	1
J	Válvula check de 1 pulgada	1
K	Válvula de pozo o pie de 1 pulgada	1
L	1.5 m de manguera flexible de 1"	1
	Tiras sacadas de neumáticos desechados de llanta de vehículo	2
	Cinta teflón	1

Fuente: La autora



1. **Válvula de derrame:** se une a F con una unión macho C. También se deberá modificar la válvula de derrame.

FOTO 16. Armado de la válvula de derrame



Fuente: La autora

2. **Válvula de impulso:** no requiere de modificación, se debe tener cuidado de no instalarla al revés. Se une roscada a F con unión macho C.

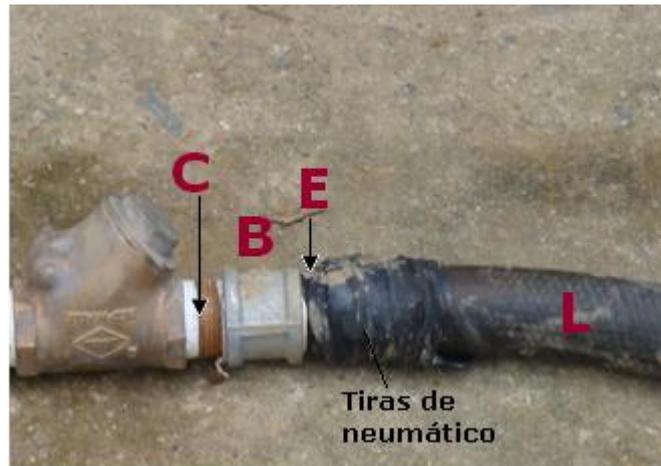
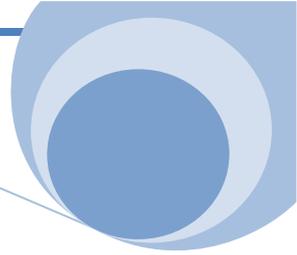
FOTO 17. Armado de la válvula de impulso



Fuente: La autora

3. **Cámara de aire horizontal:** para este tipo de ariete se usa una manguera flexible como cámara de aire. Por el un extremo se une roscada con neplo perdido o unión macho C a J.

FOTO 18. Armado de la cámara de aire



Fuente: La autora

En el otro extremo se une a la tubería de descarga con un adaptador de manguera de una pulgada con salida a manguera de ½ pulgada.

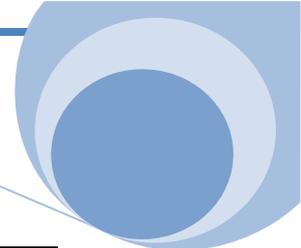
FOTO 19. Salida a la manguera de impulsión.



Fuente: La autora

La fotografía 19 muestra la salida a la tubería de descarga un acople en forma de T, taponado el extremo izquierdo con tiras de neumático. El uso de este accesorio se debe a la no disposición de un acople directo de manguera de una pulgada a manguera de ½ pulgada, que es el que se describe en el listado de materiales, pero recomendamos que usted use el accesorio que se indica en el listado de materiales (ver tabla 3, E) para mayor facilidad.

5.2. Instalación experimental



CUADRO 5-2. Datos de campo del ariete

DATOS DE CAMPO										
NGPM	L(m)	tc (s)	tf (s)	l (m)	hc (m)	Ang. H (grados)	Hn (m)	t (min)	Qd (lt)	q (lt)
69	6	0.51	0.61	20	2	20	4	1.01	11	0.625
							5	1.01	10.25	0.445
							6	1.01	9.75	0.34
60	12	0.41	0.51	12	2.61	12.5	3.00	1.02	9.16	2.86
							4.00	1.01	9.73	1.72
							5.00	1.01	9.16	0.86
53		0.3	0.4	22						

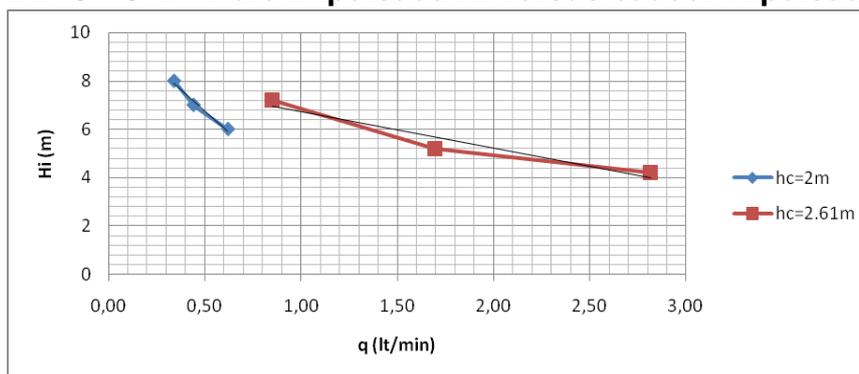
Fuente: La autora

CUADRO 5-3. Cálculo de caudales, altura impulsada y rendimiento

"hc" carga= 2m					
q (lt/min)	Qd (lt/min)	Q (lt/min)	Hi (m)	Hi/hc	η (%)
0.62	10.89	11.50	6	3.00	16.13
0.44	10.11	10.55	7	3.50	14.56
0.34	9.68	10.02	8	4.00	13.48
"hc" carga= 2.61m					
2.82	9.02	11.83	4.20	2.00	38.31
1.70	9.61	11.31	5.20	2.48	29.89
0.85	9.06	9.91	7.20	3.43	23.65

Fuente: La autora

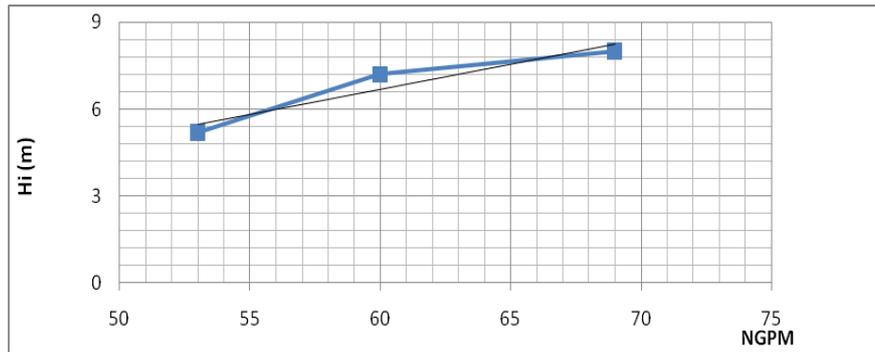
GRÁFICA 5-1. Altura impulsada Hi versus caudal impulsado q



Fuente: La autora

La gráfica 5-1 muestra la disminución del caudal impulsado al incrementar la altura de elevación; esto sucede tanto para $hc=2m$ como para $hc=2.61m$.

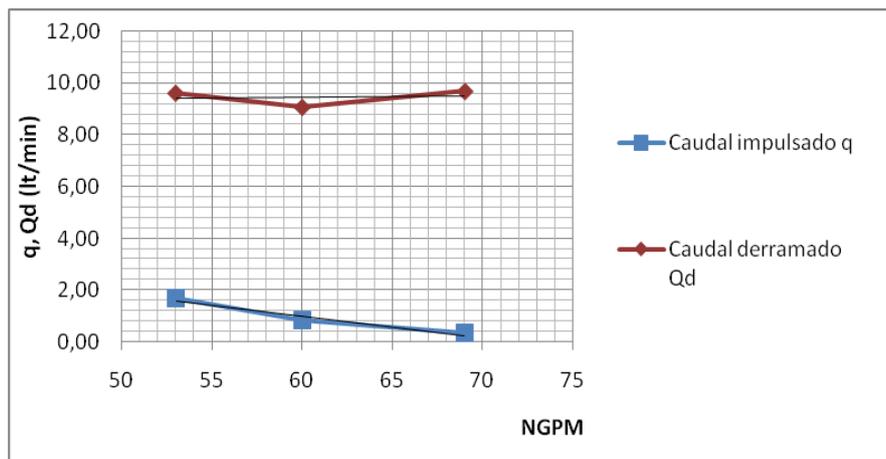
GRÁFICA 5-2. Altura impulsada Hi versus NGPM



Fuente: La autora

Los golpes por minuto aumentan al incrementar la altura impulsada. Si comparamos estos resultados con los de una cámara vertical y doble cámara vertical, notaremos que sucede lo contrario. (Ver gráficas 3-2 y 4-2)

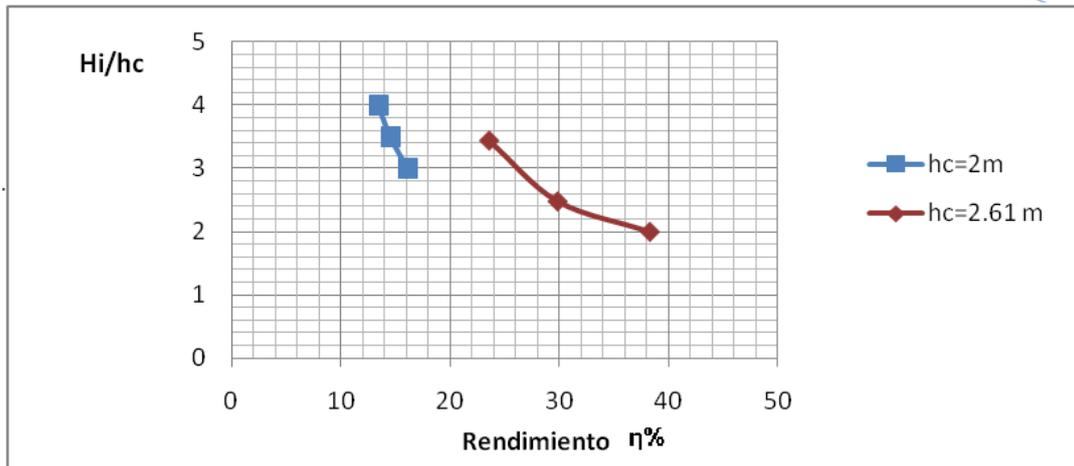
GRÁFICA 5-3. Caudal impulsado q , caudal derramado Q_d versus NGPM.



Fuente: La autora

El caudal impulsado disminuye gradualmente al aumentar los golpes por minuto, a diferencia del caudal derramado que se incrementa a medida que los golpes por minuto se extienden.

GRÁFICA 5-4. Relación altura impulsada H_i /altura de carga h_c versus rendimiento.



Fuente: La autora

El rendimiento (η) disminuye al aumentar la relación **Hi/hc** (altura impulsada Hi/altura de carga hc).

5.3. Estimación del tiempo de duración de un ciclo T de la onda de presión

5.3.1. Pérdida en la succión del ariete

Los valores del coeficiente de pérdidas K y el factor de fricción f para el cálculo de pérdidas de Darcy Weisbach, se muestran en el cap. 3. (Ver K en el cuadro 3-4)

CUADRO 5-4. Velocidad del fluido en función del caudal impulsado y el área de la tubería

hc=2m Hi=8m					
D (pulg.)	D (m)	q(lt/min)	q(m3/s)	A(m2)	V=q/A (m/s)
1	0.025	0.34	5.62821E-06	0.00050671	0.01110741
1/2	0.013	0.34	5.62821E-06	0.00012668	0.04442964
hc=2.61m Hi=7.2m					
1	0.025	0.85	1.41605E-05	0.00050671	0.02794606
1/2	0.013	0.85	1.41605E-05	0.00012668	0.11178423

Fuente: La autora

CUADRO 5-5. Cálculo de pérdidas por accesorios en la succión

ITEM	K		V ² /(2g)		hf accesorios		
	hc=2m	hc=2.61m	hc=2m	hc=2.61m	hc=2m	hc=2.61m	
Entrada a la tubería de 1"	0.50	0.50	0.0000063	0.000040	0.000003	0.000020	
Unión o junta de 1"		0.40	0.0000063	0.000040		0.000016	
Válvula globo abierta de 1"	0.50	0.50	0.0000063	0.000040	0.000003	0.000020	
Tee de salida bilateral de 1"	1.00	1.00	0.0000063	0.000040	0.000006	0.000040	
Válvula de pie de 1"	1.80	1.80	0.0000063	0.000040	0.000011	0.000072	
					SUMA:	0.00002	0.00017

Fuente: La autora

CUADRO 5-6. Pérdidas por longitud en la succión

hc (m)	L (m)	hf longitud
2	6.20	0.0000038
2.61	12.20	0.0000478

Fuente: La autora

Sumando pérdidas por accesorios y longitud, se tiene las pérdidas totales en la succión.

CUADRO 5-7. Pérdidas por succión

hc=2m	hc=2.61m
0.000028	0.000215

Fuente: La autora

Con las pérdidas en la succión del ariete se determina el periodo de la onda de presión, así:

CUADRO 5-8. Duración del periodo T de la onda de presión.

hc (m)	L (m)	D (m)	Q (lt/min)	Qd (lt/min)	tc (s)	tf (s)	K	w	x	A (m ²)	t (s)	T (s)
2	6.2	0.0254	10.55	9.68	0.51	0.61	0.00003	1.610	4.94	0.00051	0.110	1.230
2.61	12.2	0.0254	11.31	9.61	0.41	0.51	0.00022	2.201	4.82	0.00051	0.178	1.098
			9.91	9.06	0.3	0.4	0.00022	2.201	4.82	0.00051	0.156	0.856

Fuente: La autora

El incremento del tiempo T de duración de un ciclo en la onda de presión, significa que el recorrido del vástago en la válvula de derrame es más amplio; existiendo un mayor caudal derramado.

5.3.2. Pérdidas en la descarga del ariete

CUADRO 5-9. Cálculo de pérdidas por accesorios

ITEM	K		V ² /(2g)		hf accesorios	
	hc=2m	hc=2.61m	hc=2m	hc=2.61m	hc=2m	hc=2.61m

Válvula check de 1"	2.75	2.75	0.0001006	0.000637	0.000277	0.001751
Junta o unión de 1"	0.40	0.40	0.0001006	0.000637	0.000040	0.000255
Reducción gradual a 1/2"	0.15	0.15	0.0001006	0.000637	0.000015	0.000096
Entrada a la tubería de 1/2"	0.50	0.50	0.0001006	0.000637	0.000050	0.000318
Salida de tubería de 1/2"	1.00	1.00	0.0001006	0.000637	0.000101	0.000637
SUMA:					0.00048	0.00306

Fuente: La autora

CUADRO 4-10. Pérdidas por longitud

hc (m)	L (m)	hf longitud
2	6.20	0.0001228
2.61	22.00	0.0027582

Fuente: La autora

Sumando estas dos perdidas encontramos la pérdida total en la descarga:

CUADRO 4-11. Pérdidas en la descarga

hc=2m	hc=2.61m
0.000606	0.005815

Fuente: La autora

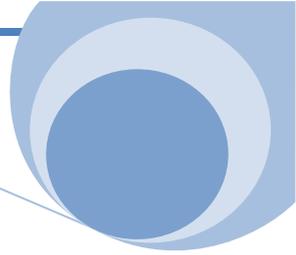
La determinación de las pérdidas en el sistema completo, resulta de la sumatoria de pérdidas totales en la succión y descarga.

CUADRO 4-12. Perdidas por longitud y accesorios del sistema

hc(m)	L(m)	hf succión	hf descarga	hf sistema
2	6.20	0.000028	0.000606	0.000633
2.61	12.20	0.000215	0.005815	0.006030

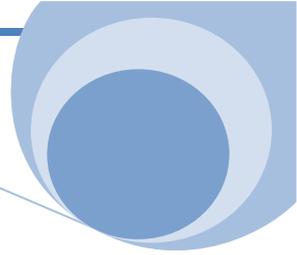
Fuente: La autora

Las pérdidas son mayores al existir mayor longitud y números de accesorios.



CAPÍTULO VI

ARIETE DE DOS PULGADAS



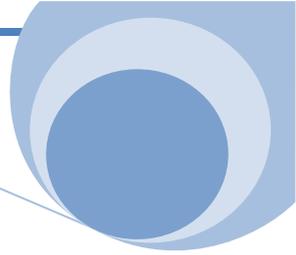
6. ARIETE DE DOS PULGADAS

6.1. Instrucciones para fabricar un ariete de dos pulgadas

En este capítulo se presenta la fabricación de arietes de dos pulgadas, que no lo haremos con elementos comunes de fontanería, sino que, cada elemento lo confeccionaremos nosotros mismos con la ayuda de los materiales que se detallarán a continuación, cada pieza será unida con suelda.

El ariete también tendrá partes desmontables que se unen roscadas para facilitar el mantenimiento del ariete.

FOTO 6-1. Vista general del ariete de dos pulgadas

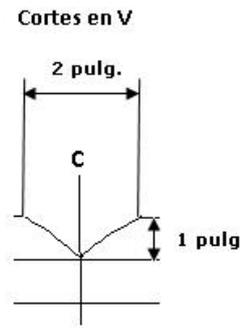
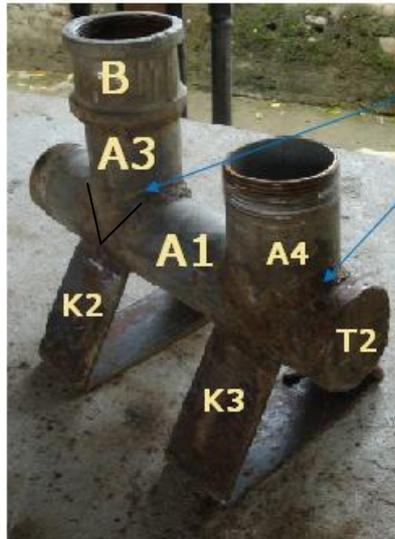


Fuente: La autora

En la imagen se muestra cada sección por números, mas adelante detallaremos cada una. Los materiales usados para la construcción de esta bomba son tubería metálica.

1. Caja de válvulas

FOTO 6-2. Armado de la caja de válvulas



Fuente: La autora

A1. Tubo de 2 pulgadas de diámetro y 28 cm de largo. En un extremo se hará una rosca. Sobre éste se hará dos cortes en V, de 2 pulgadas de abertura con una profundidad de 1 pulgada. El primer corte a 2 cm del un extremo del tubo; y el segundo a 13.5 cm del otro extremo del tubo (extremo roscable)

A3. Tubo de 2 pulgadas de diámetro y 6 centímetros de largo, terminado en forma de V, el mismo que se unirá al tubo A1 por soldadura.

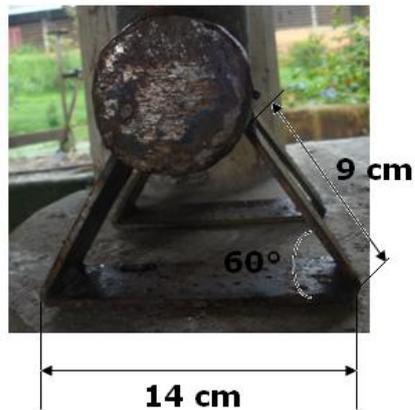
A4. Tubo de igual dimensión y forma de A3, con la parte superior roscable.

B1. Unión o cople de 2 pulgadas de diámetro soldada a A3.

T2. Disco de platina de 5.3 cm de diámetro y 3/16 pulgadas de espesor soldado al tubo A1.

K2 y K3. Platina de 5x32 cm y 3/16 pulgadas de espesor soldados al tubo A1. Éstas no son imprescindibles para el funcionamiento del ariete, simplemente es una forma de sujetarlo firmemente al suelo.

FOTO 6-3. Base del ariete



Fuente: La autora

2. Válvula de derrame

FOTO 6-4. Válvula de derrame



Fuente: La autora

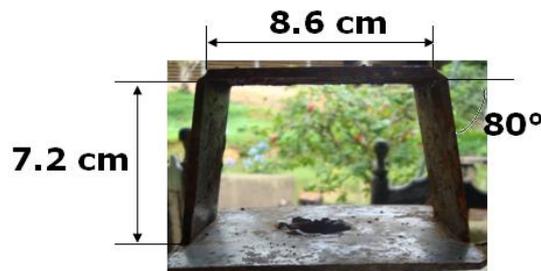
B. Unión o acople soldado a A5.

A5. Tubo de 2 pulgadas de diámetro y 6 cm de largo soldado a la platina L.

L. Platina de 5x5 pulgadas y 3/16 de espesor. En el centro se hará un agujero de 35 mm de diámetro.

K1. Platina de 5x23 cm y 3/16 de espesor; en el centro se hará un agujero de 3/8 de pulgada de diámetro.

FOTO 6-5. Válvula de derrame



Fuente: La autora

M. Perno de 3/8 de pulgada de diámetro y 7 pulgadas de largo para recorrido del cierre de la válvula. En la base de dicho perno se soldará una circunferencia de platina de 35 mm de diámetro. Seguidamente por la parte superior del perno se introducirá un disco de 50 mm de diámetro sacado de neumático desechado de llanta de vehículo. Luego se introducirá un resorte, una arandela y una tuerca de 3/8 de pulgada

FOTO 6-6. Vástago de la válvula de derrame



Fuente: La autora

3. Válvula de descarga

FOTO 6-7. Armado de la válvula de descarga



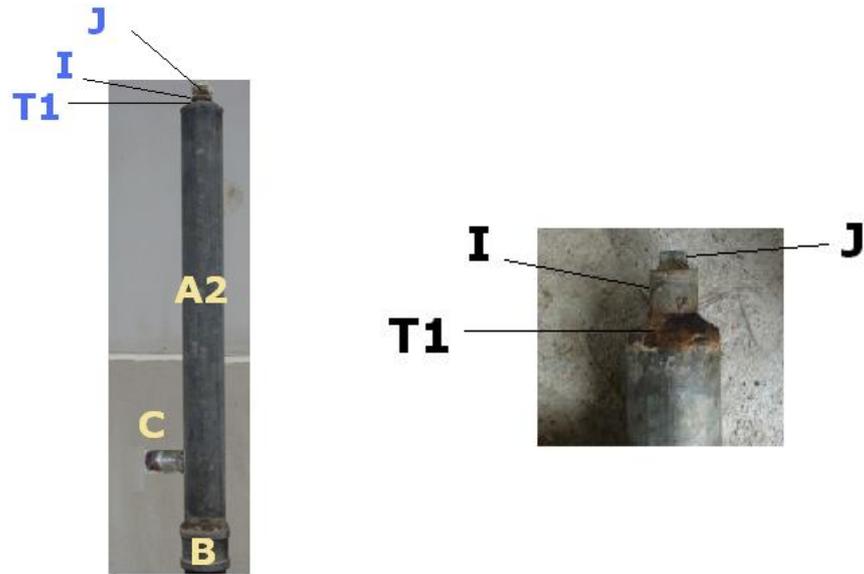
Fuente: La autora

E. Tubo de 2 pulgadas de diámetro y 2.5 pulgadas de largo con rosca en los extremos.

R. Agujero de $\frac{1}{4}$ de pulgada al que se le soldará una tuerca de la misma dimensión y se sellará con un perno de $\frac{1}{4}$ de pulgada.

4. Cámara de aire

FOTO 6-8. Armado de la cámara de aire



Fuente: La autora

B. Unión o acople de 2 pulgadas soldado al tubo A2.

A2. Tubo de 2 pulgadas de diámetro y 60 cm de largo.

C. Neplo de $\frac{3}{4}$ de pulgada y 5 cm de largo soldado al tubo A2. Anterior a esto se hará un orificio de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro en el tubo A2 a una altura de 9.5 cm desde la base del tubo.

T1. Circunferencia de platino de 5.3 cm de diámetro y $\frac{3}{16}$ de espesor; con un orificio en el centro de $\frac{1}{2}$ pulgada.

I. Unión o neplo de $\frac{1}{2}$ pulgada soldado a T1.

J. Tapón de $\frac{1}{2}$ pulgada, el mismo que se unirá mediante rosca.

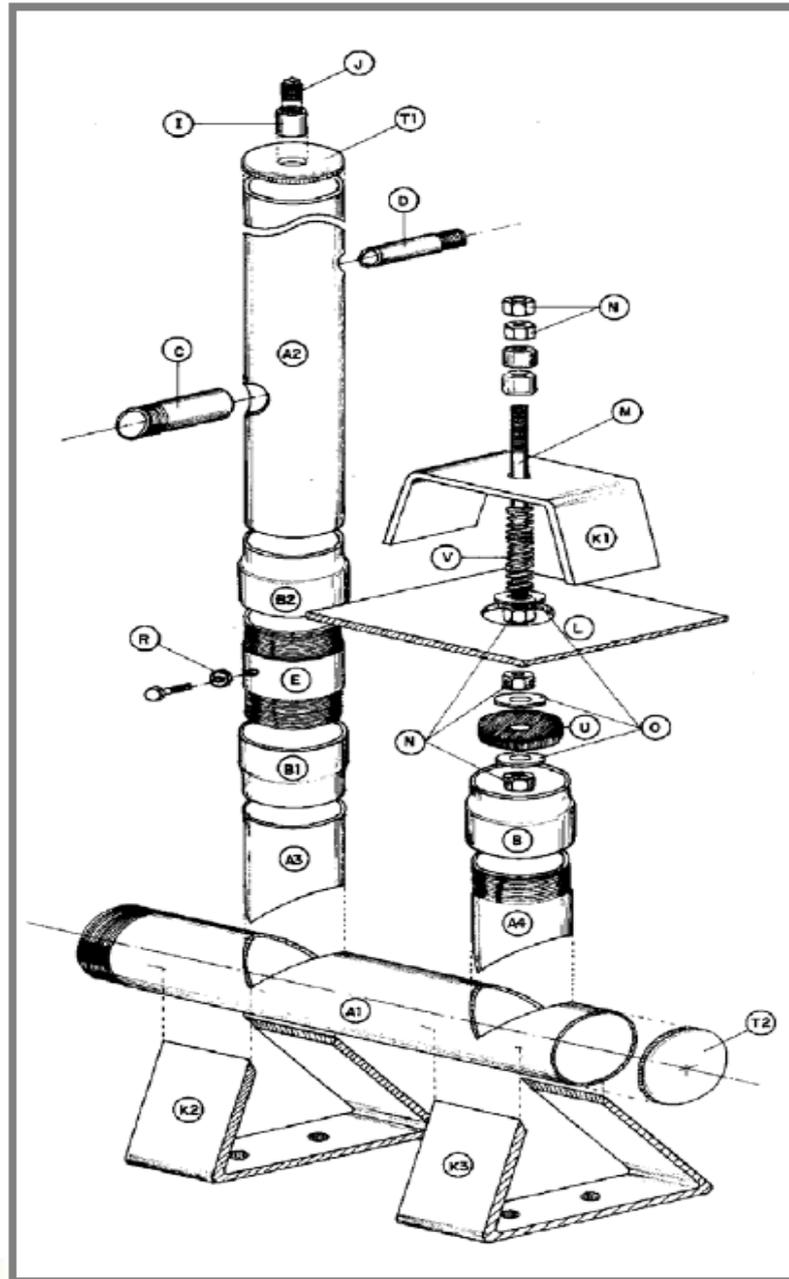
IMPORTANTE: utilizar la suficiente cantidad de cinta de teflón en las partes roscables para evitar fugas que afecten al correcto funcionamiento del ariete hidráulico.

2.1. Puesta en marcha

Lograr el funcionamiento de este modelo de ariete en campo nos suministró una serie de complicaciones, el ariete no lograba el correcto funcionamiento esperado. Así que hicimos algunos cambios:

Para construir el ariete de dos pulgadas se tomo como punto de partida el diseño que se presenta en la figura siguiente.

FIGURA 6-1. Ariete de dos pulgadas



Fuente: Pontificia Universidad Católica del Perú. Grupo de apoyo al sector rural.

Página web: <http://www.pucp.edu.pe/invest/grupo>

En la figura se presenta el ariete tomado como referencia para construir el ariete de 2 pulgadas. Si comparamos la figura 6-1 con la figura 6-2, podremos notar que en ésta última la platina L fue soldada directamente a una unión B. Pero al instalarlo en el campo se observa que la rosca del interior de la unión impide al vástago de la válvula

de derrame desplazarse con facilidad, así que decidimos soldar un tubo liso, que en nuestro ariete lo llamamos **A5** (ver figura 6-1. Válvula de derrame).

Como siguiente modificación ampliamos la cámara de aire soldando la salida de la manguera de impulsión más abajo, inicialmente como se ve en la figura 9, la salida para la manguera de impulsión se encontraba a 17 cm de la parte superior de la cámara de aire. De experimentos realizados por muchos autores se conoce que la cámara de aire varía de 50 cm a 1 m de largo. El espacio para la compresión de aire era muy reducido, en el ariete de la figura 6-2. Debido a lo explicado anteriormente se resolvió colocar la salida para la manguera de impulsión a 9.5 cm desde la base de la cámara de aire, es decir, se consiguió 50 cm de espacio para el compresión del aire (ver figura 6-1. Cámara de aire).

Hechas las modificaciones antes explicadas, se puso en marcha nuevamente el prototipo, pero de igual forma no se logró el rendimiento de la bomba esperado. Luego de varios intentos y muchas investigaciones, se noto que el ariete no contaba con una válvula de descarga bien diseñada.

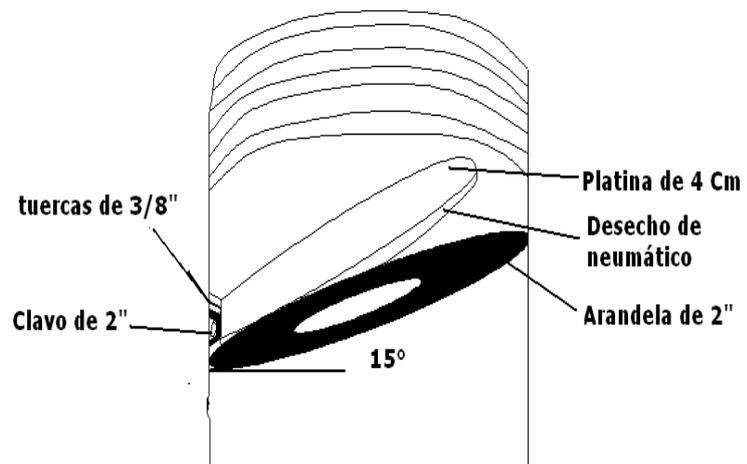
- **Modificación de la válvula de descarga**

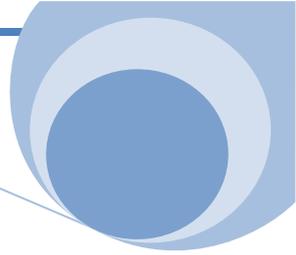
Como el objetivo de este experimento es construir arietes, utilizando nuestro ingenio. Tomamos una unión B, y dentro de esta hicimos una especie de compuertilla, que hacia el funcionamiento de una válvula de descarga cuyo objetivo principal es cerrarse con la ayuda de la presión negativa, impidiendo que el caudal ya ingresado en el interior de la cámara de aire se regrese a la caja de válvulas. Caudal que luego será impulsado al tanque de almacenamiento que se encuentra en una cota mayor del cauce natural o río. La compuertilla se la hizo así:

En el interior de una unión B, en la parte media, se suelda una arandela de 2" en con un ángulo aproximado de 15°. Acto Seguido se sueldan tres tuercas de 3/8 de pulgada, las de los extremos se articulan a la pared de la unión y la tuerca del centro

se suelda a una circunferencia de platina de 4 cm de diámetro. Luego, pasamos un clavo por el centro de las tres tuercas, al mismo que lo soldaremos en los extremos, a las tuercas exteriores para sujetarlo. Finalmente cortamos una circunferencia de neumático desechado de llanta de vehículo y recubrimos con éste la parte inferior de la platina (Ver figura 6-9).

FIGURA 6-9. Válvula de descarga





Fuente: La autora

Esta nueva pieza del ariete se la colocó entre el elemento **E** y la unión **B** inicialmente soldada al tubo **A3** (ver figura 6-4).

FIGURA 6-10. Ariete de dos pulgadas con la nueva pieza



Fuente: La autora

Con la incrementación de esta pieza se puso una vez más el equipo en marcha. Y una vez más no se logra el rendimiento esperado.



La válvula de derrame no trabaja correctamente, permanece abierta sin lograr el golpeteo, debido a que posiblemente la válvula de descarga no cierra correctamente, que puede ser por un déficit de caudal ingresado al ariete ó, también puede deberse a que, como es una pieza que requiere de un acoplamiento preciso, es decir, que no permita escapar aire de la cámara, la válvula hecha no esté prestando esta función.

Es necesario recalcar, que los golpes por minuto no se presentan al no cerrarse la válvula de descarga, debido a que no hay cierre brusco de la válvula que genere la onda de presión regresiva, esto hace que la celeridad sea cero y que la máxima presión no sea la suficiente para comprimir el aire; por tanto el ariete no funciona. Los golpes que un ariete bien construido da por segundo son de uno a dos, y nuestra válvula no logra esto.

La válvula de derrame es la pieza principal y fundamental del equipo, por lo que sus componentes requieren de un estricto diseño para su correcto funcionamiento.

6.2. Instalación en el campo

Un ariete requiere de un desnivel de trabajo, llamado altura de carga **hc**, que hace que el caudal **Q** que ingresa al ariete por medio de la tubería de alimentación **B** (proveniente del tanque de alimentación **A**), se acelere por efecto de la gravedad logrando una velocidad suficiente para cerrar la válvula de derrame **C** por efecto de la presión dinámica. Al producirse el fenómeno del golpe de ariete provocado por el cierre brusco de la válvula **C**, la válvula de descarga **D** se abre e ingresa una pequeña cantidad de caudal **q** al interior de la cámara de aire **E**.

Al decaer la velocidad de fluido dentro de la caja de válvulas a cero, se genera una presión negativa que fuerza a cerrarse la válvula **D**, reteniendo el caudal ingresado a la cámara de aire. El aire atrapado dentro de la cámara de aire se comprime obligando a que el caudal ingresado salga por la tubería de descarga **F**, hasta llegar al tanque de almacenamiento **G**. Al cerrarse la válvula **D** se abre otra vez la válvula **C**, y comienza un nuevo ciclo.

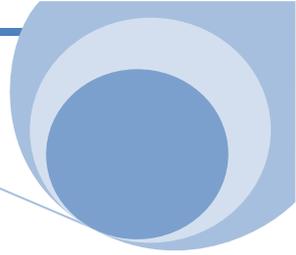
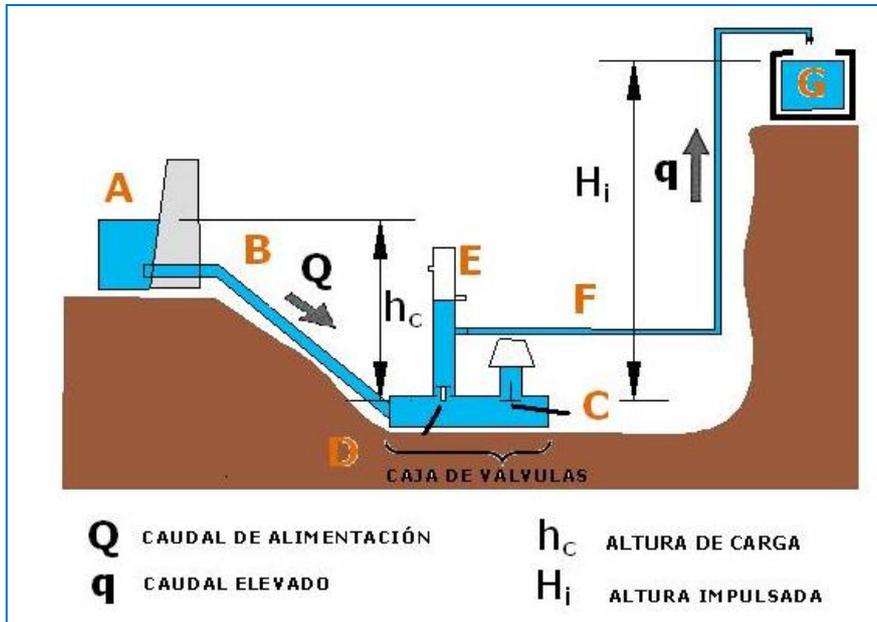


FIGURA 6-2. Funcionamiento del ariete de 2 pulgadas

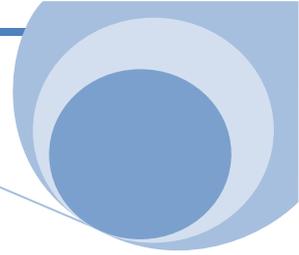


Fuente: La autora

En la instalación en campo se hizo varias pruebas con alturas de carga h_c , distintas, que presentamos a continuación:

CUADRO 6-1. Altura de carga y longitud de tubería de alimentación

ALTURA DE CARGA h_c (m)	LONGITUD DE LA TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN L (m)
2	6
3	12
6.34	12



Fuente: La autora

Para realizar los ensayos de campo, disponíamos de 2 tubos de dos pulgadas para la tubería de alimentación del ariete, cada uno de 6 m de largo. Un tanque de alimentación de hormigón de 1.5mx2mx2m, con una altura de carga de agua de 1m por encima de la base del tanque.

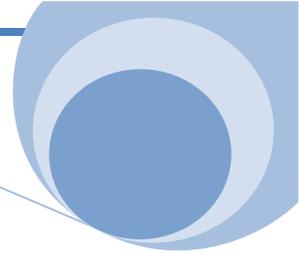
Al instalar el ariete con un primer desnivel de trabajo ($h_c=2m$), y una relación $L=3xh_c$. La bomba no funciona correctamente.

Se hace un intento más, ahora con un desnivel de trabajo de $h_c=3m$, y 12 metros de longitud para la tubería de alimentación ($L=4xh_c$), nuevamente no se logra que el ariete funcione.

Aumentamos una vez más la altura de carga, esta vez a $h_c=6.34 m$ con aproximadamente $L=2h_c$ (12 m de tubería de alimentación); pero nuevamente no se logra que el ariete hecho con piezas de tubo soldadas funcione correctamente.

En un nuevo intento, se reduce el diámetro de la tubería de alimentación a una pulgada, para lograr una mayor velocidad en el fluido que ingresa a la máquina, pero en esta vez el caudal es demasiado pequeño para mover el vástago de la válvula de derrame, por lo que se descarta esta posibilidad; y seguimos intentando con la acometida de 2".

El problema radica en la válvula de derrame, esta no origina el fenómeno del golpe de ariete, que es el que hace posible el funcionamiento, es posible que el ariete requiera de una mayor altura de carga con un mayor caudal de ingreso en la caja de válvulas. Se puede incrementar el diámetro de la tubería de alimentación 2 ½" ó a su vez utilizar los mismos tubos de dos pulgadas instalados en paralelo, conectados al final en un solo ariete, esto sería para incrementar el caudal de ingreso al ariete.



Teniendo como una de las hipótesis la falta de precisión en la válvula de derrame, la reemplazamos con una válvula de pie de 2 pulgadas, que se puede conseguir fácilmente en los mercados; y realizamos pruebas a las mismas alturas ensayadas anteriormente.

6.2.1. Instalación en campo del ariete con una válvula de pie

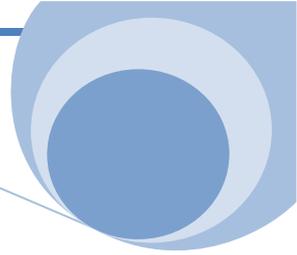
Para que una válvula de pie haga la función de la válvula de derrame es necesario modificarla (ver modificación de la válvula de pie en el capítulo 3).

Con la ayuda de esta válvula se logró impulsar agua hasta $H_i = 12.47$ m, con una altura de carga $h_c = 6.34$ m. Con las desniveles de trabajo de 2m y 3m, se logra los golpes de ariete del equipo, pero no la impulsión de agua a cotas superiores a las del cauce natural.

El equipo proporciona 64 golpes por minuto, aproximadamente un golpe por segundo. La longitud de impulsión a la que se llegó fue de 60.46 m, con un caudal entregado, menor al ingresado de $q = 0.42$ lt/min; con un derrame de 0.80 L/s.

El rendimiento esperado de la bomba aún no es satisfactorio. En el capítulo 3 y 4 podemos ver que con un ariete de una pulgada, se llega a una altura de impulsión $H_i = 16$ m con una altura de carga $h_c = 4$ m. Por lo que se esperaba que la bomba de dos pulgadas llegue a cotas mucho más superiores a dichas bombas.

Insistimos nuevamente que el objetivo principal es poder hacer un ariete usando nuestro propio ingenio. De modo que las personas interesadas en la presente investigación a practicar y comprobar nuevas alternativas; dejamos este documento, que lo puede utilizar como guía para mejorar el ariete y lograr su correcto funcionamiento.



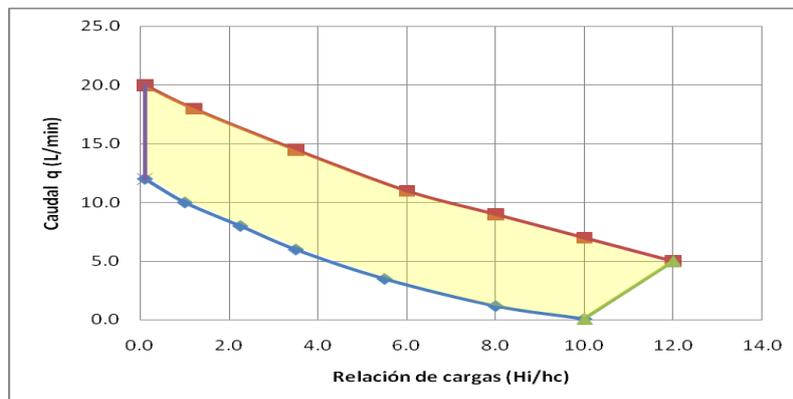
El costo aproximado de éste modelo de ariete de dos pulgadas es de 200 dólares americanos. Y con la válvula de derrame no hechiza (comprada en los mercados) el costo haciende a 240 dólares americanos.

CUADRO 6-2. Datos de campo del ariete ensayado con válvula de pie

hc(m)	L(m)	l(m)	Hi(m)	q(L/min)
6.34	12	40	7	12.09
		45	8	9.32
		50	9	6.86
		55	10	1.85
		60.46	12.47	0.42

Fuente: La autora

GRÁFICA 6-1. Campo operativo para arietes de 2 pulgadas



Fuente: Apuntes de prácticas de campo, Holger Benavides Muñoz. UTPL.

La función objetivo del campo, está sujeta a:

$$m = 0.039 \cdot x^2 - 1.72 \cdot x + 20.07$$

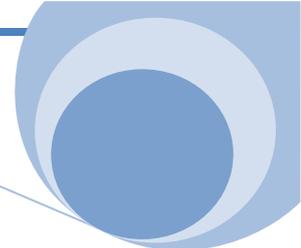
$$n = 0.082 \cdot x^2 - 2.024 \cdot x + 12.09$$

$$p = 2.45 \cdot x - 24.4$$

$$q = 0.1$$

CAPÍTULO VII

RESULTADOS E INTERPRETACIÓN



7. RESULTADO E INTERPRETACIÓN

7.1. Arietes de cámara de aire vertical

CUADRO 7-1. Selección práctica de arietes

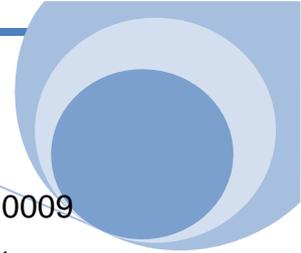
L (m)	hc (m)	Ángulo horizontal en grados	Hi (m)	q (m3/min)		q (m3/día)		q (m3/año)	
				1 CA	2 CA	1 CA	2 CA	1 CA	2 CA
6	2	20	6	0.0035	0.0039	5.0	5.7	1828.17	2067.93
			7	0.0025	0.0030	3.6	4.4	1300.45	1596.76
			8	0.0019	0.0021	2.7	3.0	1001.14	1087.45
			9	0.0010	0.0013	1.5	1.8	548.45	670.98
			10	0.0008	0.0009	1.2	1.3	427.61	485.17
12	3	15	9	0.0039	-	5.6	-	2039.64	-
			10	0.0030	0.0039	4.3	5.5	1560.42	2024.87
			11	0.0023	0.0030	3.4	4.3	1227.84	1574.96
			12	0.0015	0.0024	2.2	3.4	813.73	1246.07
			13	0.0009	0.0016	1.3	2.3	470.92	850.51
18	4	13	14	0.0006	0.0011	0.9	1.7	314.99	602.63
			9	0.0043	-	6.2	-	2253.32	-
			10	0.0034	0.0039	4.9	5.7	1778.15	2073.03
			11	0.0027	0.0038	3.9	5.5	1420.08	1998.91
			12	0.0022	0.0025	3.1	3.5	1142.99	1287.72
			13	0.0019	0.0020	2.7	2.8	982.27	1036.52
			14	0.0016	0.0019	2.3	2.7	839.98	995.65
			15	0.0014	0.0016	2.0	2.3	727.35	828.53
16	0.0010	0.0012	1.4	1.8	522.99	649.64			

1CA- Ariete de una cámara de aire
2CA- Ariete de doble cámara e aire

Fuente: La autora

Siguiendo la tabla 7-1, se podrá escoger el tipo de bomba a utilizar de acuerdo al caudal requerido y a la altura de bombeo.

En la tabla también se presenta el caudal recolectado en un día y en un año, por ejemplo: primero tenemos el ariete de una cámara vertical que dispone de

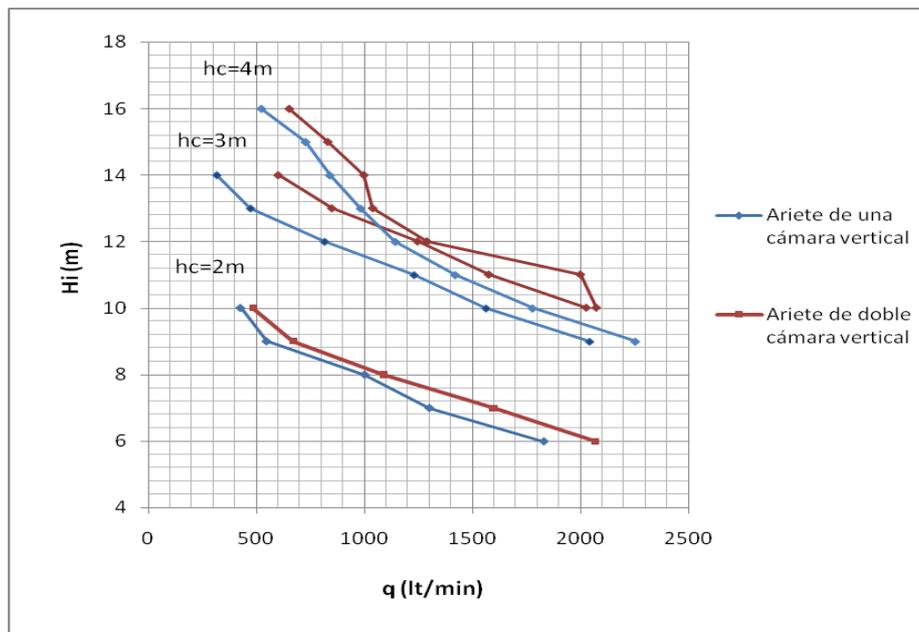


un caudal impulsado de 0.0008 m³/min y segundo el de doble cámara 0.0009 m³/min, a una altura de 10m; obviamente con el segundo modelo de ariete se logra obtener un caudal ligeramente superior al primero (aproximadamente en un 11% mayor), esto se debe a que el prototipo de doble cámara tiene un mayor espacio para compresión del aire logrando una mayor presión, que hace que una cantidad ligeramente superior de agua pase por la tubería de descarga.

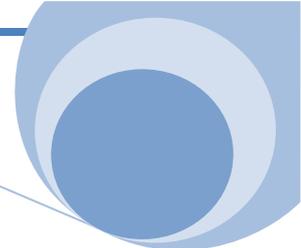
Aunque los caudales impulsados, antes mencionados, parecen ser muy pequeños; observemos que en un día estamos almacenando 1.2 m³ con el ariete de una cámara; y 1.3 m³ con el de doble cámara; y, en un año 427.61 m³ y 485.17 m³ de caudal para cada modelo de ariete respectivamente.

A continuación presentamos una gráfica de la variación de caudal por año en diferentes alturas de impulsión para el prototipo de un neumático y el de doble neumático vertical.

GRÁFICA 7-1. Altura impulsada versus caudal impulsado por año



Fuente: La autora



7.2. Ariete de cámara de aire horizontal

CUADRO 7-1. Caudal por minuto día y año

L(m)	hc (m)	Ang. H (grados)	Hi (m)	q (lt/min)	q (lt/día)	q (lt/año)
6	2	20	4.15	0.62	0.9	325.087
			5.15	0.44	0.6	230.625
			6.15	0.34	0.5	177.491
12	2.61	12.5	4.20	2.82	4.1	1480.980
			5.20	1.70	2.4	891.806
			7.20	0.85	1.2	446.565

Fuente: La autora

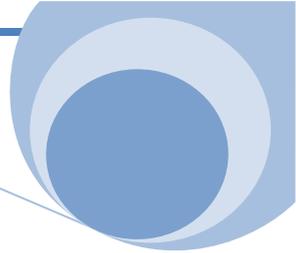
Aunque el ariete de cámara horizontal no tiene mucho alcance para impulsar fluidos, el caudal que se puede recolectar en un día ó en un año son considerables; y puede ser capaz para disponer de agua suficiente y permanente a pocas alturas de elevación.

Este ariete también puede ser muy útil para la recirculación de agua en una instalación de arietes escalonados en serie, para aprovechar el caudal derramado y evitar que este se desperdicie en el ambiente.

Lo correcto sería que el caudal que se derrama vuelva a la cauce natural, río u acequia, que alimenta al ariete; evitando el desperdicio de agua. Pero si el medio y la topografía del terreno no permiten la recirculación de agua; nosotros podemos aprovechar el caudal derramado del ariete para lograr el funcionamiento de un segundo prototipo ubicado a cotas más bajas, como el que se presenta en el anexo 4.

7.3. Arietes instalados en serie

En la tabla siguiente, presentamos resultados de la instalación en serie, con los tres modelos de ariete construidos en el capítulo 3, 4 y 5.

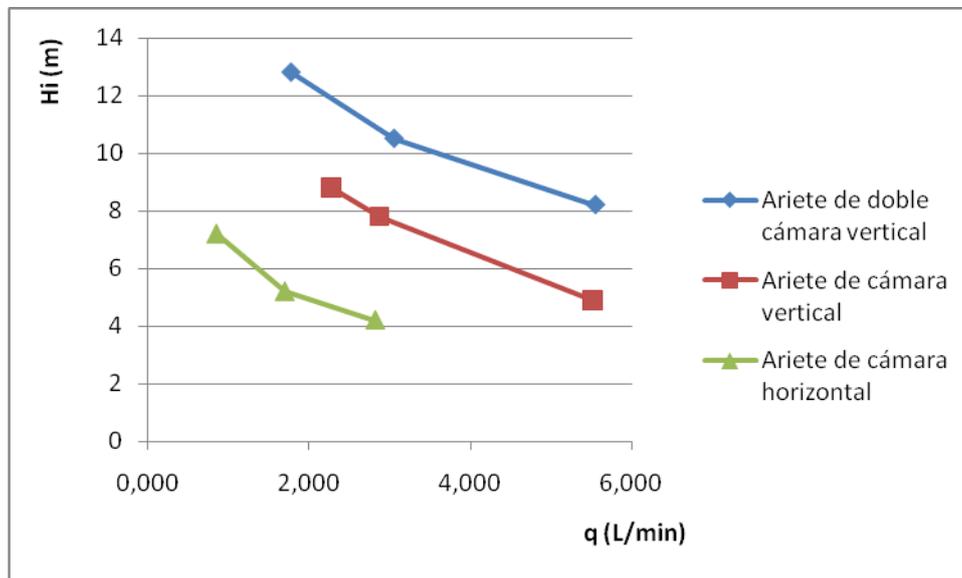


CUADRO 7-2. Arietes instalados en serie

Ariete de doble cámara de aire vertical									
NGPM	L(m)	l (m)	hc (m)	Hn (m)	q (lt/min)	Qd (lt/min)	Hi (m)	Hi/hc	η (%)
165	9	12	3.7	7.00	5.55	7.94	8.20	2.22	91.12
167		15		9.00	3.05	6.79	10.50	2.84	87.97
151		18		11.00	1.77	5.32	12.80	3.46	86.49
Ariete de cámara de aire vertical									
55	9	9	2.1	4.00	5.52	10.44	4.90	2.33	80.71
69		18		6.00	2.88	11.35	7.80	3.71	75.06
69				7.00	2.27	10.75	8.80	4.19	73.13
Ariete de cámara de aire horizontal									
60	12	12	2.61	3.00	2.82	9.02	4.20	2.00	38.32
60				4.00	1.70	9.61	5.20	2.48	29.89
53		22		5.00	0.85	9.06	7.20	3.43	23.65

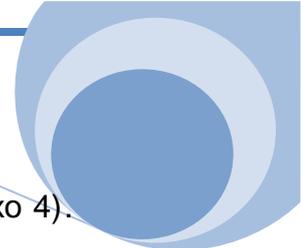
Fuente: La autora

GRÁFICA 7-2. Altura impulsada versus caudal impulsado



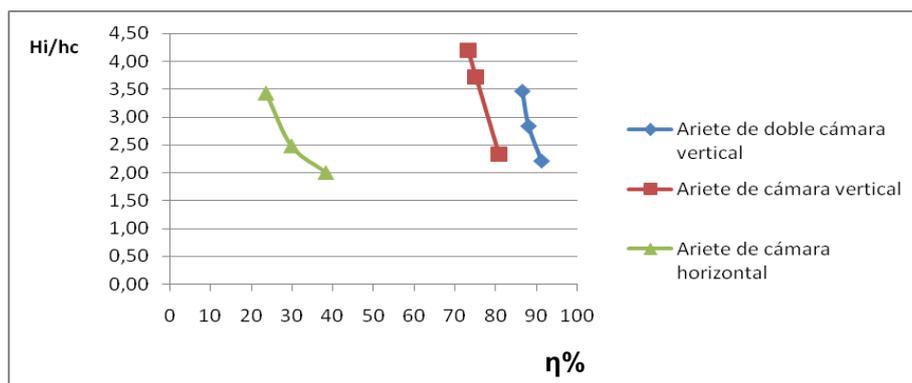
Fuente: La autora

Como podemos ver en la gráfica 7-2, el ariete de cámara horizontal no alcanza elevadas alturas de impulsión, pero como lo dijimos antes su alcance es suficiente para recircular el caudal derramado por el ariete de una cámara



vertical a la fuente que alimenta este mismo ariete (ver esquema en anexo 4). El ariete de una cámara vertical alcanza alturas susceptibles para elevar agua hacia la fuente que alimenta el ariete de doble cámara; éste último alcanza una altura de elevación de 12.80 m, con 1.77 L/min. El derrame de este ariete más el impulsado por el ariete horizontal, se aprovechan para el funcionamiento del ariete de un neumático (ver esquema del anexo 4).

GRÁFICA 7-3. Relación H_i/h_c versus rendimiento



Fuente: La autora

Como es lo correcto, el rendimiento disminuirá a mayores cotas de elevación.

7.3.1. Estimación de pérdidas en el sistema completo

7-3. Pérdidas en el sistema

arietes	hc	Hi	q(L/min)	hf
2 CA	3.7	12.8	1.77	0.976
1 CA	2.1	8.8	2.27	0.0768
CH	2.61	7.2	0.85	0.0017
			Suma=	1.055

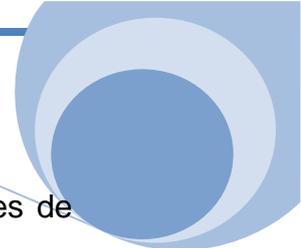
Fuente: La autora

Variables usadas en el cuadro:

2CA- ariete de doble cámara vertical

1CA- ariete de una cámara vertical

CH- ariete de cámara horizontal



En el cuadro 7-3, se presenta las pérdidas en el sistema total; el detalles de cálculos de perdidas en accesorios y longitud, se presenta en el anexo 4.

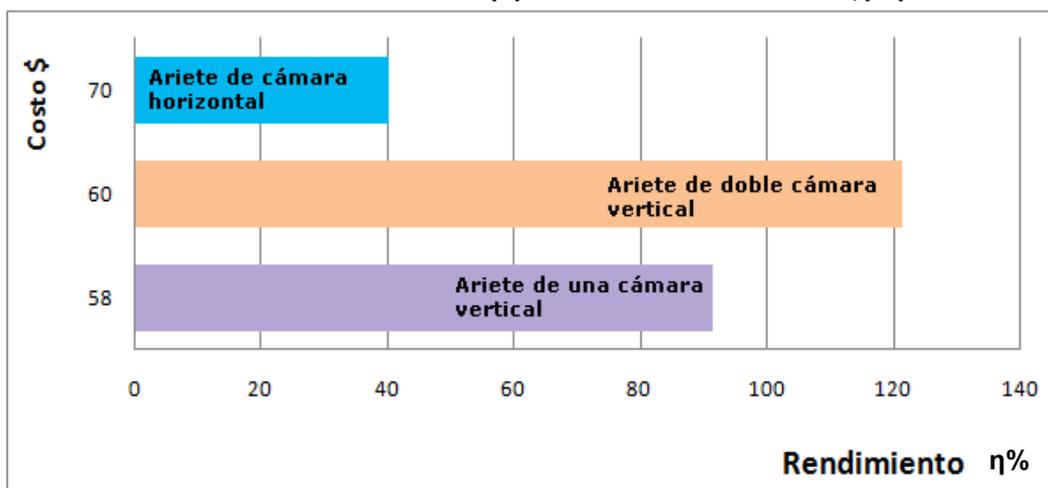
7.4. Análisis de costo y rendimiento

CUADRO 7-3. Costo y rendimiento

ARIETE	COSTO	Hi (m)	η (%)
Una cámara de aire	58	16	30.53
Doble cámara de aire	60	16	40.49
Cámara horizontal	70	9	53.36

Fuente: La autora

GRÁFICA 7-8. Costo (\$) versus rendimiento η (%)

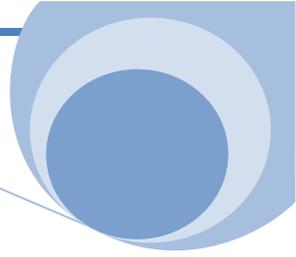


Fuente: La autora

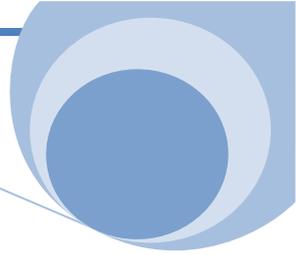
Como podemos notar en la gráfica 7-8, un ariete de mayor rendimiento requiere de una mayor inversión de dinero. De acuerdo a este cuadro se puede elegir el tipo de bomba a utilizar, tomando en cuenta la disposición económica. Conjuntamente con la gráfica 7-8 y el cuadro 7-3, se puede ver que el ariete de una cámara horizontal es el de menor rendimiento con una altura máxima de impulsión H_i de 9 m; luego está el ariete de un neumático con rendimiento mayor y $H_i = 16$ m; y finalmente a una misma altura de impulsión se encuentra el ariete con mayor ganancia: el de doble cámara de aire.

En si el costo de los arietes no difiere notablemente. El ariete de doble cámara se convierte en el más caro ya que este para su construcción usa una manguera de presión (que es la cámara de aire); que lo hace costoso; pero en esta bomba no es muy efectiva; cabe recalcar, que este modelo de ariete es el más nuevo en cuanto a investigaciones de arietes, por lo que aún se están haciendo investigaciones para mejorarlo en cuanto a rendimiento y precio. Con respecto al precio del ariete de cámara horizontal, el de una cámara es 0.83 veces más barato, y el doble cámara 0.86 veces más económico.

La elección del tipo de ariete se hará de acuerdo al criterio personal del beneficiario.



CAPÍTULO VIII



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

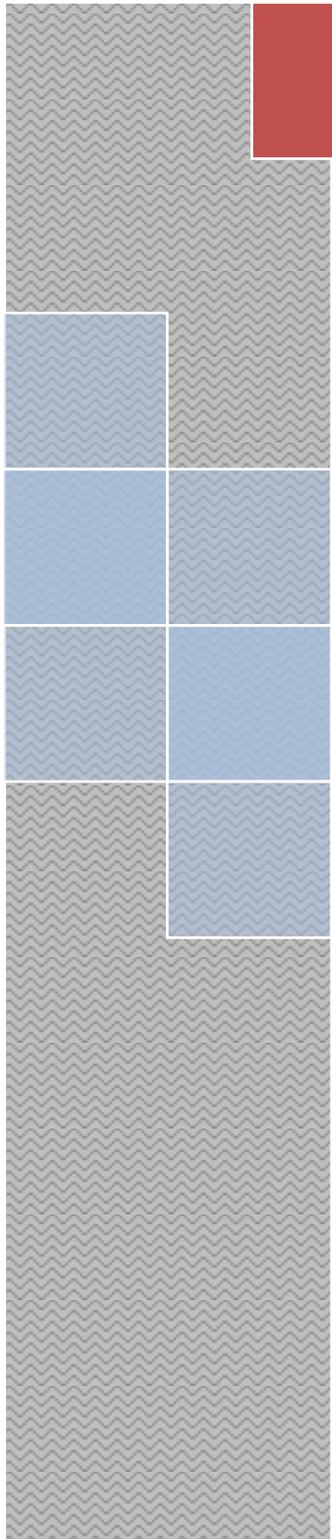
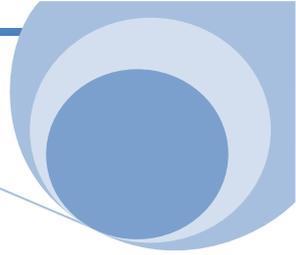
- 👉 El modelo matemático de un ariete hidráulico, a través del pulso Joukovsky, permite su comprobación en campo.

- 👉 La instalación de arietes, garantizan la obtención de agua suficiente y permanente a cotas superiores al de los cauces naturales o ríos, sin necesidad de aportar energía externa, haciéndolo económico y ecológico.
- 👉 El ariete de cámara horizontal es el más costoso y de bajo rendimiento; mientras que los prototipos de cámara vertical son más económicos con un mayor rendimiento. Pues estos últimos impulsan caudales de 1 (ariete de una cámara vertical) y 1.24 (ariete de doble cámara vertical) litros por minuto, a una altura $H_i=16\text{m}$, con un desnivel de trabajo de $h_c=4\text{m}$. La altura máxima a la que llegó el ariete horizontal, en los ensayos de campo fue $H_i=7.2\text{ m}$, con un caudal impulsado de 0.85 litros por minuto.
- 👉 El ariete de doble cámara vertical, impulsa mayor cantidad de caudal en alturas de impulsión iguales al del ariete de una cámara vertical.
- 👉 El prototipo de cámara horizontal, en un año de trabajo impulsa un caudal de aproximadamente igual a 446.57 litros.
- 👉 Los prototipos de cámara vertical, dan un mayor rendimiento; pues estos impulsan 522.99 (ariete de una cámara) y 649.64 (ariete de doble cámara) litros en un año de funcionamiento.
- 👉 La instalación escalonada de arietes en serie, permite el aprovechamiento del caudal derramado, evitando en lo posible desperdiciar el fluido.

8.2. Recomendaciones

- 👉 Se aconseja utilizar materiales en HG, para la construcción de la bomba para alargar al tiempo de vida del equipo.

- 👉 Limpiar periódicamente el equipo, por lo menos 2 veces al año, para evitar mal funcionamiento del mismo.
- 👉 Para desniveles de trabajo hc mayores a 12 m, utilizar tubo en HG para evitar roturas en la tubería de alimentación.
- 👉 Si la altura de impulsión es demasiado alta, se recomienda usar los primeros ocho metros tubería de HG para evitar roturas en la tubería.
- 👉 Evitar ondulaciones en la tubería de impulsión, pues esto puede llegar a parar el equipo.
- 👉 Puesto que la tubería de entrada al ariete es la que soporta con mayor intensidad los efectos del choque hidráulico, debe ser construida con un material rígido y de elevada dureza; además debe estar fuertemente anclada y lo más recta posible.
- 👉 Colocar suficiente cantidad de teflón en las partes roscables del ariete, para evitar fugas que paralicen el equipo; es importante también que dichas uniones se encuentren bien estopadas y fuertemente apretadas.
- 👉 No olvide colocar un filtro a la entrada de la tubería de alimentación al ariete, puesto que la presencia de lodos o grava, pueden parar el equipo y deteriorarlo.

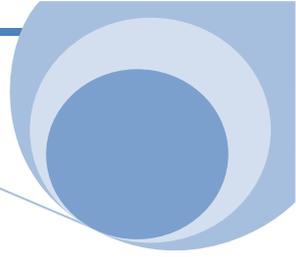


UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y
MANTENIMIENTO DE ARIETES DE
UNA PULGADA

CURSO ON-LINE





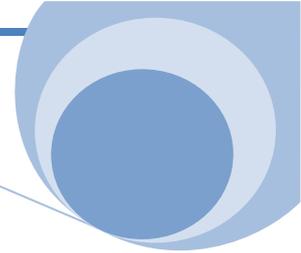
CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE ARIETES DE UNA PULGADA

CURSO ON-LINE

Curso on line para la construcción, operación y mantenimiento de arietes de una pulgada.- Como aplicación académica del proyecto de tesis “Aprovechamiento de la energía cinética del agua para su propia impulsión, mediante baterías de ariete” del área de Hidráulica de la Unidad de Ingeniería Civil, Geología y Minas – UCG – de la Universidad Técnica Particular de Loja – UTPL –, ofrece el presente curso a los profesionales en formación interesados en esta línea investigativa.

PRIMERA EDISIÓN

Mayo 2009



Estimado profesional en formación:

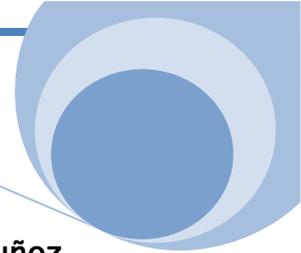
Antes de iniciar el presente curso en línea, le pido reflexionar sobre la importancia de esta asignatura, para mejorar el nivel técnico de su labor. Es importante también, para un mayor entendimiento investigar acerca de temas relacionados con el fenómeno del golpe de ariete, energía potencial, velocidades, caudales, pérdidas, energía cinética, entre otros temas relacionados al curso.

En la actualidad, el mundo de la ciencia y tecnología ofrece una variedad de alternativas para la impulsión de fluidos (como el agua.- principal componente de la vida), que desafortunadamente no están al alcance de todos, especialmente en países pobres, debido al alto costo de tecnologías nuevas. Es por esto, que el objetivo principal de esta investigación es plantear un procedimiento matemático-constructivo de batería de arietes para aprovechar la energía cinética del agua en su propia impulsión, a bajos costos y de construcción más sencilla.

En el presente curso, Ud. encontrará un manual para la construcción, operación y mantenimiento de arietes de una pulgada, donde se explica paso a paso el proceso constructivo.

Esta investigación es posible realizarla gracias a exploraciones precedentes. Se conoce que la bomba de ariete fue ideada en el siglo XVIII, cayendo en desuso a inicios del siglo XX, pero recientemente el incremento de la conciencia medioambiental y costes energéticos, han conducido a un renovado interés por los arietes. Apareciendo cada vez diseños más baratos y de construcción más sencilla. Es por esto, que invito a los interesados en esta línea investigativa buscar y proponer nuevas alternativas de las propuestas en el presente curso.

En calidad de tutor, manifiesto mi entera predisposición para responder inquietudes que se puedan presentar en el desarrollo de este curso on-line.



Atentamente,

Holger Manuel Benavides Muñoz
Docente UCG-UTPL

INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES

El curso on-line de construcción, operación y mantenimiento de arietes, propuesto en el proyecto de tesis: **"APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA CINÉTICA DEL AGUA PARA SU PROPIA IMPULSIÓN, MEDIANTE BATERIAS DE ARIETES"**, por el área de Hidráulica de la Unidad de Ingeniería Civil, Geología y Minas-UCG-de la Universidad Técnica Particular de Loja-UTPL; bajo la línea investigativa del Ing. Holger Manuel Benavides M.⁶ y elaborado por Johanna Lizbed Armijos Torres, estudiante de la Escuela de Ingeniería Civil. Se ofrece con fines exclusivamente académicos, a los profesionales en formación e interesados a introducirse en esta exploración y brindar nuevas alternativas y soluciones para la obtención de caudales suficientes en cotas superiores a las del cauce natural, a la población rural principalmente.

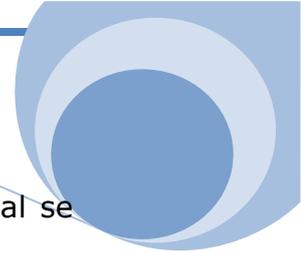
El propósito del presente curso on-line es brindar a los participantes conocimientos teóricos y prácticos sobre el funcionamiento del ariete, mediante el aprovechamiento de la energía cinética del agua en su propia impulsión.

El curso on-line está direccionado para apoyar a la labor técnica de profesionales en formación que en su práctica o actividad laboral están involucrados en esta temática; así como también, está dirigido a personas interesadas en aplicar estos conocimientos para satisfacer necesidades de abastecimiento de agua a cotas elevadas.

ORIENTACIÓN PARA EL ESTUDIO

El presente documento, forma parte del material básico para la aplicación práctica de una batería de ariete. El manual para la elaboración de estas bombas junto a un video ilustrativo de ayuda, usted los podrá descargar

⁶ Docente Investigador - Ingeniería Hidráulica y Saneamiento – Unidad de Ingeniería Civil Geología y Minas - UTPL.



desde el internet. Las páginas de la cual podrá descargar este material se da a continuación:

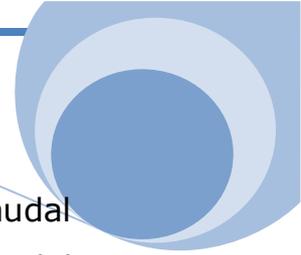
www.utpl.edu.ec/blog/holgerbenavides, para el manual de construcción de arietes

www.youtube.com/holgerbenavides, para el video de instalación y funcionamiento de arietes.

ANTES DE EMPEZAR

Las sugerencias que me permito dar a continuación tienen el propósito de dar algunos consejos para un perfecto desenvolvimiento y comprensión del presente curso on-line de "construcción, operación y mantenimiento de arietes". Es muy importante que usted se dé un minuto de su tiempo para leer estas sugerencias antes de dar inicio a su estudio.

- Este curso ha sido diseñado para el estudio en compañía de algunos (as) de sus amigos (as), en las horas libres que puedan dedicar.
- Establezcan un lugar de trabajo, el mismo que contenga todas las herramientas necesarias para la elaboración de los prototipos.
- Anoten en su agenda las horas que empleará diariamente, así como también la hora de inicio y fin de la jornada de estudio. Una vez establecida su agenda procure seguir estrictamente y tal como ustedes mismos (as) la sistematizaron. Con el puntual cumplimiento (in-situ) será muy fácil adaptarse a un cronograma rítmico de trabajo.
- Sigam el manual, tal y cual se indica, sin saltar ningún paso.
- No esperen elaborar el prototipo en un solo día. Contrariamente el trabajo debe ser constante, paulatino y razonadamente avanzando conforme evoluciona su estudio.
- Una vez elaborados los prototipos, proceda a realizar las respectivas pruebas en campo; para lo cual deberá elegir un lugar adecuado.



- Anote, todos los resultados obtenidos: pendiente, caudal impulsado, número de golpes por minuto y altura del caudal impulsado. Esto se hará a diferentes intervalos de altura, ya sea para un solo ariete ó varios arietes instaladas en paralelo o con impulsiones escalonadas en serie.
- Una vez obtenidos los datos de campo, estudiar sus resultados en oficina y realizar las respectivas gráficas: altura impulsada en función del caudal impulsado, caudal impulsado en función de los golpes por minutos y altura impulsada en función de los golpes por minuto.

El curso ha sido diseñado para desarrollarlo completamente bajo la modalidad on-line, a través del internet, las guías han sido elaboradas de tal forma que sean didácticas y de fácil comprensión a todo nivel, de igual forma los materiales a emplearse usted los puede conseguir fácilmente en nuestro mercado y a precios cómodos.

Como Tutor de la presente entrega académica, me comprometo a brindar todo el apoyo, seguimiento, respaldo y asesoramiento que sea requerido por usted, de tal manera que al término del curso su satisfacción personal se vea bien apoyada en el beneplácito de conocer y elaborar un ariete.

Asimismo, el curso se ha diseñado de tal manera que no sea necesaria su participación presencial en nuestro campus universitario. Sus inquietudes, preguntas y observaciones se podrán efectuar y responder por el entorno virtual de aprendizaje preparado para este tópico.

El desarrollo normal del curso on line "Construcción, operación y mantenimiento de arietes" está previsto que se desarrolle en 8 semanas, la primera semana de adaptación y familiarización con el entorno virtual de aprendizaje y las 7 semanas restantes para cumplir con todas las actividades académicas del curso propiamente dicho. Se prevé por grupo de trabajo una dedicación de algo más que 5 horas por semana, o su



equivalente total mínimo en todo el curso de 45 horas de estudio, que avalarán 1.5 créditos ECTS-UTPL.

COMPETENCIAS GENERALES:

Los participantes, al término del curso en línea estarán en la capacidad para:

- 👉 Tener los conocimientos básicos para el entendimiento del funcionamiento de arietes
- 👉 Formulación del modelo matemático para la operación de arietes.
- 👉 Construir y operar arietes.
- 👉 Ensayar su comportamiento en diferentes modelos de arietes, a través de la instalación en campo.

COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

Al término del capítulo 2 el profesional en formación participante de este curso, tendrá la capacidad para:

- 📖 Comprender ¿qué es? y ¿para qué sirve? una bomba de ariete.
- 📖 Conocer las partes de un ariete hidráulico.
- 📖 Entender el fenómeno transitorio ó golpe de ariete.
- 📖 Comprender la operación de un ariete.
- 📖 Conseguir el funcionamiento de una bomba de ariete.
- 📖 Tener conocimiento de las ecuaciones y modelos matemáticas relacionadas con el experimento.
- 📖 Proporcionar mantenimiento a un ariete.

Al término del capítulo 3-4-5 el profesional en formación participante de este curso, tendrá la capacidad para:

- 📖 Construir arietes de 1 pulgada con una cámara de aire, dos cámaras de aire y ariete con cámara horizontal.
- 📖 Instalar y poner en marcha arietes de una pulgada con una cámara de aire, doble cámara de aire y; cámara horizontal (incluye cálculos y gráficas).

Al término del capítulo 6 el profesional en formación participante de este curso, tendrá la capacidad para:

- 📖 Realizar análisis comparativos de costo y rendimiento en los tres modelos de arietes antes mencionados.

RESPONSABILIDADES DEL PARTICIPANTE

- ✓ Es responsabilidad de cada participante aprovechar y cumplir con el presente proceso de aprendizaje. Mucho dependerá de la disciplina con la que se lo desarrolle.
- ✓ Cada participante será el responsable de la organización y fiel cumplimiento de sus actividades y del calendario que para este curso se proponga así mismo. Esto también le deja total libertad a cada participante para que elija el tiempo y horario que mejor le convenga.
- ✓ El auto-aprendizaje requiere de disciplina, organización y práctica que se apoya en una comunicación fluida, activa y participativa, que a su vez enriquece el avance autónomo de cada integrante.

HERRAMIENTAS DEL CURSO

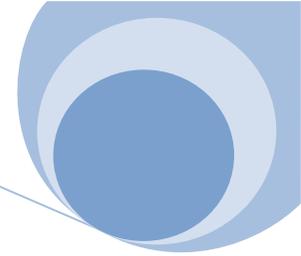
- ✓ El curso "Construcción, operación y mantenimiento de arietes", se desarrollará en el modo virtual aprovechando al máximo la funcionalidad del E.V.A de la U.T.P.L.



- ✓ Descargas de documentos de acceso libre, relacionados con el curso.
- ✓ Foros de intercambio académico, discusión, reflexión y debate.
- ✓ Cuestionarios para direccionar las lecturas.
- ✓ Evaluaciones en línea.
- ✓ Actividades prácticas de aplicación – construcción y puesta en marcha.
- ✓ Trabajo final (construcción de prototipos de 1" con una sola cámara de aire, dos cámaras de aire y ariete de cámara horizontal).

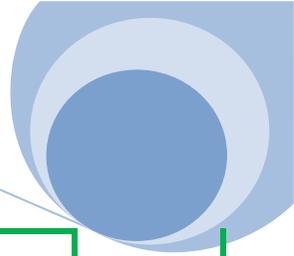
ESTRUCTURACIÓN ACADÉMICA DEL CURSO

- ✓ El curso se ha organizado para seguir el manual de ayuda que el área de Hidráulica de la Unidad de Ingeniería Civil, Geología y Minas-UCG-de la Universidad Técnica Particular de Loja-UTPL dispone de forma libre en internet, titulado "Manual para la construcción, operación y mantenimiento de arietes". Este manual es parte de la tesis: **"APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA CINÉTICA DEL AGUA PARA SU PROPIA IMPULSIÓN, MEDIANTE BATERÍAS DE ARIETES"**, elaborado por Johanna Lizbed Armijos Torres, bajo la dirección de Holger Manuel Benavides Muñoz; la misma que permanece en la biblioteca general de nuestra Universidad.
- ✓ Además se prevé intercalar explicaciones y procedimientos que se consideran pertinentes para el mejor aprovechamiento del curso.

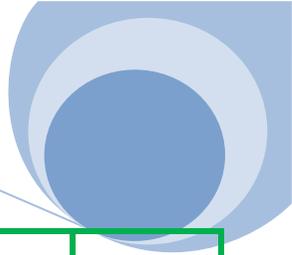


CUADRO A_ Matriz metodológica del aprendizaje.

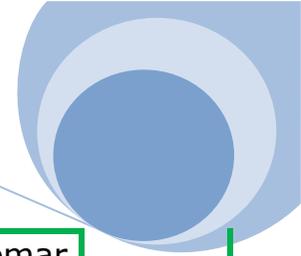
COMPETENCIAS	CONTENIDO PARA CADA CAPÍTULO	DOCENTE		PARTICIPANTE EN FORMACIÓN	TIEMPO
		ACTIVIDADES	RECURSOS E INSTRUMENTACIÓN	ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE	
<p>🌱 Descarga del material de estudio para el curso on-line.</p>	<p>👉 Familiarización y manejo del Entorno Virtual de Aprendizaje, EVA.</p> <p>👉 Inicio del curso on-line.</p>	<p>👉 Saludo inicial en el EVA.</p> <p>👉 Enviar mensaje a todos los correos con indicaciones generales y saludo de bienvenida.</p>	<p>👉 Foro de presentación individual. (ver capítulo 4.1)</p>	<p>👉 Ingreso a la página libre de internet: www.utpl.edu.ec/blog/holgerbenavides</p> <p>👉 Descarga del curso on-line: "construcción, operación y mantenimiento de arietes.</p> <p>👉 Familiarización con el EVA. Ingreso de datos personales, más fotografías tamaño carnet.</p> <p>👉 Primeras intervenciones en foro inicial de saludo y bienvenida.</p>	Semana N° 1
<p>🌱 Conocer las funciones de un ariete.</p> <p>Cap. 2 del</p>	<p>👉 ¿Qué es un ariete?</p> <p>👉 Energía cinética.</p>	<p>👉 Elaboración del cuestionario.</p> <p>👉 Revisión de respuestas del</p>	<p>👉 Creación del cuestionario #1 en el EVA. (ver anexo 1)</p>	<p>👉 Lectura de los capítulos 2.1, 2.2, y 2.3 aportes con investigaciones adicionales.</p> <p>👉 Responder el cuestionario on-</p>	



curso on-line.	👉 Partes de un ariete.	cuestionario.		line.	
<p>☀ Estudio de la operación y el fenómeno transitorio.</p> <p>Cap. 2 del curso on-line.</p>	<p>👉 Operación de un ariete.</p> <p>👉 Golpe de ariete.</p>	<p>👉 Elaboración del cuestionario.</p> <p>👉 Revisión de respuestas del cuestionario.</p>	<p>👉 Creación del cuestionario #2 en el EVA. (ver anexo 1)</p>	<p>👉 Lectura de los capítulos 2.4 y 2.5.</p> <p>👉 Responder el cuestionario on-line.</p>	<p>Semana N°2</p>
<p>☀ Instalación típica de un ariete.</p> <p>☀ Ecuaciones para el cálculo.</p> <p>Cap. 1 del curso on-line.</p>	<p>👉 Principio del funcionamiento de un ariete.</p> <p>👉 Ecuaciones para el cálculo.</p>	<p>👉 Elaboración del cuestionario.</p> <p>👉 Revisión de respuestas del cuestionario.</p>	<p>👉 Creación del cuestionario #3 en el EVA. (ver anexo 1)</p>	<p>👉 Lectura de los capítulos 2.6 y 2.7.</p> <p>👉 Responder el cuestionario on-line.</p>	<p>Semana N°3</p>
<p>☀ Construcción de prototipos.</p> <p>Cap. 3-4 y 5 del curso on-line.</p>	<p>👉 Construcción del prototipo: con una cámara de aire, doble cámara y cámara horizontal.</p>	<p>👉 Recomendaciones y orientaciones para la construcción de los prototipos.</p>	<p>xxxxxxxxxxxxxxxx</p>	<p>👉 Leer el manual de ayuda y seguirlo estrictamente.</p>	<p>Semana N° 4</p>

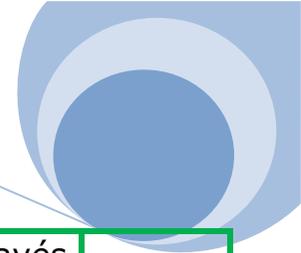


<p>☀ Instalación Experimental. Ariete de una cámara de aire</p> <p>Cap. 3 del curso on-line.</p>	<p>👍 Instalación y puesta en marcha del prototipo de una cámara de aire.</p> <p>👍 Cálculos y resultados obtenidos del experimento.</p> <p>👍</p>	<p>👍 Brindar soluciones en caso de que se presentasen dudas en la instalación del prototipo en el campo.</p>	<p>xxxxxxxxxxxxxxxx</p>	<p>👍 Instalar y poner en marcha el ariete con una cámara de aire.</p> <p>👍 Toma de datos y cálculos respectivos.</p> <p>👍 Enviar un informe bien estructurado de lo elaborado con fotos y video, a través del EVA.</p>	<p>Semana N° 5</p>
<p>☀ Instalación experimental. Ariete de doble cámara.</p> <p>Cap. 4 del curso on-line.</p>	<p>👍 Instalación y puesta en marcha del prototipo de dos cámaras de aire.</p> <p>👍 Cálculos y resultados obtenidos del experimento.</p>	<p>👍 Brindar soluciones en caso de que se presentasen dudas en la instalación del prototipo en el campo.</p>	<p>xxxxxxxxxxxxxxxx</p>	<p>👍 Instalar y poner en marcha el ariete con doble cámara.</p> <p>👍 Toma de datos y cálculos respectivos.</p> <p>👍 Enviar un informe de resultados de la práctica con fotos y un video, a través del EVA.</p>	<p>Semana N° 6</p>



<p>☀ Instalación experimental. Ariete de cámara horizontal.</p> <p>Cap. 5 del curso on-line.</p>	<p>👉 Instalación y puesta en marcha del prototipo de cámara de aire horizontal.</p> <p>👉 Cálculos y resultados.</p>	<p>👉 Brindar soluciones a las inquietudes relacionadas con la instalación de los prototipos en el campo.</p>	<p>👉 Foro para intercambio de conocimientos, experiencias y dudas en el campo. (ver capítulo 4.1)</p>	<p>👉 Instalar los prototipos y tomar los respectivos datos.</p> <p>👉 Enviar un informe de lo elaborado con fotos y un video, a través del EVA.</p> <p>👉 Intervención participativa en el foro.</p>	
---	---	--	---	--	--

<p>☀ Resultados e interpretación.</p> <p>Cap. 7 del curso on-line.</p>	<p>👉 Análisis comparativo de costo y rendimiento.</p> <p>👉 Caudal elevado en un año.</p>	<p>👉 Brindar artículos relacionados con el tema.</p>	<p>👉 Foro para el intercambio conocimientos en el análisis comparativo. (ver capítulo 4.1)</p>	<p>👉 Realizar comparaciones entre los arietes de una cámara, doble cámara y cámara horizontal; en cuanto a costos y rendimientos.</p> <p>👉 Calcular las pérdidas por longitud y accesorio para los tres sistemas instalados.</p> <p>👉 Enviar un informe de lo elaborado con las gráficas comparativas respectivas. Incluir curvas de caudal versus golpes por minuto, altura impulsada versus caudal impulsado y derramado, y altura impulsada versus golpes por minuto.</p> <p>👉 Intervención participativa en el foro.</p>	<p>Semana N° 7</p>
---	--	--	--	--	--------------------



<p>☀ Evaluación a distancia</p>	<p>👉 Aplicación teórica, a distancia, de los contenidos aprendidos en el curso on-line.</p>	<p>👉 Propuesta de trabajo grupal.</p>	<p>👉 Recepción de un informe de las tareas realizadas hasta la culminación del curso on-line. 👉 Elaboración del examen virtual en el EVA.</p>	<p>👉 Envío del trabajo final, a través del EVA. 👉 Contestación del examen on-line.</p>	<p>Semana 8</p>
---------------------------------	---	---------------------------------------	---	--	---------------------



INSTRUMENTACIÓN

El curso on-line de "Construcción, operación y mantenimiento de arietes", se desarrolla en el modo virtual de la Universidad y aprovecha como herramienta principal el entorno virtual de aprendizaje-EVA-de la UTPL.

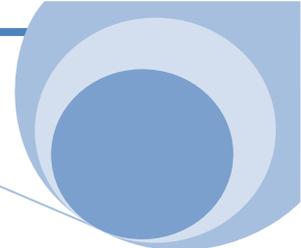
El curso está diseñado bajo una metodología de enseñanza – aprendizaje entre facilitador y participantes; activa y participativa que motiva el auto aprendizaje con intercambio de conceptos y opiniones respecto a los temas desarrollados durante este curso en línea, en el horario u horarios que el participante considere mejor.

CARACTERÍSTICAS DEL MODELO DE APRENDIZAJE

Cada participante es el único responsable de su propio proceso y metodología de aprendizaje, así como del cumplimiento cabal de las actividades propuestas para la aprobación del curso en línea. Juegan un papel preponderante la iniciativa, la capacidad de organización y el empoderamiento que se le brinden al presente curso por parte del participante.

Asimismo, cada participante tiene la misma libertad que siempre ha tenido para elegir el tiempo que más le conviene para trabajar; no obstante, el curso está organizado para que se envíen tareas, se rindan evaluaciones y se participe en los foros dentro de los plazos establecidos.

De la misma forma, el participante contará con una asistencia virtual permanente que le servirá como guía y orientación estratégica que sobre la marcha del curso recibirá de su tutor.



ACTIVIDADES

Las actividades previstas para este curso son:

Foros: será necesaria la participación en el foro previsto para la semana 1, 6 y 7. Se califican sobre 8 puntos de los 40 puntos totales. Cada foro tendrá un peso de calificación del 33.33%.

Cuestionarios: el participante deberá resolver el cuestionario propuesto para las semanas 1-2 y 3 del curso. El cumplimiento estricto de la solución de todos los cuestionarios y dentro del plazo establecido, significará para el participante hasta 8 puntos de los 40 totales del curso. Cada cuestionario tendrá un peso de calificación del 33.33%.

Tareas: como parte de las tareas consta el envío de los avances semanales, cuyos archivos se deberán enviar paulatinamente, acompañado de una redacción narrativa del procedimiento, paso a paso y fotos como constancia de lo plasmado en el informe respectivo. Estas tareas se deberán subir en la semana 4, 5, 6, 7 y 8. Cada tarea de estas tiene un peso del 14% del total de los 16 puntos por tareas.

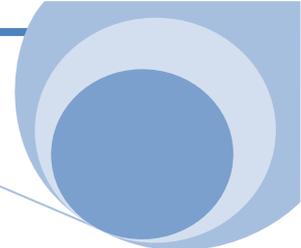
Para la semana 8 se deberá rendir un examen on-line, que se calificará hasta con 8 puntos.

SISTEMA DE EVALUACIÓN DEL CURSO

La evaluación es el componente esencial en todo proceso de formación. El curso en línea de "Construcción, operación y mantenimiento de arietes", evaluará de manera permanente y de forma variada el desempeño de cada participante.

Cuadro B_Actividad y puntaje

ACTIVIDAD EVALUATIVA	PUNTAJE ACREDITADO	%
Foros iterativos	8	20.00



Envío de cuestionarios y consultas	8	20.00
Tareas:		
<ul style="list-style-type: none"> ☞ Ariete con una cámara neumática. ☞ Ariete con dos cámaras neumáticas. ☞ Ariete de cámara horizontal. 	5	12.50
	6	15.00
	<u>5</u>	<u>12.50</u>
	16	40.00
Evaluación on-line	8	20.00
TOTAL	40	100.00

Para rendir el examen on-line de la semana 8 se requiere obligatoriamente, en las fechas indicadas:

- a)** Haber participado en los foros (semanas: 1,6 y 7).
- b)** Haber enviado los cuestionarios y consultas (semanas: 1, 2 y 3).
- c)** Haber cumplido con los trabajos estipulados (semanas: 5, 6, 7 y 8).
- d)** Haber entregado el trabajo final (semana 8).

Para la aprobación del curso se requiere de un puntaje mínimo de 28 sobre 40 puntos.

MEDIOS, RECURSOS Y ACTIVIDADES DEL CURSO

Este curso está compuesto por materiales especialmente diseñados y adaptados para la modalidad virtual. El medio más importante será el Campus Virtual UTPL (EVA).

El Entorno Virtual de Aprendizaje EVA facilitará la interacción entre los participantes, permitiendo la comunicación mediante herramientas como el



mensajero, foros, tareas, cuestionarios, entre otros. A su vez, apoyará el desarrollo de múltiples actividades a través del uso de recursos de aprendizaje como documentos, artículos, etc.

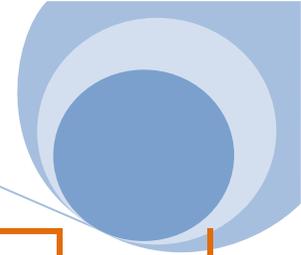
Además los participantes tendrán a su disposición un material de estudio cognitivo y audio visual, es decir el desarrollo de cada uno de los temas con sus respectivas actividades, especialmente preparado por el docente ó tutor. Asimismo, contará con una agenda académica del curso.

Tanto la agenda de estudio como todo el material estarán a disposición durante todo el tiempo de duración del curso, los mismos que podrán ser descargados libremente en las páginas mencionadas en un inicio.

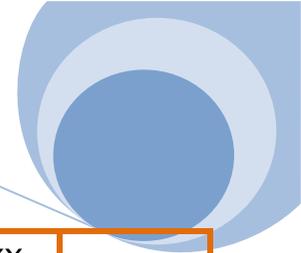


CUADRO C_Matriz de verificación docente y evaluación

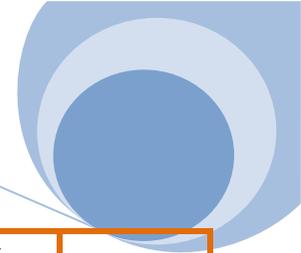
COMPETENCIAS	CONTENIDO PARA CADA CAPÍTULO	VERIFICACIÓN POR EL DOCENTE DEL CUMPLIMIENTO DE ACTIVIDADES			TIEMPO
		FOROS (8 puntos)	CUESTIONARIOS (8 puntos)	TAREAS (16 puntos)	
<p>🌱 Descarga del material de estudio para el curso on-line.</p>	<p>👉 Familiarización y manejo del Entorno Virtual de Aprendizaje, EVA</p> <p>👉 Inicio del curso on-line.</p>	<p>👉 Se verificará la participación en el foro:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Saludo - Presentación personal - Fotografía 	<p>👉 Responder en el EVA el cuestionario correspondiente al control de lectura de esta semana.</p>	<p>xxxxxxxxxxxxxxxx</p>	<p>Semana N° 1</p>



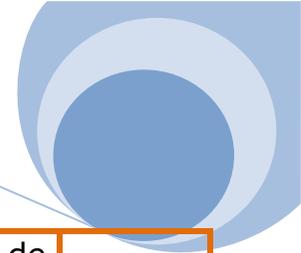
<p>☀ Conocer las funciones de un ariete.</p> <p>Capítulo 1 del curso on-line.</p>	<p>👉 ¿¿Qué es un ariete?</p> <p>👉 Energía cinética.</p> <p>👉 Partes de un ariete.</p>	<p>33.33 %</p>	<p>33.33%</p>		
<p>☀ Estudio de la operación y el fenómeno transitorio.</p> <p>Cap. 2 del curso on-line.</p>	<p>👉 Operación de un ariete.</p> <p>👉 Golpe de ariete.</p>	<p>xxxxxxxxxxxxx</p>	<p>👉 Responder en el EVA el cuestionario correspondiente al control de lectura de esta semana.</p> <p>33.33 %</p>	<p>xxxxxxxxxxxxx</p>	<p>Semana N° 2</p>
<p>☀ Instalación típica de un ariete.</p> <p>☀ Ecuaciones para el cálculo.</p> <p>Cap. 1 del curso on-line.</p>	<p>👉 Principio del funcionamiento de un ariete.</p> <p>👉 Ecuaciones para el cálculo.</p>	<p>xxxxxxxxxxxxx</p>	<p>👉 Responder en el EVA el cuestionario correspondiente al control de lectura de esta semana.</p> <p>33.33 %</p>	<p>xxxxxxxxxxxxx</p>	<p>Semana N° 3</p>



<p>✿ Construcción de prototipos. Cap. 3-4 y5 del curso on-line.</p>	<p>👉 Construcción del prototipo: con una cámara de aire, doble cámara y cámara horizontal.</p>	<p>xxxxxxxxxxxxxxxx</p>	<p>xxxxxxxxxxxxxxxx</p>	<p>xxxxxxxxxxxxxxxx</p>	<p>Semana Nº 4</p>
<p>✿ Instalación Experimental. Ariete de una cámara de aire Cap. 3 del curso on-line.</p>	<p>👉 Instalación y puesta en marcha del prototipo de una cámara de aire. 👉 Cálculos y resultados obtenidos del experimento.</p>	<p>xxxxxxxxxxxxxxxx</p>	<p>xxxxxxxxxxxxxxxx</p>	<p>👉 Enviar un informe de resultados de la práctica con fotos y un video, a través del EVA. 17.5 %</p>	<p>Semana Nº 5</p>



<p>✿ Instalación Experimental. Ariete de doble cámara.</p> <p>Cap. 3 del curso on-line.</p>	<p>👉 Instalación y puesta en marcha del prototipo de dos cámaras de aire.</p> <p>👉 Cálculos y resultados obtenidos del experimento.</p>	<p>xxxxxxxxxxxxxxxx</p>	<p>xxxxxxxxxxxxxxxx</p>	<p>xxxxxxxxxxxxxxxx</p>	<p>Semana N° 6</p>
<p>✿ Instalación Experimental. Ariete con cámara horizontal.</p> <p>Cap. 3 del curso on-line.</p>	<p>👉 Instalación y puesta en marcha del prototipo de cámara de aire horizontal.</p> <p>👉 Cálculos y resultados.</p>	<p>👉 Verificación en la participación del foro "<i>Instalación de prototipos en el campo</i>"</p> <p>33.33 %</p>	<p>xxxxxxxxxxxxxxxx</p>	<p>👉 Enviar un informe de lo elaborado con fotos y un video, a través del EVA.</p> <p>17.5 %</p>	<p>Semana N° 6</p>
<p>✿ Resultados e interpretación.</p> <p>Cap. 4 del curso</p>	<p>👉 Análisis comparativo de costo y rendimiento.</p> <p>👉 Caudal</p>	<p>👉 Verificación en la participación del foro "<i>Análisis comparativo</i>"</p>	<p>xxxxxxxxxxxxxxxx</p>	<p>👉 Enviar un informe de lo elaborado con las gráficas comparativas respectivas.</p>	<p>Semana N°7</p>



<p>on-line.</p>	<p>elevado en un año.</p>	<p>33.33 %</p>		<p>Incluir curvas de caudal versus golpes por minuto, altura impulsada versus caudal impulsado y derramado, y altura impulsada versus golpes por minuto</p> <p style="text-align: center;">17.5 %</p>	
<p>🌿 Evaluación a distancia</p>	<p>👉 Aplicación teórica, a distancia, de los contenidos aprendidos en el curso on-line.</p>	<p>xxxxxxxxxxxxx</p>	<p>xxxxxxxxxxxxx</p>	<p>👉 Contestación del examen on-line.</p> <p style="text-align: center;">30 % (8 puntos)</p>	<p>Semana N° 8</p>



ESTRUCTURA DE LAS TUTORIAS

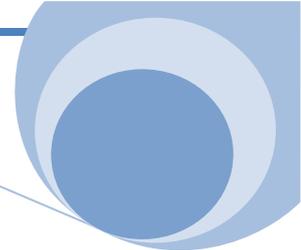
Durante el tiempo de desarrollo del curso en línea de “*Construcción, operación y mantenimiento arietes*”, un docente del Grupo de Investigadores del área de Hidráulica y Saneamiento de la Unidad de Ingeniería Civil, Geología y Minas (UCG) les apoyará semanalmente para aprovechar al máximo el proceso de auto - formación que está cursando; asimismo, gracias al Entorno Virtual de Aprendizaje – UTPL, se atenderán sus preguntas e inquietudes mientras dure el curso.

El tutor, docente a cargo del presente curso, se comunicará electrónicamente para brindarle orientaciones generales y específicas, subir a las actividades correspondientes a cada semana, planteará las tareas. Mediante los foros, propiciará un armónico intercambio de información, conocimiento y experiencias; y, se encargará de habilitar los cuestionarios para los controles de lectura permanente.

El tutor/facilitador del presente Curso es: Holger Manuel Benavides Muñoz y su correo de contacto académico es: hmbenavides@utpl.edu.ec

Acerca del tutor.- Es ingeniero civil graduado en la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL - 1999), obtuvo su maestría en gerencia de proyectos para el desarrollo en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL - 2005), su grado de especialista universitario en gestión urbana del agua lo obtuvo en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV - 2007) y está desarrollando el doctorando en ingeniería hidráulica y medio ambiente en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Actualmente es docente investigador de la Unidad de Ingeniería Civil, Geología y Minas (**UCG**) de la Universidad Técnica Particular de Loja (**UTPL**). Es miembro de la red internacional LEHNS-PROSUL para la eficiencia hidráulica y energética en sistemas de abastecimiento urbano de agua, cuya sede matriz está en Brasil.

Luego de haber estudiado cada tema de su guía de usuario y si considera necesario plantear preguntas o consultas, no dude en escribirle a su tutor, quien con razonada prontitud responderá a sus consultas.



PLAZOS ESPECIFICADOS

Las fechas indicadas en el cronograma son improrrogables.

Siga ordenadamente las lecturas y desarrolle las actividades programadas oportunamente; se recomienda que cumpla con todas ellas, puesto que son requisitos para rendir la evaluación presencial y por ende aprobar el curso.

CUADRO D_Cuadro resumen de actividades vs número de semanas

ACTIVIDADES	TIEMPO
Foros (ver capítulo 4.1)	Semanas N° 1, 6 y 7
Tareas (ver capítulo 4.2)	Semanas N° 5, 6, 7 y 8
Cuestionarios (ver capítulo 4.3)	Semana N° 1, 2 y 4

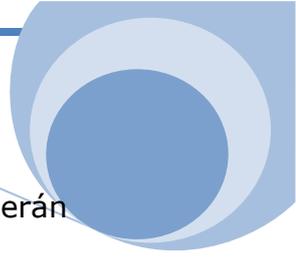
GENERALIDADES

El Entorno Virtual de Aprendizaje (EVA) junto con el sistema de correo electrónico se utilizarán con fines exclusivamente académicos. No se podrá usar estas herramientas para actividades promocionales, publicidad o prestarse para albergar cadenas ofimáticas (SPAM).

Se tendrá especial cuidado con el vocabulario, evitar el sarcasmo, mal humor o vulgaridades que no vienen al caso. Evitar todo tipo de frases que puedan ofender a los participantes de este curso. Muestre su ingenio para redactar, darse a conocer y comprender por el resto del equipo participante.

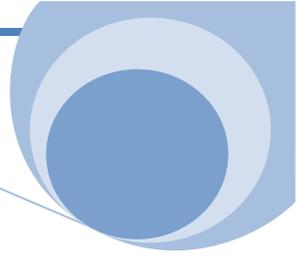
No utilizar seudónimos. Todo participante deberá identificarse plenamente colocando su nombre completo, fotografía, ciudad de origen, título profesional, actividad laboral, pasatiempos, etc.

Se tendrá especial cuidado de la ortografía.

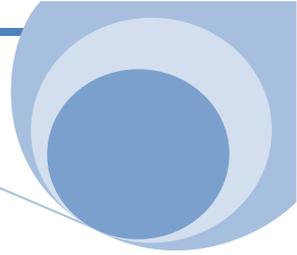


Los materiales de consulta utilizados para sus redacciones se deberán identificar claramente, con la cita bibliográfica respectiva.

El presente curso forma parte de la malla curricular de la Escuela de Ingeniería Civil, de la Universidad Técnica Particular de Loja, de tal manera que si se llegase a producir algún inconveniente académico – legal, ó en la interpretación, aplicación o seguimiento integro del presente curso, el participante se obliga estrictamente a resolverlos primeramente con su Tutor y como instancia superior directamente con el Director de la citada Escuela; así, la reglamentación para este curso, tal como el cumplimiento de deberes y obligaciones son los que para esta Escuela rigen, dentro del marco de nuestra universidad.



ANEXOS



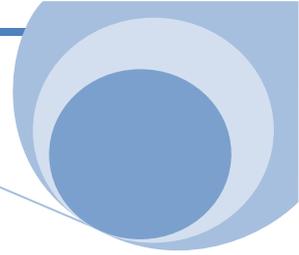
2. FOROS, TAREAS, CUESTIONARIOS Y EXÁMEN FINAL PARA EL CURSO ON-LINE.

2.1. Foros

SEMANA 1

Tema: Presentación individual.

- Saludo de bienvenida: *“Estimados profesionales en formación, les deseo que durante el desarrollo de éste curso, enriquezcan su conocimiento, aptitudes y destrezas. Como tutor de esta materia, espero nos llevemos como amigos bajo la línea de respeto mutuo. De igual forma les deseo éxitos en sus labores”* att: El tutor.
- Presentación personal



- Fotografía tamaño carnet.

SEMANA 6

Tema: Construcción e Instalación de arietes en campo.

- ¿Por qué se debe modificar la válvula de derrame?

R: La válvula de pie se modifica por la siguiente razón: La válvula de derrame es la única pieza que requiere de modificación, debido a que estas válvulas están diseñadas para permanecer cerradas y abrirse ante una presión negativa. Y nosotros necesitamos que se mantenga abierta y se cierre ante una presión positiva, que en nuestro caso es la del agua que ingresa a la caja de válvulas del ariete.

- ¿Qué beneficios o desventajas provee la construcción de arietes de doble cámara de aire en comparación con los de una cámara?

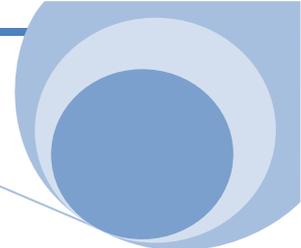
R: La construcción de arietes de doble cámara son ligeramente más costosos, pero éstos nos permiten impulsar mayor cantidad de agua a mismas alturas de impulsión de un ariete con un neumático.

SEMANA 7

Tema: Análisis comparativo

- ¿Cómo se relacionan los tres modelos de arietes en cuanto a costo y rendimiento?

R: El ariete de cámara horizontal es el más costoso y de bajo rendimiento, a diferencia de los arietes de cámara vertical que sucede lo contrario. El prototipo de un neumático vertical es 0.83 veces más barato y el de doble neumático 0.86 más económico con respecto al ariete de cámara horizontal.



1.1. Tareas

SEMANA 5. Enviar informe de la construcción de los prototipos, y de la instalación en campo del ariete de una cámara vertical; con las respectivas fotos del proceso constructivo de cada uno de los modelos de ariete y de la instalación respectiva.

SEMANA 6. Informe de la instalación y puesta en marcha del prototipo de cámara de aire horizontal y doble cámara vertical (cálculos y gráficas).
Enviar fotos y de ser posible un video.

SEMANA 7. Informe de análisis de costo y rendimiento y Cálculo de caudales para un año; y cálculo de pérdidas en cada uno de los prototipos instalados.

SEMANA 8. La última semana corresponde a la tarea opcional; que consiste en la instalación en serie de los prototipos con sus respectivos cálculos, resultados en gráficas y estimación de pérdidas del sistema completo.

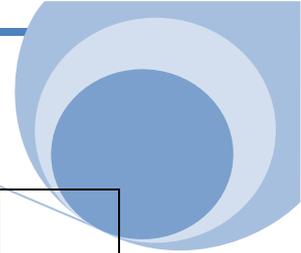
2.2. Cuestionarios

SEMANA 1

Preguntas:

A. Ponga una V si es verdadero ó una F si es falso. Si es falso ponga la razón correcta.

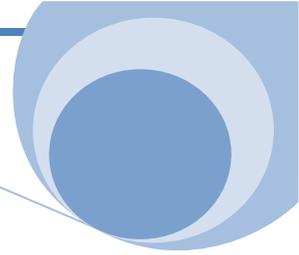
ITEM	PREGUNTA	V ó F
1	La función principal del ariete es impulsar agua a cotas mayores del cauce natural, con el uso de energía exterior	
2	El fenómeno del golpe de ariete es el que hace posible el funcionamiento en una bomba de ariete.	
3	El ariete hidráulico se conoce desde 1775 por John Whetherst.	
4	A la energía cinética se la denomina energía almacenada por	



	estar asociada con el trabajo.	
5	Las partes principales de un ariete son: Válvula de derrame, válvula de descarga, caja de válvulas y cámara de aire.	

B. Selección Múltiple

6. La válvula de derrame constituye la parte más importante en el funcionamiento del equipo. ¿Por qué?
- Produce el golpe de ariete por la apertura brusca de la válvula
 - Produce el golpe de ariete por el cierre brusco de la válvula
 - Permite el paso del agua al interior de la cámara de aire.
 - Permite el ingreso del caudal a la caja de válvulas.
7. Un efecto que produce la cámara de aire del ariete es:
- Ayudar a la apertura de la válvula de descarga
 - No permitir el ingreso de aire.
 - No ayuda en nada.
 - Permite elevar un mayor volumen de caudal.
8. El diámetro de la base de la cámara de aire está dado por:
- De D a $2D$ del diámetro de la tubería de alimentación.
 - De $D/2$ a D del diámetro de la tubería de alimentación.
 - De $D/2$ a $D/3$ del diámetro de la tubería de alimentación.
 - Igual al diámetro de la tubería de alimentación.



9. La energía cinética es igual a:

- a. La suma de calor y trabajo mecánico.
- b. La suma de calor y masa
- c. LA suma de trabajo mecánico y potencia
- d. La suma de masa y potencia.

10. ¿cuál es una de las funciones de la válvula de descarga?

- a. Permitir el retroceso del agua de la cámara de aire.
- b. Permitir el paso del fluido de la caja de válvulas al interior de la cámara de aire.
- c. Es la que se encarga de no producir los golpes por minuto.
- d. Por aquí se produce el caudal de derrame.

Respuestas:

1. F.

R: porque, un ariete impulsa líquido a cotas superiores del cauce natural, pero SIN el aporte de energía externa; pues para su funcionamiento aprovecha la propia energía cinética del agua.

2. V

3. V

4. F

R: porque, se la denomina almacenada por estar asociada al movimiento de la masa.

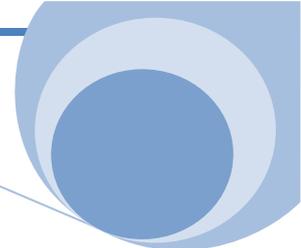
5. V

6. b

7. a

8. c

9. a



10.b

SEMANA 2

A. Ponga V si es verdadero ó F si es falso. Si es falso colocar el ¿Por qué?

ITEM	PREGUNTA	V ó F
1	La sobrepresión que se produce en el cierre brusco de la válvula de derrame del ariete, fuerza a abrir la válvula de descarga.	
2	El fluido que se acelera por efecto de la gravedad por la tubería de alimentación provoca el cierre de la válvula de descarga.	
3	El cierre brusco de la válvula de derrame es el que produce el golpe de ariete.	
4	En la cámara de aire se produce la onda de presión.	
5	El fluido se impulsa por la tubería de descarga por efecto de la elasticidad del aire.	
6	Al aumentar la relación H_i/h_c , el rendimiento también aumenta.	
7	El caudal elevado depende del rendimiento, caudal derramado, altura de carga y altura impulsada.	

8	El caudal de alimentación es la suma del caudal derramado más caudal impulsado.	
9	El periodo de aceleración abarca el tiempo desde la iniciación del derrame hasta que se inicia el cierre de la válvula de derrame.	
10	La celeridad (a) es la velocidad de la onda de presión que se produce dentro de la caja de válvulas.	

Respuestas:

1. V

2. F

R: porque, el agua que desciende a grandes velocidades por este tubo, provoca el cierre brusco de la válvula de derrame; induciendo el golpe de ariete.

3. V

4. F

R: porqué, la onda de presión se produce en la caja de válvulas, por causa de la presión y depresión, efecto del fenómeno transitorio. En la cámara de aire se produce la compresión de aire.

5. V

6. F

R: al incrementarse esta relación, el rendimiento debe disminuir.

7. F

R: el caudal elevado, dependerá del desnivel de trabajo utilizado, de la amplitud del recorrido del vástago de la válvula de derrame y del caudal ingresado a la caja de válvulas.

8. V

9. V

10.V

SEMANA 3

A. Selección múltiple

1. La carga de agua de la fuente de alimentación no debe ser menor a:
¿Por qué?

- a. 10 cm
- b. 20 cm
- c. 30cm
- d. 25 cm

¿Por qué? Para evitar la succión de aire por la tubería de alimentación.

2. Se recomienda que la longitud de la tubería de alimentación se elige en relación a:

- a. De 3 a 5 veces la altura de caída (hc)
- b. De 2 a 7 veces la altura de caída (hc)
- c. De 3 a 7 veces la altura de caída (hc)
- d. De 4 a 12 veces la altura de caída (hc)

3. Las ondulaciones en la tubería de descarga reducen:

- a. El caudal de bombeo
- b. Los golpes por minuto
- c. No afecta en nada.

- d. El caudal derramado
4. El caudal de almacenamiento de diseña en función de:
- a. La altura
 - b. Al lugar
 - c. Al máximo caudal impulsado y a la utilidad del agua.
 - d. No es necesario llevar una base diseño.
5. Los golpes de ariete del equipo suelen ser de:
- a. 2 por segundo
 - b. 1 por segundo
 - c. 1 a 2 por segundo
 - d. 3 por segundo

B. Ponga V si es verdadero o F si es falso. Si es falso dar la razón.

ITEM	PREGUNTA	V ó F
6	¿Usualmente la altura de caída es mayor a un metro?	
7	Los componentes del ariete están diseñados para poco tiempo de servicio.	
8	Para el mantenimiento debe chequear principalmente la válvula de descarga y derrame.	
9	Si no se hace la apertura del orificio por debajo de la válvula de descarga, que permite el ingreso de aire al interior de la cámara de aire; se debe renovar el aire existente limpiando la bomba periódicamente.	
10	Cuando se toma agua de un rio o quebrada, para sustentar la fuente de alimentación del ariete, no es necesario hacer una	

	derivación para colocar la captación.	
--	---------------------------------------	--

Respuestas:

1. c

2. b

3. a

4. c

5. c

6. V

7. F

R: El tiempo de duración de un ariete depende del tipo de materiales empleados para su construcción, así como también del fabricante. Si se emplea materiales en HG, la duración será mucho mayor.

8. V

9. V

10.F

R: Si se toma agua de un río o quebrada se debe hacer una derivación, para la construcción del la fuente de alimentación, para evitar daños por crecida o época de lluvias.

2.3. Examen final (Semana 8)

TEMA 1

A. Ponga V si es verdadero o F si es falso.

1. El ariete es una máquina ecológica que no requiere de aporte de energía externa ()
2. La transferencia de calor (Q) es el transporte de energía a través de una frontera del sistema, en virtud de alguna diferencia de temperaturas entre él y sus alrededores ()
3. La válvula de derrame permite regular la cantidad de agua que penetra en la cámara de aire, que se logra al cambiar la altura de carga. ()
4. El segundo efecto de la cámara de aire, es permitir el ingreso de una cantidad pequeña de aire, a través de un orificio de entrada de aire que se encuentra inmediatamente debajo de la válvula de derrame. ()

B. Selección múltiple

5. Puesto que la tubería de alimentación soporta con mayor intensidad los efectos del choque hidráulico; este debe estar construido con:
 - a. Material rígido y de elevada dureza.
 - b. Manquera flexible
 - c. No importa el material con el que se trabaje.
 - d. Material flexible de elevada dureza

6. El fenómeno transitorio se produce en:

- a. Fluido incompresible y régimen variable
- b. Fluido incompresible y régimen permanente
- c. Fluido compresible y régimen variable
- d. Fluido compresible y régimen no permanente.

7. ¿Qué sucede en el tiempo cero, en una tubería con golpe de ariete?

- a. La válvula se cierra instantáneamente y la velocidad del líquido no se anula.
- b. La válvula se cierra instantáneamente y la velocidad del líquido se anula, pero no instantáneamente.
- c. La válvula se abre y el líquido fluye con velocidad V , hacia la válvula.
- d. La válvula se abre y la velocidad se anula instantáneamente.

8. ¿Qué sucede con el rendimiento al incrementar la altura de impulsión?

- a. Aumenta
- b. Se mantiene constante
- c. Disminuye
- d. Es igual a cero.

C. Conteste las siguientes preguntas

9. ¿Por qué se debe modificar la válvula de derrame?

10. ¿Qué elementos se requieren para instalar una bomba de ariete?

RESPUESTAS:

1. V

2. V
3. F
4. F
5. a
6. c
7. b
8. c

9. Se debe modificar esta pieza porque estas válvulas están diseñadas para permanecer cerradas y abrirse ante una presión negativa. Y nosotros necesitamos que se mantenga abierta y se cierre ante una presión positiva, que en nuestro caso es la del agua que ingresa a la caja de válvulas del ariete.

10. Son: fuente de alimentación, tubería de alimentación, cuerpo del ariete (prototipo), tubería de descarga y tanque de almacenamiento.

TEMA 2

A. Ponga V si es verdadero o F si es falso.

1. La altura de fricción está dada por aproximadamente el 20 % de la tubería de descarga. ()
2. El caudal de alimentación es igual a la suma del caudal impulsado mas el caudal de entraba al ariete. ()
3. El trabajo (W) es el transporte de energía por la acción de una fuerza a través de una distancia. ()
4. Cuando se dispone de suficiente agua en la captación se regula la válvula de derrame a una frecuencia tal que permita bombear el máximo,

sin darle mayor importancia al agua que se pierda por el derrame del ariete. ()

B. Selección múltiple

5. En la caja de válvulas ¿Qué se produce?

- a. La impulsión del fluido
- b. El derrame de caudal
- c. El ingreso de aire a la cámara de aire
- d. La inversión de la onda de presión.

6. Si el ariete no empieza a funcionar correctamente. ¿Qué se debe hacer?

- a. Abrir la válvula de derrame por un tiempo de 1 a 2 minutos para eliminar el aire en la tubería de entrada.
- b. Esperar que empiece a funcionar de forma automática.
- c. Aumentar la longitud de la caja de válvulas.
- d. Incrementar la altura de impulsión.

7. La velocidad de la onda de presión se la conoce como:

- a. Periodo de la onda.
- b. Aceleración de la onda
- c. Celeridad de onda de presión

8. El período de aceleración abarca el periodo desde:
- a. La iniciación del derrame hasta el momento en que se inicia el cierre de la válvula de derrame
 - b. La apertura de la válvula de descarga hasta el cierre de la misma.
 - c. La apertura de la válvula de derrame hasta el cierre de la válvula de descarga.
 - d. El ingreso del agua a la caja de válvulas hasta que se impulsa el líquido.

C. Responda las siguientes preguntas

9. ¿Qué es una bomba de ariete?
10. ¿Cuál es el primer efecto que se produce en la cámara de aire?

RESPUESTAS:

- 1. F
- 2. F
- 3. V
- 4. V
- 5. d
- 6. a
- 7. c
- 8. a

9. Es una máquina económica y ecológica que nos permite elevar un caudal q menor al caudal Q (que alimenta a la bomba), hasta una altura

H_i mayor que la altura de carga **h_c**. No requiere de aporte de energía externa, brindando una solución alternativa para lugares remotos o pobres donde no hay acceso a energía eléctrica o motores accionados por otro tipo de energía. Para su funcionamiento aprovecha las grandes presiones del fenómeno del golpe de ariete.

10. Ayudar a la apertura de la válvula de derrame para poder así completar el ciclo de trabajo. Esta presión de vacío, con el peso de la válvula facilitan la apertura de la válvula e iniciar su movimiento de descenso.

TEMA 3

A. Ponga V si es verdadero o F si es falso.

1. El tercer efecto del vacío de la cámara de aire es cerrar la válvula de descarga con la ayuda de la presión de descarga "H_i" ()
2. El diámetro de la tubería de descarga debe estar entre 1 a 2 veces el diámetro de la tubería de alimentación. ()
3. La fuente de alimentación provee de agua al ariete ()
4. Con mayores alturas de trabajo (h_c) se logra mayores cotas de impulsión ()

B. Selección múltiple

5. El período total de dura un ciclo de la onda de presión es igual a:
- 3 veces el tiempo en que tarda la onda de presión en recorrer la longitud L de la tubería.
 - 4 veces el tiempo de cierre de la válvula de derrame
 - 2 veces el tiempo de apertura de la válvula de descarga
 - 4 veces el tiempo en que tarda la onda de presión en recorrer la longitud L de la tubería.
6. Las partes que generalmente se chequen en el mantenimiento del ariete son:
- la válvula de derrame y descarga; además tuercas y tornillos que puedan aflojarse.
 - La fuente de alimentación natural
 - La fuente de almacenamiento.
 - La base del ariete.
7. El ariete fue inventado en el año:
- 1615
 - 1712
 - 1775
 - 1700
8. Por definición, se conoce que la energía cinética de una partícula infinitesimales igual a:
- $(1/2) dmV^3$
 - $(1/2) dmV^2$
 - $(1/3) dmV^2$

d. $(1/3) dmV^3$

C. Responda las siguientes preguntas

9. Describa el funcionamiento de la válvula de derrame.

10. ¿Cuáles son las principales razones por las que se da un golpe de ariete?

RESPUESTAS

1. V

2. F

3. V

4. V

5. d

6. a

7. c

8. b

9. Constituye la parte más importante en el funcionamiento del equipo. Se encarga de producir el golpe de ariete por el cierre brusco que se origina por el incremento de velocidad del fluido. Esta válvula permite regular la cantidad de agua que penetra en la cámara de aire, que se logra al cambiar la frecuencia de los golpes por minuto (GPM) del ariete.

10. El fenómeno del golpe se produce principalmente por el cierre o apertura instantánea de una válvula, y al poner en marcha o parar una máquina hidráulica.

ANEXO 2

CAPÍTULO III: CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN EXPERIMENTAL.- ARIETE DE UNA PULGADA CON CÁMARA DE AIRE VERTICAL

1. Fotografías de la instalación en campo

FOTO 1. Ariete acoplado al tubo de alimentación



Fuente: La autora

FOTO 2. Instalación en campo



Fuente: La autora

2. Aforo del caudal de derrame

La funda de color negro que se ve en la fotografía, se la puso para evitar que el caudal se derrame fuera del recipiente de recolección.

FOTO 3. Aforo del caudal derramado



Fuente: La autora

3. Aforo del caudal impulsado

El aforo que se muestra en la fotografía corresponde a una altura de impulsión de 6 m.

FOTO 4. Aforo del caudal impulsado



Fuente: La autora

ANEXO 3

CAPÍTULO VI: ARIETE DE DOS PULGADAS

1. Instalación en campo

Instalación que primero se hizo en la finca del Sr. Bolívar Torres ubicada en Jipiro Alto, quien muy amablemente nos facilitó las instalaciones para desarrollar los ensayos pertinentes.

FOTO 5. Instalación en campo. Parte 1



Fuente: La autora

FOTO 6. Instalación en campo. Parte 2



Fuente: La autora

FOTO 7. Instalación y pruebas en campo



Fuente: La autora

Posteriormente se continuó los ensayos en Zamora, en casa de la autora de la presente tesis.

FOTO 8. Pruebas en campo 1



Fuente: La autora

FOTO 9. Pruebas en campo 2



Fuente: La autora

FOTO 10. Bomba de ariete con válvula de pie (válvula de derrame)



Fuente: La autora

2. Estimación de pérdidas en el sistema instalado en serie

CUADRO 1. Coeficiente de pérdidas k en piezas especiales

Ítem	K
Entrada en la tubería	0.5
Salida de tubería	1
Válvula globo abierta	10
Tee de salida bilateral	1.8
Codo redondeado de 90°	0.25
Válvula de derrame (pie)	1.75
Válvula check	2.75
Unión o junta	0.4
Reducción gradual	0.15
f (PVC)	0.0025

Fuente: Pontificia Universidad Católica del Perú. Grupo de apoyo al sector rural. Página web: <http://www.pucp.edu.pe/invest/grupo>

CUADRO 2. Velocidades del fluido

ARIETE DE DOBLE CÁMARA VERTICAL					
hc=3.7 m Hi=12.8 m					
D (pulg.)	D (m)	q(lt/min)	q(m3/s)	A(m2)	V=q/A (m/s)
2	0.0508	1.77	2.9571E-05	0.00203	0.01459
1	0.0254	1.77	2.9571E-05	0.00051	0.05836
1/2	0.0127	1.77	2.9571E-05	0.00013	0.23344

ARIETE DE CÁMARA VERTICAL					
hc=2.1 m Hi=8.8m					
1	0.0254	2.27	3.7866E-05	0.00051	0.07473
1/2	0.0127	2.27	3.7866E-05	0.00013	0.29892
ARIETE DE CÁMARA HORIZONTAL					
hc=2.61m Hi=7.2m					
1	0.0254	0.85	1.416E-05	0.00051	0.02795
1/2	0.0127	0.85	1.416E-05	0.00013	0.11178

Fuente: La autora

CUADRO 3. Cálculo de pérdidas por accesorios en la succión

ITEM	K			V ² /(2g)			hf accesorios		
	2 CA	1 CA	CH	2 CA	1 CA	CH	2 CA	1 CA	CH
Entrada a la tubería de 2"	0.50			0.00001			0.00001		
Entrada a la tubería de 1"		0.50	0.50		0.00028	0.00004		0.00014	0.0000 2
Reducción gradual de 1"	0.15			0.06682			0.01002		
Unión o junta de 1"		0.40	0.40		0.00028	0.00004		0.00011	0.0000 2

Válvula globo abierta de 1"	10.00	10.00	10.00	0.06682	0.00028	0.00004	0.66823	0.00285	0.00040	
Tee de salida bilateral de 1"	1.80	1.80	1.75	0.06682	0.00028	0.00004	0.12028	0.00051	0.00007	
Codo redondeado 90° de 1"	0.25	0.25		0.06682	0.00028		0.01671	0.00007		
Válvula de pie de 1"	1.75	1.75	0.40	0.06682	0.00028	0.00004	0.11694	0.00050	0.00002	
							SUMA:	0.9322	0.0042	0.0005

Fuente: La autora

CUADRO 4. Cálculo de pérdidas por accesorios en la descarga

ITEM	K			V2/(2g)			hf accesorios			
	2 CA	1 CA	CH	2 CA	1 CA	CH	2 CA	1 CA	CH	
Válvula check de 1"	2.75	2.75	2.75	0.000174	0.000285	0.000040	0.00048	0.00078	0.00011	
Tee de salida bilateral de 1"	1.80	1.80		0.000174	0.000285		0.00031	0.00051		
Reducción gradual a 1/2"	0.15	0.15	0.15	0.002777	0.004554	0.000637	0.00042	0.00068	0.00010	
Válvula globo abierta de 1/2"	10.00	10.00		0.002777	0.004554		0.02777	0.04554		
Junta o unión de 1"			0.4			0.000040			0.00002	
Junta o unión de 1/2"	0.40	0.40		0.002777	0.004554		0.00111	0.00182		
Entrada a la tubería de 1/2"	0.50	0.50	0.50	0.002777	0.004554	0.000637	0.00139	0.00228	0.00032	
Salida de tubería de 1/2"	1.00	1.00	1.00	0.002777	0.004554	0.000637	0.00278	0.00455	0.00064	
							SUMA:	0.0343	0.0562	0.0012

Fuente: La autora

CUADRO 5. Pérdidas por accesorios totales

Perdidas por accesorios		
2 CA	1 CA	CH
0.9664	0.0604	0.0017

Fuente: La autora

CUADRO 6. Cálculo de pérdidas por longitud en la succión

L (m)			hf longitud		
2 CA	1 CA	CH	2 CA	1 CA	CH
6.00	9.20	12.20	0.0000032	0.00025774	4.77978E-05
3.20			0.0000547		

Fuente: La autora

CUADRO 7. Cálculo de pérdidas por longitud en la descarga

L (m)			hf longitud		
2 CA	1 CA	CH	2 CA	1 CA	CH
18.00	18.00	22.00	0.0098413	0.01613694	1.64715E-10

Fuente: La autora

CUADRO 8. Cuadro resumen de pérdidas por longitud y accesorios

hf accesorios			hf longitud		
2 CA	1 CA	CH	2 CA	1 CA	CH
0.966	0.0604	0.0017	0.010	0.0164	0.00005

Fuente: La autora

CUADRO 8. Pérdidas totales en el sistema

arrietes	hc	Hi	q(L/min)	hf
2 CA	3.7	12.8	1.77	0.976
1 CA	2.1	8.8	2.27	0.0768
CH	2.61	7.2	0.85	0.0017
			Suma=	1.055

Fuente: La autora

BIBLIOGRAFÍA

- 📖 CLAUDIO MATAIX, Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, 2da Edición, México. 1982
- 📖 IRVING H. SHAMES, Mecánica de Fluidos, 3era. Edición., Mc. Graw Hill 1995.
- 📖 PHILIP M. GERHART, RICHARD J. GROSS, JOHN I. HOCHSTEIN, Fundamentos de la Mecánica de Fluidos. 2da. Edición., Addison-Wesley Ibero Americana 1995.
- 📖 BRUCER R. MUNSON. DONALD F. YOUNG. THEODORE H. OKIISHI, Fundamentos de Mecánica de Fluidos.. Limusa Wiley. 1999
- 📖 HOLGER BENAVIDES MUÑOZ (2006, 2009), Hidráulica I, Apuntes de clase.
- 📖 HOLGER BENAVIDES MUÑOZ, investigaciones sobre arietes.

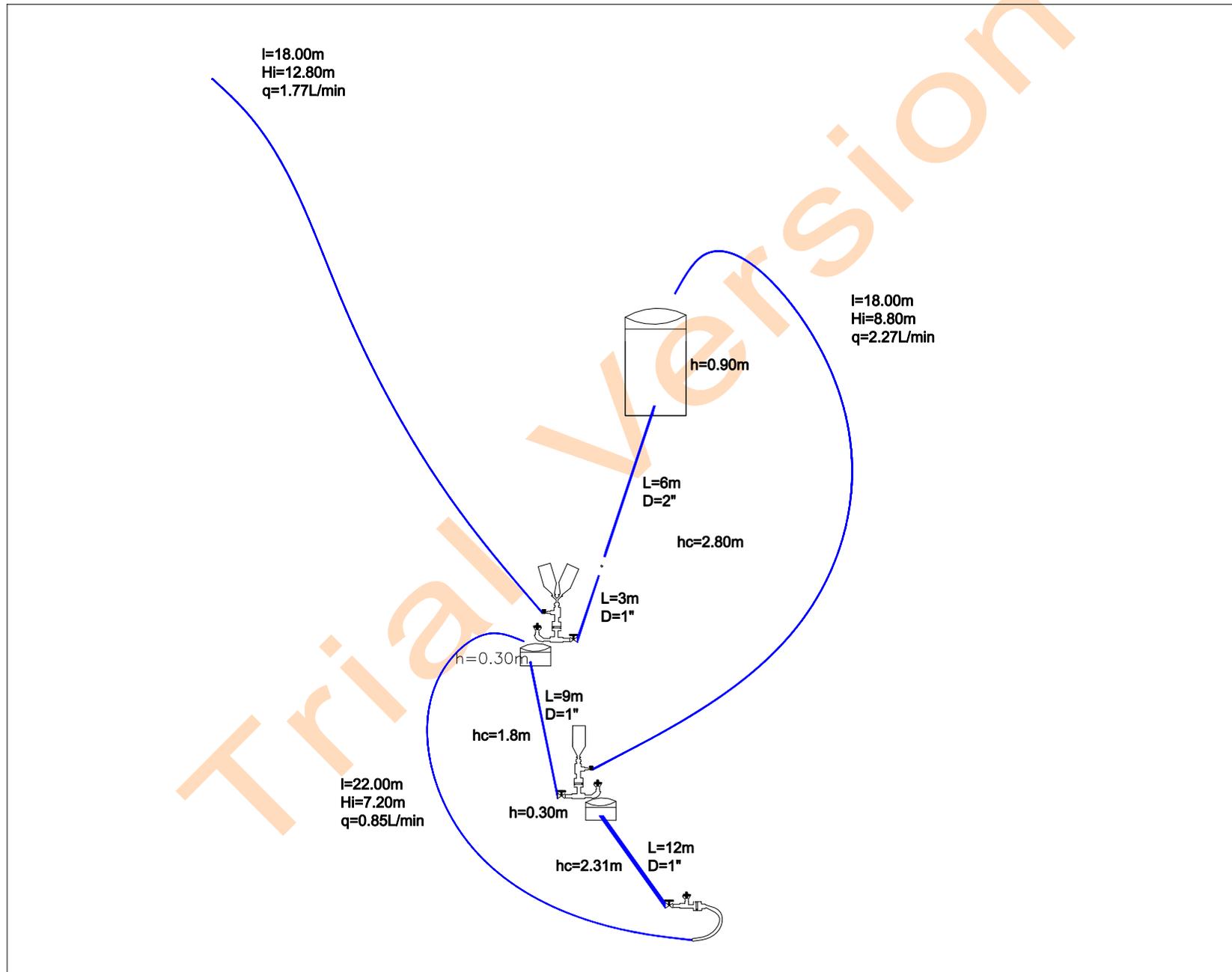
LINKS

- e La osa, asociación de vida natural y consiente: Bioconstrucción, <httpwww.laosa.orgrevista9bioconstruccion9.htm>, consulta diciembre 2008, página activa.
- e Asociación T.I.A.C/San Lorenzo (Navarra), ingesol@jet.es, consulta diciembre 2008, página activa.
- e Larrosa Alejandro Montesinos. Escritor y periodista. Ingeniero Mecánico. Director de la Editorial CUBASOLAR y la revista Energía y tú, e-mail: editora@cubasolar.cu, consulta diciembre 2008.
- e Gallardo Quiñones Leopoldo. Ingeniero Agrónomo. Director del Centro Integrado de Tecnología Apropiada (CITA), e-mail: rhcita@esicm.cu, consulta diciembre 2008.
- e Garcés León José María. Ingeniero civil. Email: jomagale@yahoo.com, consulta hasta marzo 2009, correo activo.
- e Instalación de arietes hidráulicos de alta eficiencia. Dr. Raúl Izquierdo Pupo. Téc. Silvia Matos García, e-mail: rizquierdo@ismm.edu.cu, consulta Septiembre 2008.
- e Departamento de Tecnología, Universidad Nacional de Luján, Argentina. e-mail: rojagu@unlu.edu.ar, web page: <http://www.unlu.edu.ar/>, consultas Septiembre 2008.
- e Construcción de pequeñas bombas de ariete. Grupo de apoyo del sector rural. Pontificia Universidad Católica del Perú.

<http://www.pucp.edu.pe/invest/grupo/>, consulta Septiembre 2008, página activa.

CAPÍTULO VII. RESULTADO E INTERPRETACIÓN

1. Esquema de la instalación en serie



hc(m)	L(m)	l(m)	Hi(m)	q(L/min)
6,34	12	40	7	12,09
		45	8	9,32
		50	9	6,86
		55	10	1,85
		60,46	12,47	0,42

DATOS DE CAMPO							
Ariete de doble cámara de aire vertical							
NGPM	L(m)	l (m)	hc (m)	Ang. H (grados)	Hn (m)	t (min)	Qd (lt)
165	9	12	3,7	24,3	7	1,01	8,02
167		15			9	1,02	6,90
151		18			11	1,01	5,40
Ariete de cámara de aire vertical							
55	9	9	2,1	13,5	4	1,01	10,59
69		18			6	1,01	11,45
		7			1,01	10,88	
Ariete de cámara de aire horizontal							
60	12	12	2,61	12,5	3	1,02	9,16
53		22			4	1,01	9,73
		5			1,01	9,16	

Perdidas por accesorios. Coeficiente K

Item	K
Entrada en la tubería	0,5
Salida de tubería	1
Válvula globo abierta	10
Tee de salida bilateral	1,8
Codo redondeado de 90°	0,25
Valvula de derrame (pie)	1,75
Válvula check	2,75
Unión o junta	0,4
Reducción gradual	0,15

f (PVC) 0,0025

Pérdidas por accesorios y longitud

ARIETE DE DOBLE CÁMARA VERTICAL					
hc=3.7 m Hi=12.8 m					
D (pulg.)	D (m)	q(lt/min)	q(m3/s)	A(m2)	V=q/A (m/s)
2	0,0508	1,77	2,9571E-05	0,00203	0,01459
1	0,0254	1,77	2,9571E-05	0,00051	0,05836
1/2	0,0127	1,77	2,9571E-05	0,00013	0,23344
ARIETE DE CÁMARA VERTICAL					
hc=2.1 m Hi=8.8m					
1	0,0254	2,27	3,7866E-05	0,00051	0,07473
1/2	0,0127	2,27	3,7866E-05	0,00013	0,29892
ARIETE DE CÁMARA HORIZONTAL					
hc=2.61m Hi=7.2m					
1	0,0254	0,85	1,416E-05	0,00051	0,02795
1/2	0,0127	0,85	1,416E-05	0,00013	0,11178

1. Succión

perdidas por accesorios

ITEM	K			V2/(2g)	
	2 CA	1 CA	CH	2 CA	1 CA
Entrada a la tubería de 2"	0,5			1,0849E-05	
Entrada a la tubería de 1"		0,50	0,50		0,000284638
Reducción gradual de 1"	0,15			0,06682251	
Unión o junta de 1"		0,40	0,40		0,000284638
Válvula globo abierta de 1"	10,00	10,00	10,00	0,06682251	0,000284638
Tee de salida bilateral de 1"	1,80	1,80	1,75	0,06682251	0,000284638
Codo redondeado 90° de 1"	0,25	0,25		0,06682251	0,000284638
Valvula de pie de 1"	1,75	1,75	0,40	0,06682251	0,000284638

2. Descarga

perdidas por accesorios

ITEM	K			V2/(2g)	
	2 CA	1 CA	CH	2 CA	1 CA
Válvula check de 1"	2,75	2,75	2,75	0,000174	0,000285
Tee de salida bilateral de 1"	1,80	1,80		0,000174	0,000285
Reducción gradual a 1/2"	0,15	0,15	0,15	0,002777	0,004554
Válvula globo abierta de 1/2"	10,00	10,00		0,002777	0,004554
Jnta o unión de 1"			0,4		
Jnta o unión de 1/2"	0,40	0,40		0,002777	0,004554
Entrada a la tubería de 1/2"	0,50	0,50	0,50	0,002777	0,004554
Salida de tubería de 1/2"	1,00	1,00	1,00	0,002777	0,004554

Perdidas por accesorios		
2 CA	1 CA	CH
0,9664	0,0604	0,0017

perdidas por longitud

1. Succión

L (m)			hf		
2 CA	1 CA	CH	2 CA	1 CA	CH
6,00	9,20	12,20	0,0000032	0,00025774	4,77978E-05
3,20			0,0000547		

2. Descarga

L (m)	hf

Perdic
2 CA
0,0099

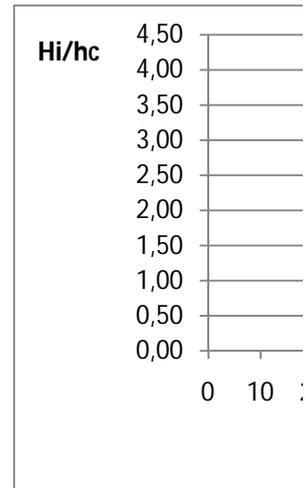
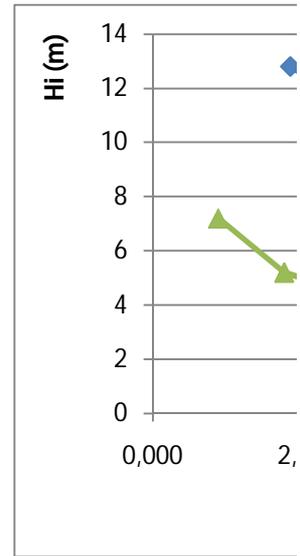
2 CA	1 CA	CH	2 CA	1 CA	CH
18,00	18,00	22,00	0,0098413	0,01613694	1,64715E-10

Pérdidas totales

hf accesorios			hf longitud		
2 CA	1 CA	CH	2 CA	1 CA	CH
0,966	0,0604	0,0017	0,010	0,0164	0,00005

arrietes	hc	Hi	q(L/min)	hf
2 CA	3,7	12,8	1,77	0,976
1 CA	2,1	8,8	2,27	0,0768
CH	2,61	7,2	0,85	0,0017
			Suma=	1,055

CALCULOS						
tical						
q (lt)	q (lt/min)	Qd (lt/min)	Q (lt/min)	Hi (m)	Hi/hc	n (%)
5,60	5,547	7,945	13,492	8,2	2,22	91,12
3,10	3,051	6,791	9,843	10,5	2,84	88,0
1,80	1,774	5,323	7,097	12,8	3,46	86,5
il						
5,60	5,522	10,442	15,964	4,9	2,33	80,71
2,90	2,875	11,352	14,227	7,8	3,71	75,06
2,30	2,272	10,747	13,019	8,8	4,19	73,13
tal						
2,86	2,818	9,016	11,833	4,2	2,00	38,32
1,72	1,697	9,611	11,308	5,2	2,48	29,89
0,86	0,850	9,062	9,911	7,2	3,43	23,65



	hf accesorios		
CH	2 CA	1 CA	CH
	5,425E-06		
3,981E-05		0,00014232	1,99E-05
	0,0100234		
3,981E-05		0,00011386	1,592E-05
3,981E-05	0,6682251	0,00284638	0,0003981
3,981E-05	0,1202805	0,00051235	6,966E-05
	0,0167056	7,1159E-05	
3,981E-05	0,1169394	0,00049812	1,592E-05
SUMA:	0,9322	0,0042	0,0005

	hf accesorios		
CH	2 CA	1 CA	CH
0,000040	0,00048	0,00078	0,00011
	0,00031	0,00051	
0,000637	0,00042	0,00068	0,00010
	0,02777	0,04554	
0,000040			0,00002
	0,00111	0,00182	
0,000637	0,00139	0,00228	0,00032
0,000637	0,00278	0,00455	0,00064
SUMA:	0,0343	0,0562	0,0012

Jas por longitud	
1 CA	CH
0,0164	0,00005

