

**IV CONGRESO LATINOAMERICANO DE  
ESTUDIANTES DE INGENIERÍA CIVIL**

**COLEIC, PANAMÁ 2007**

**CONCURSO DE PONENCIAS**

**APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA CINÉTICA  
DEL AGUA PARA SU PROPIA IMPULSIÓN, A BAJO  
COSTO, POR MEDIO DE UNA BOMBA DE ARIETE**

AUTOR:

Sivisaka González Jorge Vicente

ASESOR:

Benavides M. Holger, Ing.

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

## **APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA CINÉTICA DEL AGUA PARA SU PROPIA IMPULSIÓN, A BAJO COSTO, POR MEDIO DE UNA BOMBA DE ARIETE**

### **RESUMEN.**

Una alternativa económica y fácil de implantar en campo, para solucionar en parte el déficit de agua en zonas cuyas cotas del terreno son mayores que la de canales y cauces naturales (ríos o quebradas), es emplear la energía cinética del agua conducida en tubos a presión a través del trabajo de una bomba de ariete.

Para ello, se propuso proveer de sistemas alternativos de bajo costo, cuyo funcionamiento no incluya una elevada inversión inicial, tanto en la operación como en el mantenimiento, además que sea de fácil instalación y monitoreo; y, que asegure un servicio permanente. Mediante el aprovechamiento de la energía cinética del agua cuando está trasportándose en aducciones a presión se demostró que se puede abastecer del recurso vital a aquellas poblaciones situadas en lugares montañosos altos, con altitud de ubicación superior que las de algún curso normal de agua.

Mediante el aprovechamiento de la topografía y con la construcción de una bomba de ariete pudimos elevar agua de forma permanente, a costos iniciales, de operación y mantenimiento muy bajos.

### **1. INTRODUCCIÓN**

La desatención y abandono hídrico que viven ciertos grupos de campesinos, más la no inversión en sus huertos o fincas para abastecerlas de infraestructura de riego, junto con los elevados costos que conlleva la inserción de infraestructura de sistemas de riego colectivo para proveer a las fincas que se encuentran en cotas más elevadas que la de canales secundarios o terciarios, unido con el elevado costo inicial, de operación y mantenimiento para los sistemas de bombeo (motores eléctricos o de combustión); pues, la sumatoria de todos estos y otros costos económicos,

financieros y sociales, hacen que la producción agrícola y pecuaria de una parte de nuestros agricultores se encarezca considerablemente y con ello se genere más desempleo, migración e inestabilidad.

Una bomba de ariete hidráulico es una bomba impulsada por energía del agua que fluye por la cañería que la alimenta. Funciona continuamente, todo el día sin interrupción. No requiere electricidad ni otro combustible que la alimente. Así, no tiene costos operacionales ni causa contaminación al medio ambiente

Como resultado práctico mostramos una bomba de ariete construida, cuyo funcionamiento permitió deducir relaciones matemáticas experimentales entre la cota de elevación ( $h$ ) y el caudal de agua impulsado ( $q$ ), su relación con la altura de carga ( $H$ ) y del caudal ( $Q$ ) de ingreso a la bomba. También determinaremos, para cada caso, la variación de la eficiencia ( $\eta$ ) de la bomba de ariete construida.

## 2. OBJETIVOS

- Construir una bomba de ariete con una aducción de 1 pulgada y con impulsión de media.
- Medir caudales y cotas de impulsión generada por la bomba construida
- Calcular el rendimiento de la bomba de ariete.

## 3. HISTORIA DEL ARIETE HIDRÁULICO

El ariete hidráulico fue inventado en 1796 por Joseph Mantgolfier (1749-1810), con el tiempo cayó en desuso por la aparición en el mercado debido de la bomba centrífuga. No obstante hemos retomado este invento por su eficiencia, economía en la construcción y mantenimiento, bajo impacto ambiental negativo y por didáctica.

#### 4. DESCRIPCIÓN

**Figura 01. Modelo del ariete terminado**



El ariete hidráulico, es un dispositivo mecánico utilizado para impulsar parte del agua de un río, arroyo o manantial a una altura superior utilizando la propia energía cinética del agua con la que fluye, convertida en energía potencial. Para ello se requiere la disponibilidad de agua con flujo constante y un terreno con topografía adecuada.

La bomba de ariete funciona por el cambio de energía que se produce en la aducción producto del cierre brusco de la válvula ubicada a la salida del sistema. Los “*golpes de ariete*” se producen por variaciones muy rápidas de las condiciones de funcionamiento de una instalación (velocidad, presión).

#### **Golpe de ariete**

El fenómeno de golpe de ariete se produce como resultado de la perturbación que se genera cuando disminuye bruscamente la velocidad de un fluido a presión que circula por una tubería; motivado, en nuestro caso, por el cierre o abertura de una válvula.

Durante esta fluctuación brusca de la presión (incremento  $H$  de Joukowsky) se provocan deformaciones elásticas en el líquido y en las paredes de la tubería.

## 5. ECUACIONES PARA LOS CÁLCULOS DEL FENÓMENO

En el acumulador ingresará un volumen de agua, comprimiendo el aire que existe en su interior. Cuando el aire ha alcanzado su mínimo volumen por consecuencia de la compresión a la que se ha visto sometida al llenarse de agua el recipiente, entonces el agua estará sometida a la presión del aire y se expulsará del acumulador impulsada por éste. El aire alcanzará su volumen máximo y se expandirá nuevamente, disminuyendo su presión.

Dado que se trata de una compresión isoterma, tendremos que la variación de la presión y volumen del aire en el depósito obedece a la ley de los gases perfectos:

$$P_{t(1)}V_{t(1)} = P_{t(2)}V_{t(2)} \quad \text{Ec. 01}$$

**Donde:**

$P_{t(1)}$  – presión absoluta en el instante t (1)

$V_{t(2)}$  – volumen de aire en el instante t (2)

### 5.1 Celeridad

Es la velocidad de la onda generada por el golpe de Ariete cuya velocidad de propagación puede ser calculada por la conocida fórmula de Allievi, Ec 02.

$$a = \frac{\sqrt{\frac{E_o}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{E_o D}{E \delta}}} \quad \text{Ec. 02}$$

**Donde:**

$a$  – celeridad onda elástica del fluido en la tubería (m/s)

$E_o$  – módulo de elasticidad volumétrica del fluido (N/m<sup>2</sup>)

$\rho$  – densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

- $E$  – módulo de elasticidad del material de la tubería ( $N/m^2$ )
- $D$  – diámetro interior de la tubería (m)
- $\delta$  – espesor de la pared de la tubería (m)

## 5.2 Período en la aducción

$$T = \frac{2L}{a} \quad \text{Ec. 03}$$

**Donde:**

- $T$  – periodo en la aducción
- $L$  – longitud de la aducción
- $a$  – celeridad

## 5.3 Caída vertical

Es la diferencia de nivel desde el nivel de la superficie libre del agua en el tanque de inyección y el punto de derrame de la válvula check del ariete.

TABLA 1: Desniveles de los arietes

ARIETES	DESNIVEL
Ariete 1	3.23m
Ariete 2	3.23m
Ariete 3	6.80m

## 5.4 Interpretación del periodo de retro flujo

Asumiendo que la válvula de derrame se encuentra cerrada y se abre la válvula de descarga, entonces el flujo cambiará su sentido (en dirección al tanque de alimentación).

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

$$(t_{derrame} + t_{bombeo}) < t_{retroflujo} < T; V_{ingreso} < V < 0 \quad \text{Ec. 04}$$

Relacionando la velocidad en la tubería de alimentación ( $V_{ingreso}$ ) y el tiempo (t) se puede determinar el caudal de bombeo (q) y el caudal derramado ( $Q_{derrame}$ ) por la válvula de impulso.

$$q \cong C \left( \frac{A}{t} \right); \quad q \cong \left( \frac{\pi r^2}{t_{derrame} + t_{bombeo} + t_{retroflujo}} \right) \quad \text{Ec. 05}$$

$$Q_{entrada} = q + Q_{DERRAME} \quad \text{Ec. 06}$$

**Donde:**

- $r$  – radio interior de la tubería de alimentación en metros
- $t$  – tiempo en segundos de duración del ciclo.

## 5.5 Rendimiento

Para determinar el rendimiento de una bomba de ariete, utilizamos la fórmula de D’aubuisson, (Ec. 07).

$$\eta = \frac{q h}{Q H} \quad \text{Ec. 07}$$

## 5.6 Caudal trasegado

$$q = \frac{Q \times H \times e}{h} \quad \text{Ec. 08}$$

**Donde:**

- $Q$  – caudal de entrada
- $q$  – caudal bombeado
- $H$  – altura de caída
- $h$  – altura de impulsión
- $e$  – eficiencia

**5.7 Energía cinética**

La energía cinética y con ella la capacidad de bombeo depende de la altura de alimentación y la cantidad de agua en el conducto de impulsión. Cuanto mayor es la cantidad de agua que fluye en el conducto de impulsión, más abrupta resulta la interrupción y mayor es la energía de choque.

**6. ENSAYOS DE CAMPO CON EL ARIETE CONSTRUIDO**

**Cuadro 01. Datos de ariete 1**

h	Wimp.	t(s)	GPM	Wderra	H(m)	had.	h(m)
12.00	0.90	105.00	365.00	9.50	0.80	0.80	8.00
8.00	1.90	120.00	300.00	10.17	3.96	0.75	4.00

Variables utilizadas en el cuadro:

- Wimp - volumen impulsado
- Wderra- volumen derramado
- GPM - golpes por minuto
- H - carga en la aducción
- had. - altura promedio entre la base del depósito y la superficie libre del agua
- h - altura al nudo de impulsión

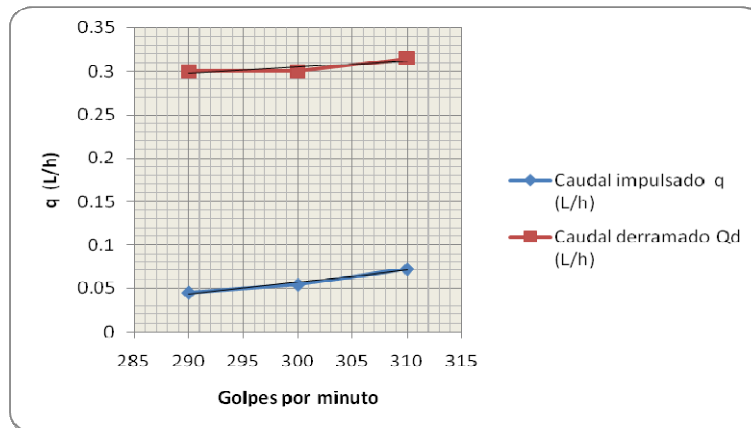
**Cuadro 02. Datos de ariete 1.- caudales y rendimiento**

q (L/s)	Qd (L/s)	q (L/h)	Qd (lt/s)	Qent (m3/h)	$\eta$
0.03	0.09	0.1107	0.3260	0.437	70.41%
0.02	0.02	0.0570	0.0570	0.114	14.04%

VARIABLES UTILIZADAS EN EL CUADRO:

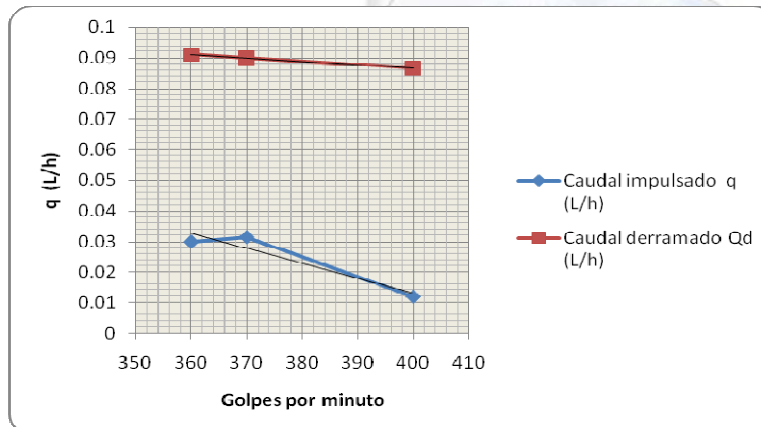
- q - caudal trasegado (impulsado)
- Qd - caudal derramado
- Qent - caudal inyectado en el ariete

**Figura 02. Relación: golpes por minuto versus caudal impulsado (h=8m)**



En este caso la carga sobre el ariete es en promedio de 3.96 m. El punto de impulsión está ubicado a 8 m sobre la cota del punto de derrame del ariete.

**Figura 03. Relación: golpes por minuto versus caudal impulsado (h=12m)**



En este caso la carga sobre el ariete es en promedio de 3.95 m. El punto de impulsión está ubicado a 12 m sobre la cota del punto de derrame del ariete.

## 7. CONCLUSIONES

1. El estudio realizado ha permitido formular las ecuaciones del principio teórico del ariete hidráulico y su comprobación experimental.
2. El diseño de la válvula de impulsión es hidrodinámico lo cual disminuye la resistencia hidráulica, incrementa el flujo, provoca un aumento de la intensidad del choque hidráulico y se prolonga el tiempo de bombeo.
3. La presente investigación satisface las expectativas planteadas inicialmente, tras el cumplimiento de una impulsión gratuita en lo que respecta a gasto energético y permanente siempre que exista el flujo requerido.

