

GOLPE DE ARIETE

I.1.OBJETIVO

- Determinar la altura de elevación, el caudal elevado y eficiencia de una bomba de ariete.

I.2.INTRODUCCIÓN

El ariete hidráulico es una máquina que aprovecha únicamente la energía de un pequeño salto de agua para elevar parte de su caudal a una altura superior; provocando cierres bruscos continuos en el circuito que provocan sobrepresiones, las cuales son aprovechadas para mandar parte del caudal a una gran altura. Una bomba de ariete hidráulico es un tipo de bomba de agua que es particularmente interesante para el desarrollo de aplicaciones en el mundo, debido a su fácil construcción, operación y mantenimiento (PEÑARRIETA, 2009, p5). Se utiliza sólo la dinámica pasiva de los sistemas hidráulicos (no hay electricidad o la energía convencional) para bombear el agua, ideal para aquellas regiones donde no existe suministro eléctrico o donde el uso de energía convencional resulta costoso.

Este ariete corresponde a una bomba de chorro de agua que actúa por choque. La bomba levanta agua empleando la fuerza que se genera cuando una masa de agua en movimiento se detiene repentinamente. Este fenómeno se conoce con el nombre de golpe de ariete y se produce por la transformación de energía cinética en energía de presión. Lo que se hace con la bomba de ariete es llevar una parte de un caudal grande de agua con poca caída a una cota mayor (ACITORES, 2012, p13).

El ariete debe estar ubicado en un lugar en el cual se puedan escoger dos puntos en la fuente de aprovechamiento entre los cuales exista una diferencia de alturas (cota). La distancia entre estos dos puntos dependerá de la pendiente del cauce o la topografía del terreno donde se vaya a ubicar el ariete, de esta forma el agua llegará de forma natural al ariete y la que no se bombee podrá retornar a su cauce original (PEÑARRIETA, 2009, p6). El punto de instalación debe permitir la ubicación de cimientos y una plataforma que soporte la vibración. Además el lugar debe ser bien drenado.

El caudal y cargas disponibles en la tubería de salida están sujetos al caudal y carga disponibles a la entrada del ariete. La entrada del ariete es la que determina la condición de la energía en la tubería de entrada, es decir la cantidad de energía cinética que se va a poder transformar en energía potencial mediante el cierre brusco y apertura de unas válvulas que producirán repetidamente el golpe de ariete (ACITORES, 2012, p13). La repetición de este fenómeno genera un incremento en la carga piezométrica en la descarga que permite llevar el agua del ariete a otro punto de cota superior.

Para obtener una mayor energía, se debe aumentar la masa en la tubería y para esto el ariete se deberá ubicar más cerca al segundo punto, es decir lo más lejos posible de la toma. La descarga se hace por un canal sencillo y no es necesario utilizar tubería. La diferencia de altura entre la toma y el ariete debe ser por lo menos un metro. En la toma se debe instalar una criba (malla) en el extremo de la tubería de captación y esta debe quedar por lo menos 30 cm por debajo de la superficie del agua y 10 cm por encima del fondo, esto con el fin de no transportar sedimentos que puedan atascar la bomba de ariete (PEÑARRIETA, 2009, p10).

I.3.EQUIPO

TecQuipment H31 Hydraulic Ram Pump, Hydraulic Bench H1D.



Fuente: Propia

Fig. 1 Montaje experimental de la bomba de ariete

Otros elementos

Cronómetro

Descripción de la instalación

Este aparato está diseñado para aprovechar la energía obtenida mediante el golpe de ariete como medio para bombear un fluido. El efecto del golpe de ariete es creado por el impulso producido por el movimiento de una columna de agua en una tubería (energía cinética), este movimiento es restringido abruptamente, lo que genera sobrepresiones dentro de la tubería, y a su vez estas sobrepresiones son utilizadas para sacar ventaja a la bomba de ariete hidráulico, la cual convierte las sobrepresiones través de un mecanismo (válvulas) en potencia mecánica para elevar o bombear el agua (JIMÉNEZ, s.f., p2).

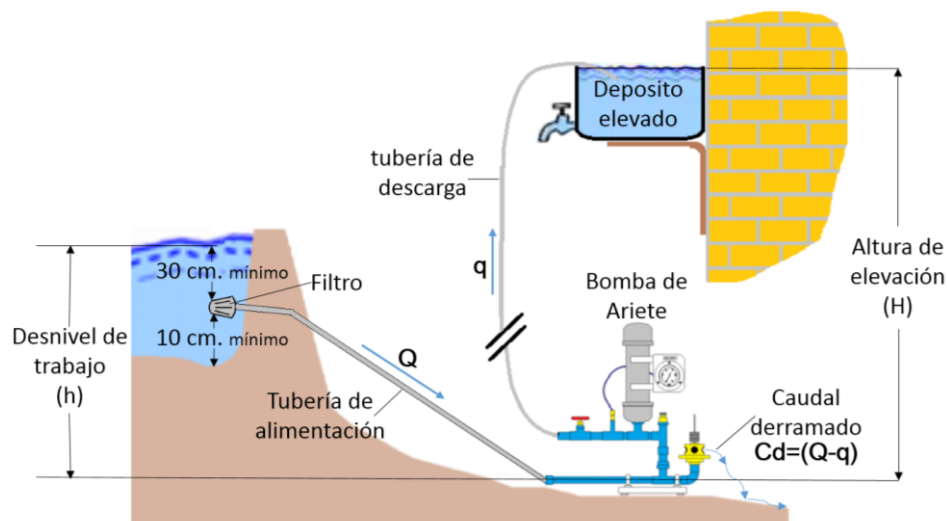
La bomba de ariete no es una bomba normal operada mecánicamente. Una columna de agua en la tubería de suministro (conducción) moviéndose a baja velocidad es similar a un pistón. La energía en el pistón fuerza el agua del suministro en una tubería de entrega (PEÑARRIETA, 2009, p10).

I.4.MARCO TEORICO

El agua se conduce a la caja de válvulas del ariete. La caja de válvulas contiene dos válvulas automáticas, una válvula de descarga que abre hacia abajo y otra de suministro que abre hacia arriba. Encima de esta última hay una cámara de aire en cuya base se encuentra la tubería de suministro. Con la válvula de suministro cerrada existe un flujo continuo por la válvula de descarga. Si la válvula de suministro se cierra intempestivamente se desarrollan presiones por el golpe de ariete que obligan a la válvula de suministro a abrirse permitiendo la entrada de algo de agua a la tubería de salida (PEÑARRIETA, 2009, p10). Una vez llegue la onda de presión negativa de la toma, la válvula de suministro se cierra y la de descarga se abre automáticamente. Entonces se produce un flujo de agua gradualmente acelerado a través de la válvula de descarga que ocurre hasta que la fuerza neta ejercida hacia arriba en la válvula supera su peso y en ese momento esta se cierra para comenzar un nuevo ciclo. La cámara de aire sirve como amortiguador de flujo en la tubería de salida reduciendo las fluctuaciones (RESTREPO, s.d.).

El ariete funciona de la siguiente forma, ver Fig. 2 para un mejor entendimiento. El agua llega a la toma desde la fuente y de allí se hace circular por caída natural en una tubería que la conduce hacia el ariete, el diámetro de la tubería de entrada debe ser en todo caso mayor al de la salida. La válvula de descarga que se encuentra abierta por su propio peso se cierra con el empuje del agua como se explicó anteriormente. Con el cierre de ésta se produce el golpe de ariete en la bomba y obliga a la válvula de suministro a abrirse. Se fuerza el agua a través de esta a la cámara de aire. Una vez amortiguada la sobrepresión por la entrada del agua a la cámara de aire, se cierra la válvula de suministro y se abre la de descarga permitiendo una vez más el comienzo de un nuevo ciclo. Una válvula roncadora o de admisión de aire, que no aparece en el diagrama, admite aire para que la cámara de aire reponga el aire que absorbe el agua en el bombeo (esta se muestra en la Fig. 3), (RESTREPO, s.d.).

Se puede repetir este procedimiento de 40 a 200 veces por minuto dependiendo de las características del ariete; esta iteración genera una presión en la cámara de aire que llega a ser suficiente para bombear el agua hasta la cota deseada donde se encuentra el depósito (PEÑARRIETA, 2009, p11).



Fuente: Propia

Fig. 2 Funcionamiento del ariete hidráulico

La cantidad de agua que puede ser elevada por el ariete está dada por la ecuación:

$$q = \frac{Q * n}{(H/h)}$$

Donde

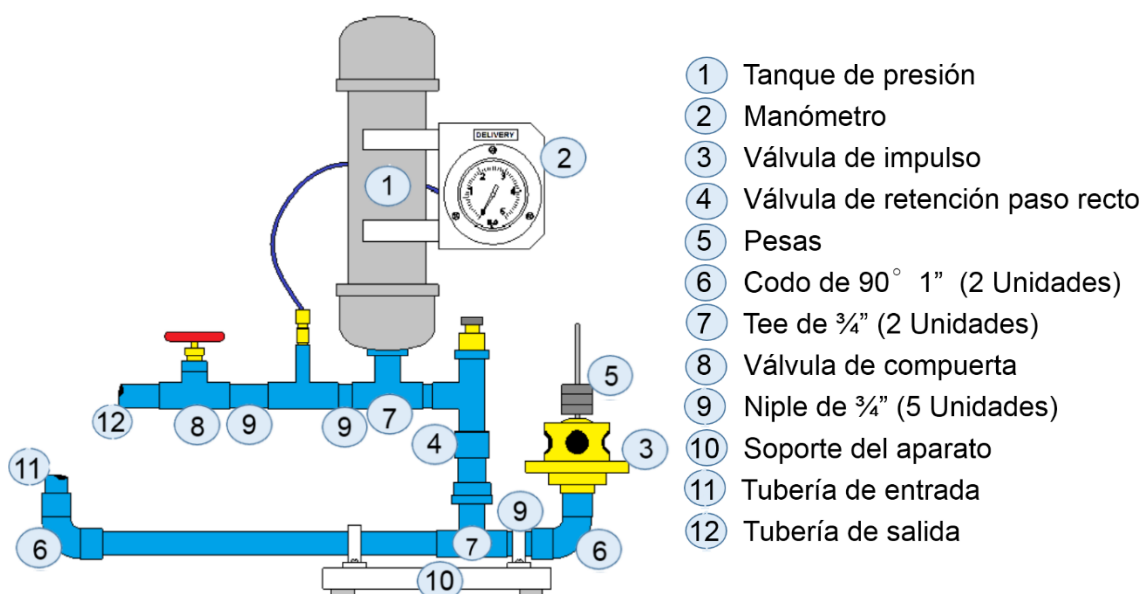
q = Caudal a elevar (l/min)

Q = Caudal mínimo para operar el aparato (l/min)

h = Altura de caída (m)

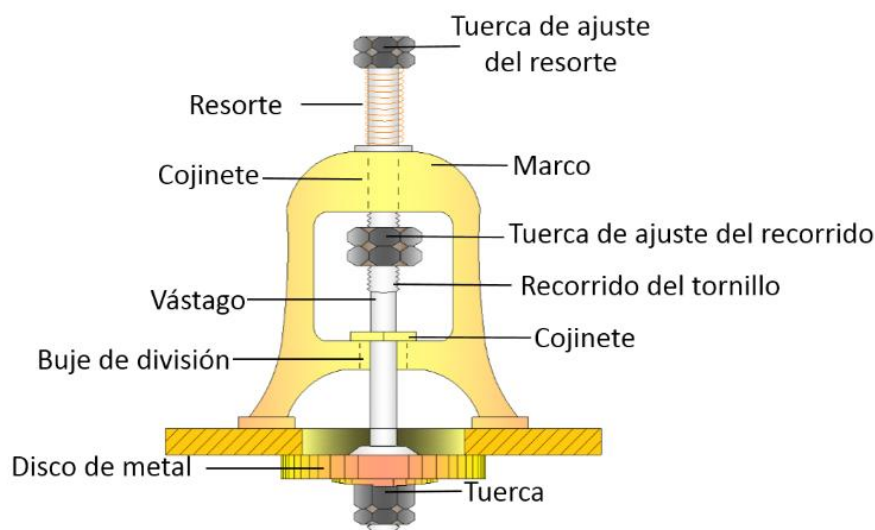
H = Altura de elevación (m)

n = Eficiencia o rendimiento del aparato (varía con la relación H/h)



Fuente: Propia
Fig. 3 Detalles del ensamblaje

La válvula de descarga, también llamada válvula de ímpetu o válvula de impulso es la más importante en el funcionamiento del ariete. Es la parte más sensible y depende de su diseño y ajuste que el bombeo se efectúe bien. Se deben tomar en cuenta el área de la válvula, su peso y el del eje, contra peso ajustable, ajuste del largo del recorrido y que no haya fricción en los rodamientos del eje. Las combinaciones correctas de estos parámetros darán una velocidad máxima de flujo de agua hacia fuera y un veloz cierre de esta en el momento correcto. Se recomienda que el contra peso ajustable sea un resorte y no un peso. El peso de la válvula debe ser justamente el que permita que la válvula caiga en el momento que el sistema alcance el equilibrio (PEÑARRIETA, 2009, p12).



Adaptado de:

<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/flujoentuberias/elarietehidraulico/arietehidraulico.html>

Fig. 4 Válvula de descarga

Esta válvula se oprime manualmente hacia abajo para que el ariete comience a funcionar. Se hace varias veces, y si no funciona el recorrido no está bien ajustado; este se debe cambiar para optimizar el funcionamiento.

El ariete no utiliza toda el agua proveniente de la tubería de entrada. Su eficiencia puede ir desde 20 hasta 70 o 90% en algunos casos y depende de la relación entre la cota de la toma y la cota de suministro, con el nivel de referencia en el aparato. La eficiencia es directamente proporcional al valor de esta relación, es decir inversamente proporcional a la altura a la que se va a suministrar el agua. Un ariete puede por ejemplo tomar 379 l/min con una caída de 3m y suministrar 38 l/min a una cota de 20m o 379 l/min con caída de 1.5m y llevar 3.8 l/min a una cota de 75m (RESTREPO C., s.d.).

Cuando el suministro de agua se debe efectuar en un tramo muy largo el ariete también debe vencer las pérdidas por fricción y las locales; estas deben ser tomadas como parte de la elevación de suministro (RESTREPO C., s.d.).

I.5.PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- a. El montaje experimental de la bomba de ariete se conecta al banco hidráulico, el cual simulará el desnivel de trabajo (h), y es que aporta la energía cinética para producir el golpe de ariete (por cuestión de espacio y movilidad el montaje de la bomba de ariete no se conecta a una conducción real de suministro de gran longitud y altura).
- b. Se conecta la manguera de suministro del banco hidráulico hacia la bomba de ariete y conecta la manguera salida hacia tanque elevado (la manguera de salida es la más cercana a llave de paso).
- c. Se procede encender el banco hidráulico. Después abrir gradualmente la válvula del banco que controla el caudal y se dejar fluir algo de agua, esto con el fin de purgar el sistema.
- d. Abrir la llave de paso, subir y bajar el eje con la mano varias veces, hasta que el ariete se estabilice a un ritmo de 1 a 2 golpes por segundo. Se puede variar el recorrido del eje subiendo o bajando el contrapeso y el peso de éste.
- e. A cada golpe de ariete el agua pasa al depósito donde se presuriza el aire. Este volumen de aire hace fluir el agua con continuidad por la manguera de elevación.
- f. Después tomar mediciones del caudal descargado (q) con la ayuda del depósito elevado y el caudal derramado (Cd) con la ayuda del Banco Hidráulico, en ambas ocasiones con ayuda del cronometro.
- g. Adicionalmente se tiene que registrar la cabeza disponible con la ayuda del manómetro con la que cuenta la bomba de ariete.
- h. Contabilizar el número de golpes de la válvula de derrame en un minuto.
- i. Registrar la longitud de la manguera del caudal de elevación ($L_{Tub.descarga}$).
- j. Repetir el mismo procedimiento para diferentes caudales.

I.6.CALCULOS

El desnivel de trabajo (h) simulado por el banco hidráulico está en función de la velocidad (energía cinética) que le imprime la bomba centrífuga con la que cuenta el banco hidráulico, tenemos:

$$h = \frac{V^2}{2 * g}$$

y términos del caudal, se obtiene:

$$h = \frac{\left(\frac{Cd + q}{A}\right)^2}{2 * g}$$

donde:

h = Altura de caída o desnivel de trabajo (m)

q = Caudal a elevar (l/min)

Cd = Caudal de desperdicio del ariete (l/min)

A = Área de la tubería antes del ariete (m²)

g = Aceleración de la gravedad

Estando consientes que el caudal de derrame (Cd) es parte del agua que se pierde entre el caudal de suministro (Q) y el caudal elevado (q), tenemos:

$$Cd = (Q - q)$$

Despejando el caudal de suministro (Q), se obtiene:

$$Q = Cd + q$$

La altura de elevación (H), es la altura total que debe vencer la bomba para elevar el agua, pero adicionalmente se tienen que tener en cuenta las pérdidas por fricción ($H_{\text{pérdidas}}$) en la tubería para un cálculo más exacto y seguro.

$$H = H_{\text{pérdidas}} + H_{\text{Altura de elevación}}$$

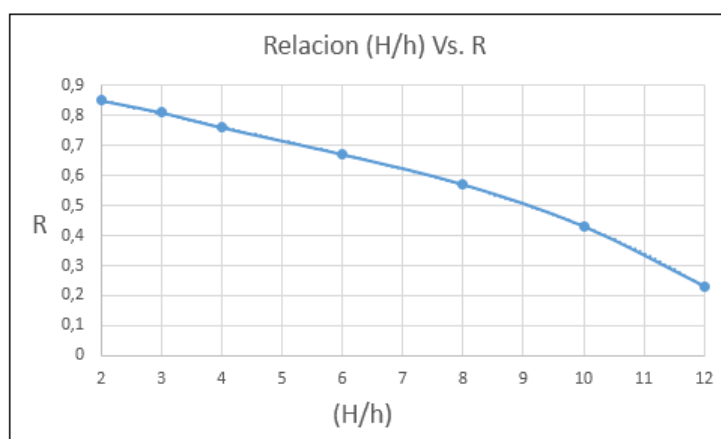
Asumiendo que $H_{\text{pérdidas}}$ será el 10% de la longitud de la tubería de descarga, entonces:

$$H_{\text{pérdidas}} = 0,1 * L_{\text{Tub. descarga}}$$

El rendimiento del ariete se determina entre el cociente entre el producto del caudal elevado (q) por la altura de elevación (H) a un depósito, sobre el producto del caudal de suministro (Q) por el desnivel de trabajo (h), esto representa cuánta agua se puede elevar con el ariete en relación al total del agua que pasa a través del ariete.

$$R = \frac{q * H}{Q * h}$$

Rendimiento o eficiencia (R): El rendimiento del ariete hidráulico varía en función del cociente H/h (altura de elevación/desnivel de trabajo). Al aumentar el valor resultante, el rendimiento disminuye; en la siguiente grafica se aprecia como varía el rendimiento energético.



Gráfica 1. Relación experimental (H/h) Vs. R

Adaptado de: Pérez R., H. (2011) "Guías para prácticas de laboratorio mecánica de fluidos".

El rendimiento no debe superar más de 12 veces el desnivel de trabajo.

Caudal elevado (q): depende del rendimiento (R), el caudal de alimentación (Q), el desnivel de trabajo (h) y la altura de elevación (H). La ecuación por la que se relacionan es la siguiente:

$$q = \frac{Q * R}{(H/h)}$$

Por ejemplo Q (caudal de alimentación) = 100 litros/minuto; h (desnivel de trabajo) = 3 metros; H (altura de elevación) = 24 metros. La relación $H/h = 8$, luego el rendimiento del ariete en estas condiciones equivale al 57% (0.57).

Caudal elevado:

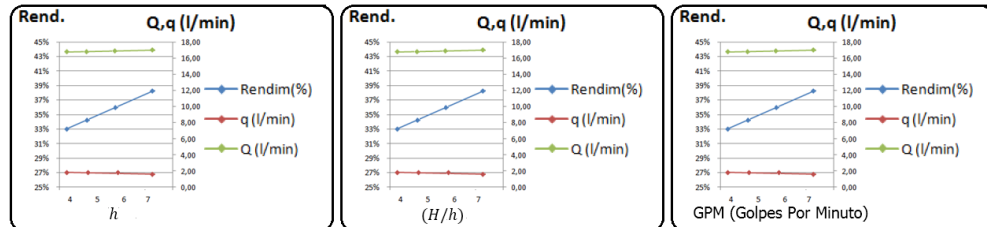
$$q = \frac{Q * R}{(H/h)} = \frac{100 \text{ l/min} * 0,57}{\left(\frac{24 \text{ m}}{3 \text{ m}}\right)} = 7,125 \text{ l/min}$$

El ángulo de inclinación del tubo de alimentación (α) debe estar entre los 10° y 45° con la horizontal. El caudal de alimentación del ariete dependerá del diámetro de dicho tubo de acometida.

I.7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

1. ¿Qué sugerencias tiene para mejorar el aparato?
2. Realice los cálculos descritos anteriormente con los datos experimentales obtenidos.
3. compare los resultados de eficiencia teóricos y experimentales, comente por qué razón son diferentes.
4. Realice graficas doble eje relacionado R, Q, q ; en función de la relación (H/h) , h y GPM (Golpes Por Minuto), discuta la tendencia de las curvas para cada uno de

los gráficos. Comente si son razonables o no, explique brevemente.



- Calcular la potencia de la bomba de ariete y realice un cuadro comparativo entre la bomba de ariete y otros tipos de bombas, analizando parámetros como: potencia, costo de construcción, costo mantenimiento, operarios, combustible, eficiencia, contaminación (auditiva, uso de lubricantes), entre otros.
- Describa el flujo en régimen transitorio en una conducción a presión.
- ¿Qué es el pulso de Joukowsky o de Allievi?
- Describa los principales dispositivos para el control de los transitorios hidráulicos (volantes de inercia, válvulas de retención, chimeneas de equilibrio, calderines de aire, ventosas, válvulas de alivio, válvulas reguladoras de presión, etc.)

I.8.BIBLIOGRAFÍA

DÍAZ J., (2013) "Guías para prácticas de laboratorio mecánica de fluidos", Universidad Santo Tomás.

PEÑARRPETA R., (2009) Bombas de Ariete Hidráulico 1", Energías renovables para el desarrollo agrícola productivo, Bolivia, adaptado de: [http://javaagricola.wikispaces.com/file/view/Peque%C3%B1as Bombas Ariete hidraulico %20v.%201.0.pdf](http://javaagricola.wikispaces.com/file/view/Peque%C3%B1as+Bombas+Ariete+hidraulico+%20v.%201.0.pdf), Fecha de recuperación: 28 de julio 2014.

ACITORES J., (2012), Estudio teórico y experimental de la bomba de ariete, UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID, Madrid (España), adaptado de: <http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/14685>, Fecha de recuperación: 30 de julio 2014.

RESTREPO C., El ariete hidráulico, Escuela de Ingeniería de Antioquia, adaptado de: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/flujoentuberias/elarietehidraulico/arietehidraulico.html>, Fecha de recuperación: 31 de julio 2014.

JIMÉNEZ J., EL ARIETE HIDRÁULICO, Taller de Investigación Alternativa, con el soporte de fundación Tierra, adaptado de: http://www.terra.org/data/ariete_super.pdf, Fecha de recuperación: 28 de julio 2014.