

Parámetros de Operación de Ariete Hidráulico Monopulsor con Válvulas de Retención

Operating Parameters of Onepulce Hydraulic Ram with Check Valves

Héctor Luis Laurencio Alfonso¹, Enrique Torres Tamayo², Marcelo Fabián Salazar Corrales³,
Yoalbis Retirado Mediaceja⁴

RESUMEN:

El diseño propuesto parte del análisis de los parámetros de funcionamiento de los arietes hidráulicos para su óptima operación. El estudio realizado ha permitido formular las ecuaciones del principio teórico del ariete hidráulico monopulsor y su comprobación experimental. Se formuló el sistema de ecuaciones del principio teórico-experimental del ariete hidráulico considerando la relación entre las variables: flujo volumétrico de carga, flujo volumétrico de pérdida y flujo volumétrico de bombeo, altura de carga y de descarga, relación de flujo y número de golpes por minuto de la válvula de impulso. Se modificó la válvula de impulso empleando una válvula de retención, donde se obtuvieron mejoras significativas del rendimiento volumétrico, alcanzando un valor máximo de 72,24 %; el número de golpes varía entre 77 y 99 golpes por minuto. Las mejores condiciones de trabajo se obtuvieron para el valor de flujo volumétrico de 0,22 m³/h, correspondiéndose a la altura de descarga de 2,8 m. Se realizó una valoración considerando el costo equivalente para 24 horas de trabajo del ariete donde se indican las ventajas económicas de la utilización del equipo para el bombeo de agua.

Palabras Clave: ariete hidráulico; rendimiento volumétrico, rendimiento hidráulico, rendimiento de Rankine.

Recibido 04 de marzo del 2017; revisión aceptada 18 de abril 2017

¹ Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador, hector.laurencio@utc.edu.ec

² Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador, enrique.torres@utc.edu.ec

³ Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga, Ecuador, mfsalazar@espe.edu.ec

⁴ Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba, yretirado@ismm.edu.cu

ABSTRACT:

The proposed design starts from the analysis of the operating parameters of the hydraulic ram pump for their optimum operation. The study has allowed formulating the equations of the theoretical principle of the onepulce hydraulic ram and its experimental verification. The system of equations of the theoretical-experimental principle of the hydraulic ram was formulated considering the relation between the variables: volumetric flow of charge, volumetric flow of loss and volumetric flow of pumping, discharge and discharge height, flow rate and number of strokes per minute of the impulse valve. The impulse valve was modified using a check valve, where were significant improvements in volumetric efficiency are achieved, reaching a maximum value of 72.24%; the number of blows varies between 77 and 99 blows per minute. The best working conditions were obtained for the volumetric flow value of 0.22 m³ / h, corresponding to the discharge height of 2.8 m. A valuation is made considering the equivalent cost for 24 hours of work of the ram that indicates the economic advantages of the use of the equipment for the pumping of water.

Keywords: hydraulic ram; volumetric performance, hydraulic performance, Rankine performance.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las mayores aplicaciones de las fuentes renovables de energía, es la utilización de la energía hidráulica, aprovechada mediante el empleo de máquinas diseñadas con estos fines.

La bomba de ariete hidráulico es una máquina de construcción y funcionamiento muy sencillo y de bajo costo; esta máquina aprovecha la elevada presión generada por el fenómeno conocido como “golpe de ariete hidráulico” para impulsar un fluido a una altura superior de su altura inicial [1].

Por el bajo costo de construcción, costo de operación cero y muy baja contaminación (no se utiliza ningún tipo de energía ni combustible, fuera de la fuerza del fluido) se considera que este equipo puede ser utilizado en casi toda actividad donde el caudal inicial de fluido no sea un problema o pueda ser reciclado [2].

La idea para la fabricación del ariete monopulsor con válvulas de retención modificadas surge por la necesidad de introducir prácticas de laboratorio, relacionadas con sistemas de bombeo por gravedad para la creación de habilidades en estudiantes, lo que se ha dificultado por la falta de equipamientos de laboratorio.

El objetivo se centra en evaluar los parámetros de trabajo del ariete monopulsor fabricado; contribuyendo en este sentido a la realización de investigaciones y prácticas docentes, analizando los rendimientos teniendo en cuenta las modificaciones de la válvula de impulso.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ariete hidráulico, en su versión convencional, es un equipo pesado, voluminoso y relativamente costoso. Además, su utilización queda limitada a condiciones específicas donde se debe disponer de un caudal de agua constante y un desnivel suficiente para lograr la potencia deseada [1] [2].

De los tipos de válvulas de impulso empleadas en los arietes hidráulicos, pocas se han diseñado para actuar sobre un mecanismo de resorte, lo que ha solucionado la mayoría de los problemas del bajo rendimiento hidráulico y volumétrico [3].

El ariete hidráulico monopulsor propuesto, consiste en la sustitución de la única válvula de impulso de los arietes convencionales por una válvula de paso modificada (figura 1), la que se regula en dependencia de determinadas condiciones de instalación para aprovechar mejor los caudales disponibles, aumentando la potencia y los rendimientos.



Figura 1. Válvula de paso modificada para impulso.

La modificación de la válvula permite una baja relación entre la velocidad máxima del agua en el sistema y la velocidad del agua al momento del cierre de las válvulas, con un mínimo de contra impulso para su abertura automática, lo que permite reducir el largo y el diámetro del tubo de impulso. También aporta la ventaja de la reducida necesidad de amortiguación en la magnitud de inyección de agua en la cámara de aire, por lo que puede reducirse su volumen.

El funcionamiento del ariete hidráulico depende de muchas variables y es difícil pensar en reglas absolutas, pues es una máquina muy versátil. Con la fabricación de este tipo de bombas se ha logrado establecer parámetros que nos permiten construir eficientemente este tipo de instalaciones [4] [5].

Parámetros de operación de Ariete Hidráulico Monopulsor con válvulas de retención

2.1. Procedimiento para evaluar el rendimiento

Por definición, el rendimiento está dado por la relación entre la potencia útil entregada en la descarga (N_u) y la potencia recibida (absorbida) del agua de alimentación (N_b) [1] [4].

$$\eta = \frac{N_u}{N_b} \cdot 100. \quad (1)$$

El rendimiento de un ariete puede considerarse desde dos puntos de vistas: analizando el primer punto de vista obtenemos la llamada relación de rendimiento de D'Aubuisson. Considerando solamente el cuerpo del ariete entonces la potencia entregada en la descarga será, [1] [4]:

$$N_u = q \cdot H_i \cdot g \cdot \rho; [w]. \quad (2)$$

Donde: q - caudal de bombeo; (m^3/s). H_i - altura de impulsión; (m).

Siendo:

$$H_i = h_d + \sum h + h_i. \quad (3)$$

Para la cual: h_d - diferencia de nivel; (m). $\sum h$ - sumatoria de pérdidas hidráulicas; (m).

h_i - pérdidas inerciales; (m). g - aceleración de la gravedad; (m/s^2). ρ - densidad del agua; (kg/m^3).

$$N_b = (Q + q) \cdot H_a \cdot g \cdot \rho. \quad (4)$$

Siendo: Q - caudal derramado por la válvula de impulso; (m^3/s). $Q + q$ - caudal de alimentación; (m^3/s). H_a - altura de alimentación; (m).

Sustituyendo la ecuación 2.26 y 2.24 en la 2.23, se obtiene:

$$\eta = \frac{q \cdot H_i}{(Q + q) \cdot H_a} \cdot 100. \quad (5)$$

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

$$N_u = q \cdot (H_i - H_a) \cdot g \cdot \rho. \quad (6)$$

$$N_b = Q \cdot H_a \cdot g \cdot \rho. \quad (7)$$

Entonces:

$$\eta_R = \frac{q \cdot (H_i - H_a)}{Q \cdot H_a} \cdot 100. \quad (8)$$

El **rendimiento volumétrico** es la relación entre el caudal de alimentación ($Q + q$) y el de descarga (q) [2] [3].

$$\eta_v = \frac{q}{Q + q} \cdot 100. \quad (9)$$

Mediante el análisis de estos rendimientos, se puede determinar la cuantía de eficiencia del ariete, y comparar en qué medida se ha mejorado en este diseño, con relación a otros.

2.2. Técnica experimental

Los resultados de estudio del ariete, se obtuvieron de la investigación experimental, donde se determinó el régimen de trabajo del ariete, una vez instalado con las modificaciones propuestas para evaluación del desempeño de la válvula de impulso. La experimentación se realizó con agua para diferentes niveles de altura de carga y de impulso [6]. Se comprueba para cada combinación la relación de los rendimientos de operación, de Ranquine y volumétrico. En la figura 2, se muestra el ariete instalado para las pruebas planificadas.



Figura 2. Esquema de instalación del ariete hidráulico monopulsor.

En la experimentación se emplearon diferentes instrumentos y técnicas, garantizándose la correcta selección de los mismos, con los cuales se obtienen los datos para la evaluación. Los medios empleados se dan según la tabla 1.

Tabla 1. Medios e instrumentos empleados en la experimentación.

Medio	Variable a Medir	Unidad de Medida
Cinta métrica	Altura de carga, longitud de tuberías y mangaras, nivel de los tanques.	m
Pie de rey	Dimensiones de las tuberías, válvulas y codos.	mm
Cronómetro	Tiempo de cierre de válvula de impulso, tiempo de trabajo.	s
Probeta graduada	Volumen de agua perdido por la válvula de impulso y de descarga.	dm ³
Bandeja plástica	Recolección del agua de derrame por la válvula de impulso.	Unidad
Cubo	Recolección del volumen de agua entregado a la descarga.	Unidad
Manómetro	Medición de presión de trabajo.	kPa

Para la experimentación se pone en funcionamiento el ariete, una vez instalado en el área de operación. Se realiza un experimento con una réplica para cada nivel de altura de carga, para garantizar mejor precisión en los resultados.

3. ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL ARIETE MONOPULSOR

Determinación del régimen de trabajo

Una vez conocida la rugosidad relativa, se determinó el factor de fricción. El análisis parte de los datos obtenidos de manera experimental, resultados que se indican en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados experimentales de flujo y altura de descarga del ariete.

H_{imp} (m)	Q_{imp} (l/min)			Q_{imp} Promedio	$Q_{pér}$ (l/min)	Q (m ³ /h)
5,75	0,85	0,86	0,85	0,85	0,49	0,05
5	1,6	1,85	1,62	1,69	1,00	0,10
3,9	2,4	2,15	2,15	2,23	1,50	0,13
2,8	3,6	3,7	3,6	3,63	2,20	0,22
1,7	5,3	5,2	5,3	5,27	3,20	0,32
0,8	6,8	6,7	6,8	6,77	2,60	0,41

Para el análisis de los resultados mostrados en la tabla 2, se hace necesario la interpretación gráfica de relación entre variables, donde se parte de la interacción entre la altura de carga y el flujo volumétrico, según se indica en la figura 3.

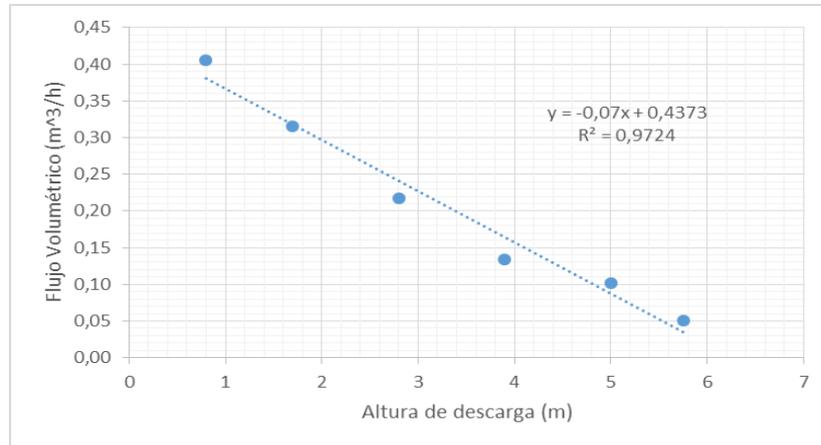


Figura 3. Relación entre el flujo volumétrico y la altura de carga.

Según la tendencia observada en la figura 3, existe una relación inversa entre el flujo volumétrico y la altura de carga, comportamiento asociado al incremento de las pérdidas hidráulicas y volumétricas que se originan en las válvulas y los demás componentes de ariete. Con el aumento de la altura se incrementa la resistencia de descarga, lo que realiza oposición al paso del agua por el sistema de descarga, al mismo tiempo se disminuye la cantidad de cierres de la válvula y aumenta el flujo de pérdida por la válvula de impulso. Se obtiene que para la altura de descarga de un metro se alcanza un flujo volumétrico de 0,354 m³/h.

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

$$Q = -0,07 \cdot Hd + 0,4373. \quad (10)$$

Comportamiento operativo de la válvula de impulso

El diámetro de salida de la válvula de impulsión es de 0,0254 m, en cuanto se recomienda por la literatura que esta debe ser igual o aproximado al diámetro de la tubería forzada.

El caudal de pérdida en la válvula se relaciona con la altura de carga, donde se observa un comportamiento inversamente proporcional, según se rige el comportamiento mostrado en la figura 4.

Por otra parte se hace necesario la estimación de esta pérdida, para la adecuada evaluación del ariete en cuanto a su rendimiento.

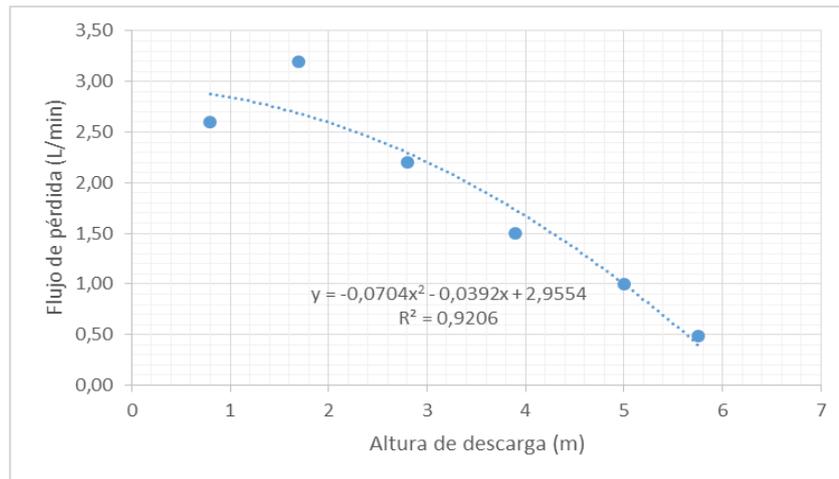


Figura 4. Relación entre el flujo volumétrico de pérdida y la altura de carga.

Con los resultados del comportamiento mostrado en la figura 4, se obtiene la ecuación mediante la cual se podrá estimar el flujo volumétrico de pérdidas en la válvula de impulso, ajustada para un coeficiente de regresión múltiple de 92 % (ecuación 11).

$$Q_{per} = -0,0704 \cdot Hd^2 - 0,0392 \cdot Hd + 2,9554. \quad (11)$$

Se ha determinado que en la válvula la velocidad máxima de salida del agua es de 1,6 m/s; relacionado con esta magnitud, la presión dinámica en la válvula es de 1280 Pa. 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, en estas condiciones el valor calculado es de 8,64 N·m .

Con el incremento de la altura a la descarga, se obtuvo que la cantidad de golpes por minuto de la válvula de impulso aumenta paulatinamente; figura 5.

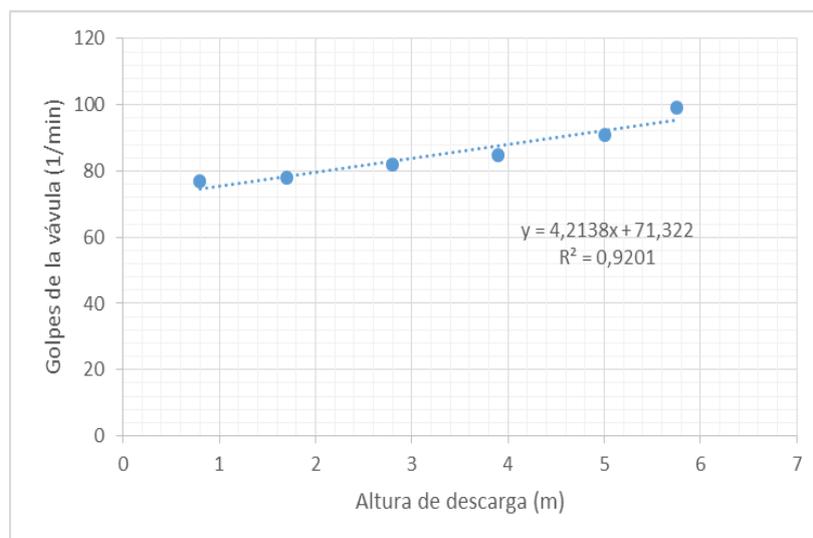


Figura 5. Comportamiento de los golpes de la válvula con el aumento de la altura de carga.

La expresión obtenida por la tendencia de los datos, relacionará el comportamiento de la variable, cantidad de golpes por minuto, particularizada para la válvula de compuerta modificada; resultado central y aporte de esta investigación, siendo:

$$Nu_{gol} = 4,2138 \cdot Hd + 71,322. \quad (12)$$

Para los resultados obtenidos, el número de golpes varía entre 77 y 99 golpes por minuto, resultados superiores a lo planteado por la teoría, siendo estos de 75 golpes por minuto, esto garantiza un mayor rendimiento del ariete.

Evaluación del rendimiento del ariete

Considerando que el ariete es una máquina de flujo, se plantea la definición de rendimiento hidráulico, el que está dado por la relación entre la potencia útil entregada en la descarga (N_U) y la potencia recibida (absorbida) del agua de alimentación (N_b). Varios criterios de rendimiento son aplicados a los arietes, encontrándose además del antes mencionado, el rendimiento volumétrico, el que define la relación entre el flujo entregado y el perdido, y el rendimiento de Rankine que aporta sobre el comportamiento ante la relación de alturas. En la tabla 3 se resume el comportamiento de dichos rendimientos, relacionándose estos con el flujo volumétrico.

Tabla 3. Relación de rendimientos de ariete con el flujo volumétrico.

$Q(m^3/s)$	η_H	η_{Ra}	η_v
0,000014	33,14	61,51	63,52
0,000028	35,18	67,12	62,82
0,000037	39,88	74,44	59,82
0,000061	42,26	78,22	62,28
0,000088	47,56	50,64	62,20
0,000113	54,18	40,55	72,24

El rendimiento hidráulico del ariete está dado por la relación entre la potencia útil entregada en la descarga (N_U) y la potencia recibida (absorbida) del agua de alimentación (N_b). Esta relación se manifiesta según la carga de trabajo para cada tipo de ariete en particular, en el caso tratado dicho comportamiento se manifiesta por la relación indicada en la figura 6.

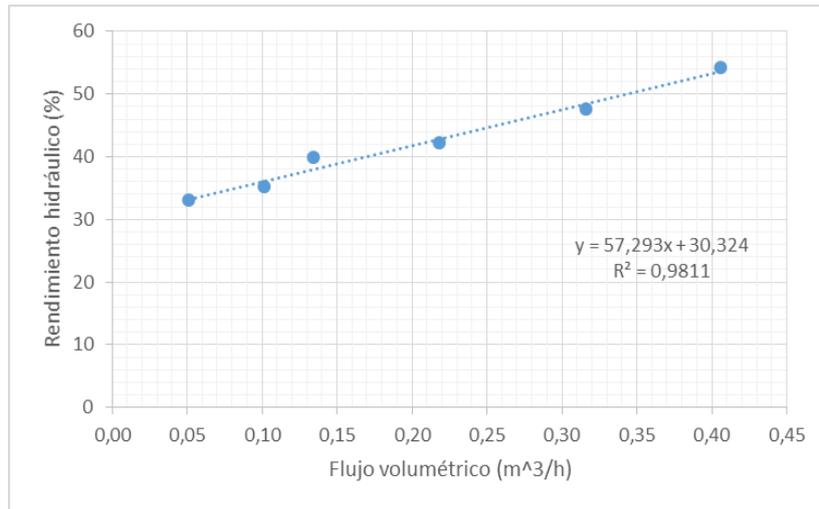


Figura 6. Relación del rendimiento hidráulico con el flujo volumétrico.

Del comportamiento observado se obtiene la relación que define los valores del rendimiento para distintos valores del flujo volumétrico, planteándose la ecuación 13.

$$\eta_H = 57,293 \cdot Q + 30,324. \quad (13)$$

Como se observa, el rendimiento hidráulico de ariete aumenta con el aumento del flujo volumétrico, desde el valor de 33,14 hasta 54,18 %, para el rango de flujo experimentado.

Desde otro punto de vista, se determina el rendimiento de Rankine. El mismo toma como referencia el nivel, donde se ha considerado la instalación como un todo. De esta manera se muestran las relaciones de la variable en su conjunto (figura 7).

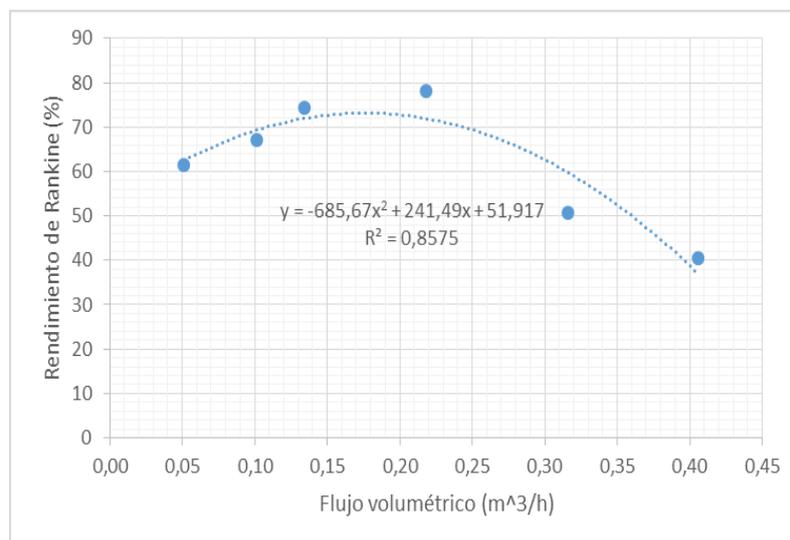


Figura 7. Relación del rendimiento de Rankine con el flujo volumétrico.

Según se indica en la figura, el rendimiento de Rankine muestra una tendencia en aumento hasta valores del flujo volumétrico de 0,20 m³/h, con un valor máximo de 78,22 %, por encima del valor de flujo antes mencionado, la tendencia es a disminuir, comportamiento

asociado a la relación entre la energía cinética del fluido y la potencial para la cual a partir de una altura de carga determinada aumenta el flujo de pérdida; dicho comportamiento se rige mediante el modelo propuesto (ecuación 14).

$$\eta_R = -685,67 \cdot Q^2 + 241,49 \cdot Q + 51,917 \quad (14)$$

El rendimiento volumétrico que es la relación entre el caudal de alimentación (Q + q) y el de descarga (q), da en qué medida se encuentra la relación de flujo de pérdidas. En la figura 8 se muestra la tendencia de la relación del rendimiento volumétrico con el flujo.

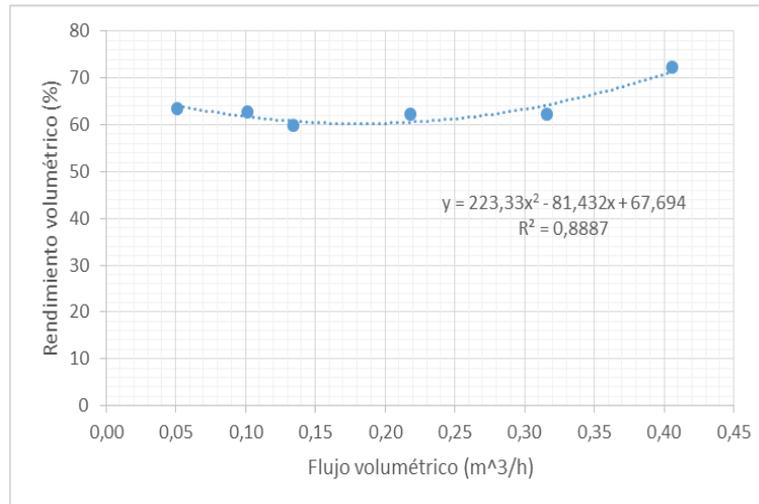


Figura 8. Relación del rendimiento volumétrico con el flujo volumétrico.

Hasta el límite de flujo de 0,2 m³/h, el comportamiento del rendimiento volumétrico es ligeramente decreciente, en lo adelante el mismo aumenta alcanzando un valor máximo de 72,24 %, resultados favorables relacionados con las modificaciones realizadas a la válvula de impulso; para estimar los valores de este se recomienda el empleo de la ecuación 14, obtenida en esta investigación.

$$\eta_v = 223,33 \cdot Q^2 - 81,432 \cdot Q + 67,694 \quad (14)$$

Del análisis de los rendimientos se deduce que las mejores condiciones de trabajo de ariete se obtienen para el valor de flujo volumétrico de 0,22 m³/h, correspondiéndose a la altura de descarga de 2,8 m; para estas condiciones se alcanza un rendimiento total de 20,59 %.

4. CONCLUSIONES

El estudio realizado ha permitido formular las ecuaciones del principio teórico y experimental del ariete hidráulico monopulsor; para el mismo se ha considerado la relación entre las siguientes variables: flujo volumétrico de carga, flujo volumétrico de pérdida y flujo volumétrico de bombeo, altura de carga y de descarga, relación de flujo y número de golpes por minuto de la válvula de impulso.

Parámetros de operación de Ariete Hidráulico Monopulsor con válvulas de retención

Se obtienen mejoras en el pulso y rendimiento del equipo mediante el uso de una válvula de paso modificada para válvula de impulso. El comportamiento del rendimiento volumétrico aumenta alcanzando un valor máximo de 72,24 %, resultados favorables relacionados con las modificaciones realizadas a la válvula de impulso.

En la válvula de impulso modificada, el número de golpes varía entre 77 y 99 golpes por minuto, resultados superiores a lo planteado por la teoría, siendo estos de 75 golpes por minuto, lo que garantiza un mayor rendimiento operacional del ariete.

Del análisis de los rendimientos se deduce que las mejores condiciones de trabajo de ariete se obtienen para el valor de flujo volumétrico de 0,22 m³/h, correspondiéndose a la altura de descarga de 2,8 m; para estas condiciones se alcanza un rendimiento total de 20,59 %.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Douglas, «Tecnología de las energías: Solar, hidráulica, geotérmica y combustibles químicos.,» de *Energías alternativas*, Madrid, 2007.
- [2] M. Ayala, «Diseño y construcción de un ariete hidráulico Multipulsor,» UPL, Loja-Ecuador, 2005.
- [3] M. Shuaibu, «Design and Construction of a Hydraulic Ram Pump,» *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, vol. 4, n° 11, pp. 59-70, 2007.
- [4] J. Krol, «The Automatic Hydraulic Ram,» *Inst. Mech. Eng. Proc*, Londres, 1957.
- [5] J. Tacke, *Arietes Hidráulicos. Investigación comparativa*, Delf-Suiza.: Investigación comparativa, 1985.
- [6] N. Manilín y O. Ramiro, «Evaluación de los Recursos Hidroenergéticos en Pequeña Escala.,» ISMM, Moa, 2004.