

BOMBA DE ARIETE. MANEJAR RECURSOS HIDRICOS DE MISIONES CON TECNOLOGIA ADECUADA.

E. Barney¹, A. Kerkhoff², L. Corrado³, M. Barbaro⁴.

Grupo de Energías Renovables de Misiones (GERM), Alma Fuerte 4571. Posadas 3322. Tel. 0376-4466897.

Universidad Nacional de Misiones (U.Na.M.) Facultad de Ingeniería - Oberá Misiones

Tel. 03755-422169 – Fax 03755-422170E-mail: kerkhoffjavier@hotmail.com

RESUMEN: La bomba de ariete desarrollada, fue construida en el marco del contrato de trabajo con el INTI, realizado en el año 2011, en el que participaron el Ing. E. Barney y el Ing. A. Kerkhoff. El objeto de la investigación que genera este proyecto, es el nuevo diseño y desarrollo de la válvula de ariete, elaborada con materiales resistentes a la corrosión y al desgaste. La válvula se construyó en el taller del técnico José Moniec; como así también la construcción general de la bomba utilizando materiales disponibles en ferreterías de la zona. Se presentan los resultados en términos de: 1) las características de diseño y construcción; 2) la curva de rendimiento resultante de las pruebas realizadas en el laboratorio; 3) las recomendaciones para obtener su mejor prestación. El nuevo diseño troncocónico de la válvula favoreció al buen funcionamiento, logrando alcanzar el rendimiento del 60%.

Palabras clave: bomba de ariete, válvula de ariete, rendimiento, laboratorio, recomendaciones.

INTRODUCCIÓN

La bomba de ariete es uno de los artefactos más antiguos conocidos para el bombeo de agua, utilizado especialmente en zonas de grandes desniveles geográficos. Fue inventada en el año 1796 por Joseph Montgolfier (Urkia Lus I et al. 2003). Por medio de esta bomba, se puede aprovechar un pequeño salto de agua bombeando en forma permanente parte de su caudal a un nivel más elevado de terreno. (Jeffrey T.D. et al 1992). Esta tecnología fue utilizada durante varias décadas en todo el mundo, pero con la difusión de la electricidad y otras tecnologías fueron disminuyendo su aplicación.

Misiones dispone de un gran potencial hídrico susceptible de ser aprovechado tanto para la producción de energía como para el almacenamiento y la provisión de agua. Sus innumerables relieves cubiertos de bosques, permiten disponer todavía de numerosas vertientes de agua. Muchos inmigrantes utilizaron las bombas de ariete durante las primeras décadas del siglo XX, éstas fueron construidas en los talleres locales siendo que éstos trabajadores contaban con una gran cultura técnica. Los antecedentes en los que se basa la propuesta de diseño y construcción de la bomba de ariete presentada en el presente proyecto, fueron las experiencias desarrolladas a partir de 1980 para el programa provincial de “Granjas Integrales”, y otras iniciativas por parte del IFAI -Instituto de Fomento Agroindustrial de la Provincia de Misiones, en el marco de las cuales se construyeron e implementaron numerosos arietes, bajo la responsabilidad del Ing. Barney de la Facultad de Ingeniería, y el Taller “LA ENERGETICA” del Técnico José Risko. No obstante, en la actualidad no se producen bombas de ariete en Misiones, las que se pueden adquirir, en algunos locales comerciales, se fabrican en otros lugares del país o se importan del Brasil.

Desde la década de 1970, los integrantes del grupo GERM- Grupo de Energía Renovable de Misiones, vienen trabajando con la población rural en diferentes proyectos de utilización de las energías renovables para mejorar las condiciones de vida y los esfuerzos productivos de la población rural. Durante más de tres décadas, en el marco de las actividades de investigación de la Facultad de Ingeniería de Oberá, se implementaron microcentrales hidroeléctricas (microturbinas), bombas de ariete, cocinas, gasificadores de leña para el secado de granos, maderas y otros productos, molinos de viento y otras tecnologías destinadas a mejorar la calidad de vida y las actividades de los pequeños productores agropecuarios. El objetivo de estos emprendimientos fue desarrollar la capacidad de captar la energía de las fuentes renovables y aprovecharla ventajosamente a la producción doméstica e industrial en pequeña escala.

Actualmente, se vienen desarrollando en la provincia una serie de actividades que reanudan discusiones e iniciativas en torno a la generación de energía mediante fuentes renovables. En el año 2008, se sancionó la Ley N°4439 declarando de interés provincial la investigación, el desarrollo, la generación y el uso sustentable de energías alternativas y con la Ley XVI- N° 97 (ex Ley Provincial N°4439), se crea el Consejo Ejecutivo y Consultivo de Energías Renovables, Biocombustibles e Hidrógeno incentivando la utilización de fuentes renovables en todo el territorio de Misiones.

La escases de agua, debida a las consecuencias de los cambios climáticos y al incremento de las sequías, impone el cuidado del agua, priorizando obras de canalización y almacenamiento y la implementación de tecnología apropiada de bombeo de agua, no solamente para las viviendas rurales sino también para las huertas, plantaciones y otras necesidades productivas de la zona rural.

^{1,2} GERM Grupo de Energías Renovables de Misiones.
^{2,3,4} U.Na.M - Facultad de Ingeniería

La bomba de ariete objeto de análisis y evaluación del presente proyecto, fue diseñada y construida bajo la dirección del Ing. Erik Barney en el año 2011, en el marco de un contrato de trabajo realizado con el INTI -Instituto Nacional de Tecnología Industrial-, en el que participaron el Ing. E. Barney y el Ing. A. Kerkhoff. La nueva válvula de ariete diseñada se construyó en el taller del técnico José Moniec de la ciudad de Oberá, otros se adquirieron en el mercado local.

Los ensayos y pruebas de campo fueron realizados por todos los participantes en el presente proyecto, estudiantes de la Facultad de Ingeniería de Oberá de la U.Na.M (Universidad Nacional de Misiones) e investigadores del grupo GERM – originado en la U.Na.M como proyecto multidisciplinario.

El propósito fundamental de este trabajo es aprovechar las capacidades de una tecnología en desuso, “las bombas de ariete hidráulico”, mediante una propuesta de diseño y construcción accesible a la población rural local, describir los materiales y detalles de construcción y las características de los accesorios necesarios para su correcto funcionamiento. Además se pretende evaluar su prestación para diferentes configuraciones posibles de instalación, buscando que sea competitiva con respecto a las demás bombas disponibles en el mercado. Los datos de los ensayos experimentales se construyeron en base a mediciones cuantitativas, luego de probar varios modelos alternativos de mejoras. También se detallan una serie de recomendaciones para mejorar su utilidad, producto de la experiencia en la construcción, ensamble, instalación, mantenimiento y capacitación a productores y colonos.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO

La construcción del ariete se basó en elementos de fontanería disponibles en la zona, cumpliendo con la condición de facilitar el montaje y por ende también el mantenimiento, todo esto en función de un costo viable.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA DE ARIETE

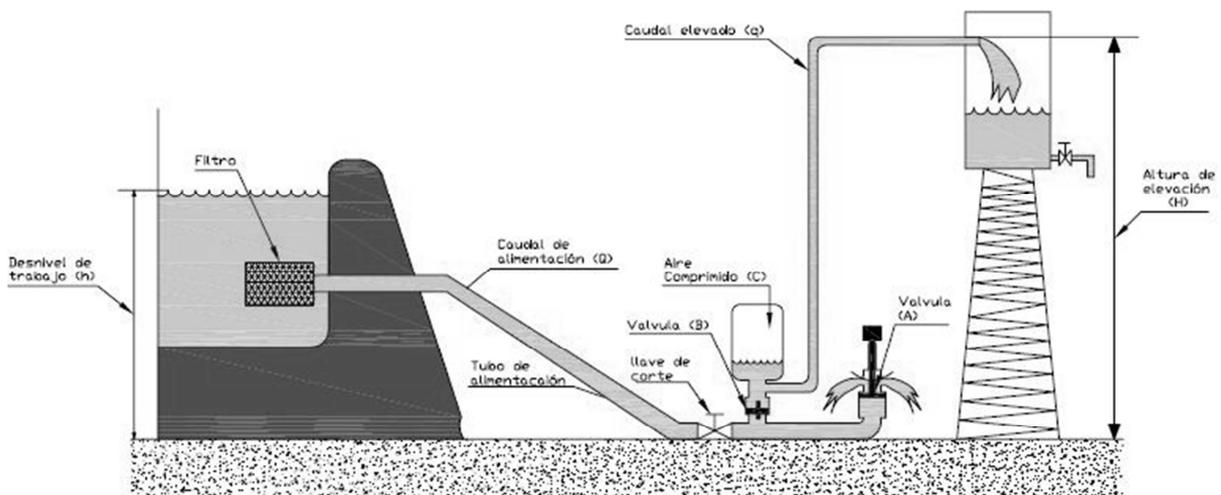


Figura N°1: Esquema de Instalación de la bomba de ariete hidráulico.

La bomba de ariete es un artefacto que utiliza la energía cinética del agua, en una tubería forzada, para levantar una porción de la misma a una altura superior a la disponible. Estas bombas entregan agua continuamente, sin el uso de energía eléctrica u otra energía, con el mínimo mantenimiento.

El bombeo de agua de un ariete consiste de un pequeño estanque o tajar, una cañería de alimentación con filtro, dos válvulas, un tubo de presión y una cañería de elevación a la vivienda. Todas las bombas de ariete funcionan por la interacción de dos válvulas en un determinado ciclo, ver figura N°1. La primera válvula se denomina “válvula de ariete (A)” dado así por el fenómeno físico conocido como “golpe de ariete”, cuando se produce un incremento de la presión interna en una tubería como consecuencia de un cierre repentino al paso del agua dentro de la misma. Debido al incremento de la presión por cierre brusco de la válvula de ariete, permite accionar la segunda válvula (B) presurizando la cámara de presión. Cuando la presión es equilibrada se cierra la segunda válvula, y la primera válvula cae por efecto de su peso, repitiéndose el ciclo. La altura de elevación (H) del caudal suministrado por la bomba de ariete, es de diez veces la altura de funcionamiento (h).

Como dato a tener en cuenta los arietes funcionan con un ciclo aproximado de un golpe por segundo, frecuencia que disminuye cuando la tubería de alimentación es más larga. El tubo de presión de aire permite un mejor funcionamiento de las dos válvulas dando un caudal de bombeo continuo.

Cuando la presión es muy elevada el aire es absorbido por el agua introduciéndose dentro del tubo, provocando la necesidad de purgar el mismo aproximadamente una vez por mes. Para evitar este problema, se puede realizar un pequeño orificio de dos milímetros de diámetro antes de la válvula (B). Esto permite la entrada de una burbuja de aire en cada golpe del ariete. En algunos casos se puede colocar una goma inflada o algunas pelotas de tenis dentro del tubo de presión.

COMPONENTES

Las partes que componen a la bomba de ariete para su construcción y montaje, son elementos que se pueden conseguir en cualquier ferretería, los cuales se detallan en la tabla N°1. En la tabla se muestran los elementos y las cantidades respectivamente, su ensamble se puede apreciar en la figura N°5; en forma separada se enumeran los accesorios y cantidades para determinar las condiciones más favorables para el correcto funcionamiento in situ, su rendimiento y pautas esenciales para el mantenimiento o verificación por posibles averías o fallas.

ELEMENTOS	Cantidad	ACCESORIOS	Cantidad
Válvula Antiretorno 0,038m	1	Unión doble H-H 0,0508m	2
Codo H-H 90° 0,0508m	1	Nipples M-M 0,0508m	1
Codo H-H 45° 0,0508m	1	Llave PVC 0,0508m	1
Nipples M-M 5	3	Canilla esférica PVC 0,019m	1
TEE H-H 0,0508m	1	Manómetro baño de glicerina	2
Filtro	1	TEE H-H 0,019 m	1
Arandela de Caucho	1		
Válvula Ariete	1		
Tubo de Acero	1		
Pintura Epoxi			
Pegamento y tornillos para su fijación.			
Chapa p/base 0,20x0,20x0,012m			

Tabla N° 1: Resumen de los elementos y accesorios que componen la bomba de Ariete hidráulico.

Seguidamente se describan las partes esenciales:

Cañería de alimentación y filtro:

El tamaño del tubo o cañería de alimentación dependerá del diámetro de entrada de la bomba de ariete. Para el modelo presentado se recomienda utilizar cañerías de PPN de 0,0508 m, que en comparación con los del tipo galvanizado suelen tener un costo muy inferior. En casos de arietes más grandes como de 0,075m se pueden utilizar los caños de escapes de camiones ya que no hay en el mercado caños de plástico económicos. Los tubos de plásticos deben ser suficientemente robustos o de pared gruesa (bicapa) para evitar su dilatación con el funcionamiento del ariete.

Por lo general no es conveniente una tubería de alimentación mayor que cuatro veces la altura del salto (h) de funcionamiento. Es decir que no se puede pretender el funcionamiento de un ariete con una tubería de alimentación muy extensa (200m), debido a que se obtiene una gran pérdida de rendimiento y con un régimen muy lento de pulsos. Para lograr la menor pérdida por fricción, se considera, en su elección, una relación entre la longitud de la cañería y su diámetro dentro del rango de 150 a 1000.

Una solución para longitudes de tuberías de alimentación extensas (más de 10 veces la altura de elevación), es la disposición en proximidades (6-10m) de la bomba de ariete de un caño denominado chimenea de equilibrio. Este caño reduce el recorrido de la vena de aceleración del agua, permitiendo disminuir las pérdidas y aumentar el número de ciclos. Pruebas realizadas con tuberías muy largas tienen ciclos de 15 a 20 por minuto, es por ello que utilizaron la chimenea de equilibrio, se obtuvieron ciclos de 60 por minuto, (Scott L. 2000). Ensayos realizados en nuestro laboratorio para verificar el funcionamiento con la chimenea de equilibrio, arrojaron valores que no se alejaron de los datos que presentaremos más adelante, cabe remarcar que nuestras pruebas se limitaron a una longitud de alimentación de 12m, y el tubo se insertó a la mitad de dicha longitud.

Uno de los problemas más comunes en el funcionamiento de los arietes es la entrada de elementos extraños tales como: palos, hojas y sedimentos, esto se da debido a que no se dispone de un sistema de filtrado correcto. El mismo debe ser robusto y amplio para evitar su taponamiento cuando hay tormentas y aumenta el caudal de hojas y palos en el cauce del arroyo. Sus dimensiones recomendadas son: entre 0,50 m de longitud y 0,2 m de diámetro. También se puede colocar sobre su superficie una malla tipo mosquitero para conseguir un mayor filtrado. Ver figura N°2.

En la tabla N°2 se muestra los parámetros esenciales para la elección de la cañería de alimentación que influirá directamente según su disponibilidad en la zona y el tamaño del ariete. Se limitan las longitudes mínima - máxima según pérdidas de carga en función de las ecuaciones de Darcy-Weisbach, y los saltos de agua mínimo-máximo a instalar según las condiciones del terreno. (Mataix C. 2004).

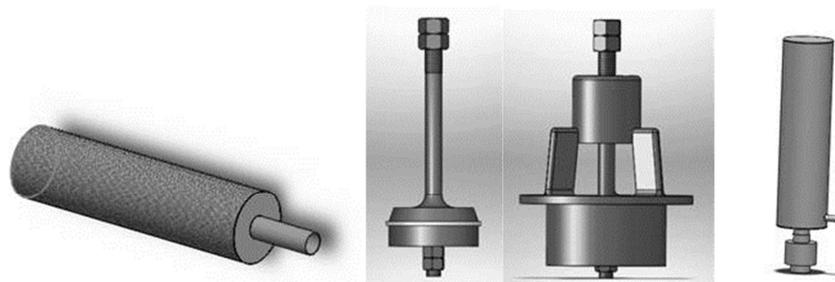


Figura N° 2: Filtro de alimentación.

Figura N° 3: Cilindro troncocónico y Soporte Válvula Ariete.

Figura N° 4: Cilindro de Presión y válvula anti-retorno.

CARACTERISTICA TUBERIA DE ALIMENTACION				
Diámetro de tubería (m)	Longitudes recomendadas (m)		Salto recomendable (m)	
	Mínima	Máxima	Mínimo	Máximo
0,0375	6	38	1,41	9,38
0,05	8	50	1,88	12,5
0,0625	9	63	2,34	15,63

Tabla N°2: Longitudes y saltos recomendables según el diámetro de la cañería de alimentación.

Válvula de ariete:

Al iniciar el funcionamiento de la bomba de ariete, es necesario accionar la válvula manualmente, levantando o bajando la válvula de ariete hasta que se logre alcanzar una presión interna para su funcionamiento en forma automática a un promedio de 60 ciclos por minuto. Es de vital importancia su diseño, recorrido del obturador y peso final, dependiendo de éste elemento para asegurar el éxito de la bomba. Esta pieza es la componente principal de la bomba de ariete, es la encargada de ocasionar el golpe de ariete, generando un cierre instantáneo al paso del agua, el cual induce una sobrepresión (golpe de ariete) necesaria para elevar el agua al nivel deseado.

Los problemas que presentan los arietes convencionales radican en la válvula, los diseños de algunos modelos tienen un flujo reducido del agua disminuyendo la velocidad de la onda de presión y con ello el caudal de salida, otros poseen un cierre a través de una válvula cilíndrica plana, con un cierre que se logra mediante una goma de caucho, lo cual genera un desgaste no uniforme y en consecuencia se obtienen periodos cortos de funcionamiento.

El diseño de esta válvula, se basa en un cilindro troncocónico como obturador, con un cierre estanco, (es necesario centrar bien las piezas por un tornero calificado y así obtener un correcto maquinado), que es acompañado por una goma de caucho que cumple la función de producir un cierre estanco y evitar posibles fugas o desgaste, cabe destacar que esta pieza no realiza el cierre sino asegura el cierre por los motivos mencionados. El cilindro posee roscas en sus extremos que le permiten agregar contrapesos y regular la longitud de carrera del obturador. El conjunto donde se aloja el mismo es a través de tres bujes de bronce grafitados y un soporte mediante planchuelas de acero de 0,025 m de ancho y 0,00635 m de espesor, que a su vez se encuentra soldada a una base roscada que une el codo H-H de 90° (Ver Figura N°3).

El peso del cilindro troncocónico, el conjunto de tuercas que regulan el recorrido de éste, la arandela de caucho con sus contrapesos y su soporte da un total de 0,4kg. El recorrido de la válvula es de 0,020 a 0,040 m, obteniendo de este modo una mayor o menor frecuencia de pulsos. Los ensayos realizados demuestran que para las condiciones de altura de elevación de 30m y un salto de 2,4m, el recorrido de mejor prestación, para esta condición, fue de 0,025 m, con un promedio de 60 golpes por minuto. Si se incrementa el recorrido los ciclos disminuyen, con ello aumenta el suministro de agua de elevación a cuestras de un mayor consumo de agua. Con estos datos vemos que disminuye el rendimiento porcentual, en relación al óptimo, (recorrido 0,025m) en un 44%. Esta válvula permite una fácil y rápida evacuación del agua con una superficie de evacuación de 0,0007m² en relación a la separación que hay entre las paredes del soporte de la válvula y el cilindro troncocónico, permitiendo aumentar el flujo de agua en un 20% relacionando otros arietes comerciales, entre ellos las bombas de ariete JORC (Jairon A. F 2009), válvula Bamford y la de charnela (Nelson Arzola et. al. 2009).

Cilindro de Presión y válvula anti-retorno:

El cilindro de presión tiene como objeto no dejar pasar el agua a través de la válvula anti-retorno, antes de cada cierre de la válvula de ariete y generar la presión necesaria para la elevación de caudal al nivel deseado; es decir en él se acumula una cierta cantidad de agua y aire a presión que mantiene cerrada la válvula anti-retorno antes de iniciarse cada golpe de ariete. Debe soportar la presión de trabajo y la oxidación por el contacto continuo con agua.

La presión acumulada es proporcional a la altura que se quiere elevar el agua, por ejemplo si se quiere elevar a 20m, la presión que se acumulará en el cilindro será de 0,49MPa (medido a través del manómetro), esto implica que una vez puesto en funcionamiento la bomba, por primera vez, deberá esperarse hasta que se acumule la presión necesaria para que comience la elevación del agua al nivel requerido. Ver figura N°4: Cilindro de presión y válvula anti-retorno.

Cañería de bombeo o elevación:

Esta tubería es la encargada de llevar el agua desde el nivel donde se encuentra la bomba de ariete hasta el nivel del depósito deseado. Esta tubería forma parte de la salida de la bomba en conjunto con un manómetro de glicerina (0,49MPa) y una válvula de cierre, estos permitirán controlar la presión de salida de la bomba y efectuar los mantenimientos correspondientes de la misma. La cañería es de PPN de simple o doble capa (bicapa), dependiendo esto último de la elevación o columna de agua que deberá soportar la misma.

En la tabla N°3, se detallan la longitud y elevación admisible para distintos diámetros de cañerías de PPN según el caudal suministrado por la bomba de ariete, teniendo en cuenta la fricción o pérdida de carga en la tubería y la presión máxima que estas pueden soportar, utilizando las ecuaciones de Darcy-Weisbach, (Mataix C. 2004).

CARACTERISTICA TUBERIA DE BOMBEO PPN					
Diámetro	Caudal		Longitud Max. recomendadas	Presión Max.	Elevación vertical Max.
	(m)	(lats/min)			
0,02	hasta 6	hasta 8640	20	1,2	100
0,025	6 a 36	8640 a 51840	120	1,2	100
0,032	37 a 60	53280 a 86400	500	2,5	200

Tabla N° 3: Cañería de bombeo: longitud y elevación máxima recomendadas según las pérdidas de carga y presión máxima.

Cabe destacar el peso final de la bomba de ariete que alcanzó los 17kg, contempla todos los Elementos de la tabla N°1, no se considera el peso del filtro ya que es un elemento más del conjunto pero no pertenece al ensamble, tampoco se considera el peso de los accesorios. Si comparamos este valor con los que se pueden conseguir en el mercado, estamos ubicados entre el 25 y 50% del peso de estas bombas.

El precio total que alcanzó la bomba de ariete fue de \$1400, considerando la mano de obra que requiere para el maquinado de la válvula de ariete, el armado del cilindro de presión, el filtro, y las soldaduras correspondientes. En forma alternativa se puede ofrecer los accesorios que alcanza un valor total de \$300.

Para el ensayo se contó con un recipiente (cuba de un transformador en desuso) de 500litros de capacidad elevado a un árbol mediante un aparejo, con el fin de simular un salto de agua. Este tanque se ubicó a 2,4m de altura y se cargó continuamente con agua a través de un suministro independiente (ver figura N°5). Se utilizó una tubería de PPN (polipropileno bicapa) de 0,0508m de diámetro y 6m de longitud, la misma conecta el tanque con la bomba de ariete. Para poder cortar el suministro de agua a la bomba, se acopló una unión doble H-H de 0,0508m con una válvula esférica de PVC de 0,0508m, y un niple M-M para conectar posteriormente al codo de 45° del ariete.

Para poder medir la altura de trabajo se conectó al final del caño plástico un manómetro de glicerina de 0,05MPa y a la salida del tubo de presión otro manómetro de 0,5MPa con llave de cierre. Los gastos de agua y de bombeo se midieron en recipientes calibrados y los ensayos se realizaron en tandas de 30seg. Generalmente los manómetros solamente se utilizan en los ensayos, debido a que los golpes de ariete continuos suelen dañar los mismos.

RENDIMIENTO

En el caso de las denominadas bombas de arietes los rendimientos típicos se encuentran entre un 50 y 80% (Jeffrey T.D. et al 1992), e incluso recomienda si no se conoce dicho rendimiento adoptar un rendimiento aproximado del 50%. Este

rendimiento varía mucho según las características de cada instalación (Welch M. 1994). Ya la empresa Centragua, dedicada a la venta y reparación de todo tipo de bombas, establece un rendimiento de 30% para todos sus modelos desde el N°3 al N°6. La eficiencia en este caso es el cociente entre la energía disponible y la energía obtenible o utilizable. El rendimiento del ariete se determina entre el cociente entre el producto del suministro de agua a la vivienda (q) por la altura de elevación del agua (H) a un depósito, sobre el producto del consumo de agua (Q) por el salto disponible (h). Esto representa cuánta agua se puede elevar con el ariete en relación al total del agua que pasa a través del ariete (Jeffrey T.D. et al 1992; Urkia Lus I. et al. 2003). En la figura N°1 se pueden ver indicados cada uno de los términos de la siguiente ecuación.

$$\eta = \frac{q * H}{Q * h} \quad (1)$$

Los cuatro parámetros necesarios para obtener el rendimiento son: la altura del salto (esta se determina con una cinta métrica o con un manómetro ubicado en el extremo del caño donde se montara la bomba de ariete), la altura de elevación del agua (para determinar este parámetro se utilizó el manómetro y los elementos mencionados en el párrafo anterior); el caudal suministrado al ariete (este se midió con un recipiente desde una de las tres salidas de la válvula de ariete en un determinado periodo de tiempo (entre 15 o 30seg según la altura de elevación), y el caudal de elevación (este último se midió con una jarra graduada en el extremo opuesto al manómetro mediante una válvula esférica que regula el caudal según altura)

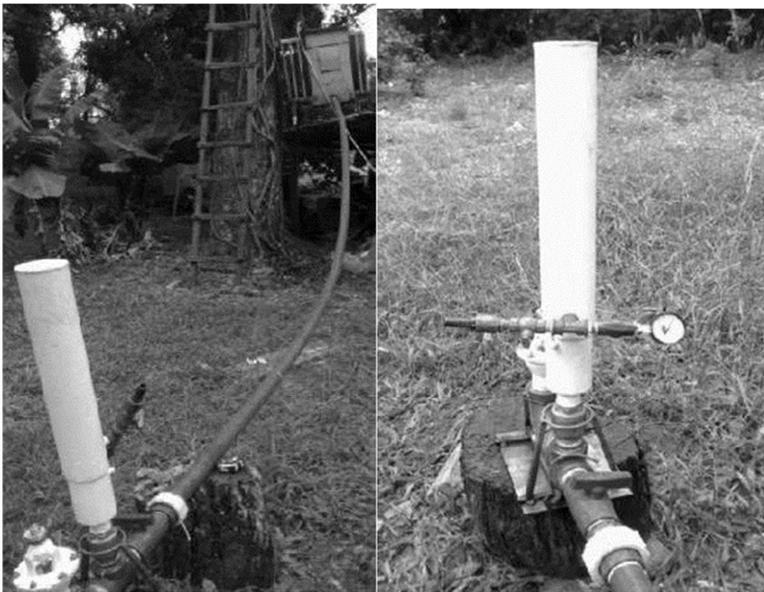


Figura 5: Elementos del ensayo y bomba de Ariete.

Como se puede observar en la figura N°6 el rendimiento se representa en función del cociente H/h, (altura elevación del agua/altura salto disponible) al aumentar esta relación el rendimiento disminuye, pero no se recomienda superar diez(10) veces la altura de elevación (H) en relación al salto disponible (h). El rendimiento se aproxima mediante la recta ($\eta=0,7129 - 0,029 * H/h$) con un coeficiente de regresión $R^2=0,97$. El máximo rendimiento obtenido es de 60% abasteciendo con 14500ts/día, para las condiciones de nuestro laboratorio, donde se dispone de un salto de 2,4 m (h), una altura de elevación de 10m (H), y un suministro o consumo de agua (Q) de 100000ts/día.

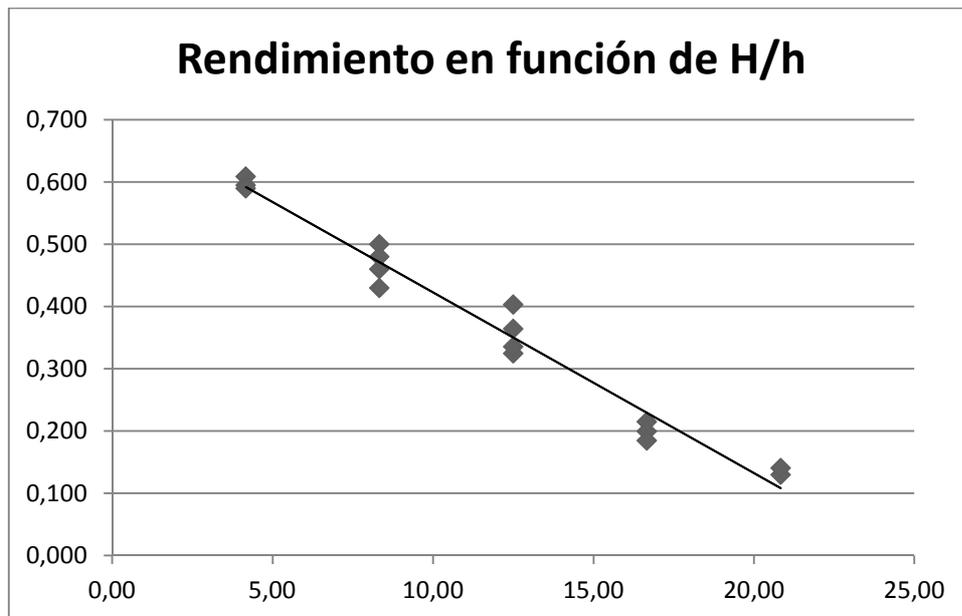


Figura N°6: Rendimiento de la Bomba de Ariete Cilindro

RECOMENDACIONES

Ensayos de la bomba in situ:

Cuando se instala un ariete es fundamental realizar los ensayos previos in situ con elementos que permitan determinar el consumo de agua del ariete, su presión de bombeo y la medida del agua bombeada. Esta operación es necesaria para asegurar su correcto funcionamiento y disponer de datos concretos de su instalación. Para ello se enumeran los accesorios en la tabla N°1. Por ejemplo, si la válvula de ariete no dispone de un cierre perfecto al llegar a la presión de 0,3-0,4MPa, la bomba no podrá seguir elevando más el agua a una altura superior que 30-40m. Si la distancia de bombeo es muy larga el manómetro es imprescindible para asegurar el correcto funcionamiento de la misma.

La operación del ensayo previo es fundamental, se determina el salto de agua disponible, el cual se puede establecer con manguera transparente tipo de nivel, usado comúnmente por la albañilería desde el espejo de agua hasta la base de la bomba de ariete. También se puede verificar este dato con el manómetro ubicado antes de la bomba. Así también se debe establecer el consumo de agua del ariete "Q", que se mide en uno solo de los tres chorros que sale de la válvula. El agua de bombeo se mide en un tarro calibrado y manteniendo todo el tiempo la presión de elevación, según sea la altura de la vivienda. Es decir se inicia la experiencia con una presión fija de servicio, y en la medida que el ariete funciona se va abriendo la válvula de descarga de tal manera que la presión se mantenga constante. Si la experiencia es de 30 seg. se mide el caudal consumido por el ariete y el caudal bombeado a la presión constante, en base a estos datos tenemos el rendimiento. Para cada ensayo se aseguró disponer del nivel adecuado para el ensayo.

Si conocemos la altura del salto, la altura de elevación y el caudal de nuestro arroyo, se puede estimar el caudal a suministrar a la vivienda con ayuda del cociente H/h y la formula N°1, ya que para este dato se sabe el rendimiento de la bomba de ariete.

Es aconsejable colocar una válvula de cierre a la salida del dique con acoples rápidos, para evitar la pérdida de agua disponible en el dique por mantenimientos generales aguas abajo del mismo. También es necesario inspeccionar los filtros con frecuencia, para así evitar obstrucciones significativas que repercutirán directamente en el caudal de alimentación de la bomba y su rendimiento. Un tema de suma importancia es que el filtro siempre este sumergido a por lo menos 0,50 m debajo del nivel del tajamar. Esto facilita que una vez que la válvula cierra el caudal por el golpe de ariete esta pueda caer libremente.

No colocar ningún tipo de cierre automático o flotador de cierre en el depósito elevado debido a que la bomba puede ocasionar una sobrepresión peligrosa.

Un elemento clave de la bomba es la válvula de cierre conectada en el tubo de presión. Esta tiene que ser del tipo utilizado en las bombas de profundidad, generalmente también troncocónica de acero inoxidable capaz de soportar los 75.000 pulsos diarios de la bomba.

Para poder visualizar el correcto funcionamiento del ariete desde la vivienda es necesario que se pueda ver el chorro de agua que cae al tanque. Si este es discontinuo hay que purgar el cilindro de presión.

Para evitar el robo o vandalismo es recomendable ubicar la bomba de ariete dentro de una estructura enrejada, con candados o elementos que eviten la sustracción de algún elemento.

Si no se dispone de las válvulas, puede insertarse el filtro mediante acoples rápidos, que permitirán sacar fácilmente al mismo para su limpieza o colocación de un tapón para mantenimiento aguas abajo.

CONCLUSIONES

La escases de datos publicados en este tema y los años de trabajo con el grupo en el desarrollo de mejoras para aumentar el rendimiento de dicho dispositivo, es la partida para la actividad elaborada.

El rendimiento se comportó linealmente con la recta $\eta=0,7129 - 0,029 \cdot H$, cuyo coeficiente de regresión es de $R^2=0,9712$. El valor máximo alcanzado fue de 60% suministrando 14.500 *lts/día*, con una altura de salto $h=2,4$ m, altura de elevación $H=10$ m, suministro de agua $Q=100000$ *lts/día*.

El recorrido óptimo del vástago de la válvula de ariete para el funcionamiento fue de 0,025 m, con un peso de 0,4 kg, logrando el cierre con un diseño troncocónico con el respaldo de una goma de caucho, dejando una apertura para evacuar el agua de 0,0022 m^2 , que nos permitió elevar la velocidad del flujo de agua en la tubería de presión en 20% con relación a los arietes tradicionales.

Para aumentar la vida del ariete, el componente (vástago de la válvula de ariete) que presenta el mayor desgaste, se construyó con un vástago de amortiguador de un automóvil, que a su vez está tratado superficialmente y el cual se desplaza en su guía sobre bujes de bronce grafitados.

Con elementos accesibles en la zona se puede construir a un costo de \$1400, una bomba de ariete con excelente prestación, que incluye la bomba y todos sus componentes, incluyendo el filtro, elemento esencial para su funcionamiento. Con \$300 se puede disponer de los accesorios para determinar in situ las condiciones más favorables para el correcto funcionamiento y determinar su rendimiento, e inclusive esenciales para el mantenimiento o verificación por posibles averías o fallas.

El peso final alcanzado con todos los elementos sin considerar los accesorios y el filtro, fue de 17 kg, reduciendo entre un 25 - 50% el peso con los que se consiguen en el mercado del tipo de materiales de fundición.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Jairon A. F; Osiris Guevara; Radhames Reyes; Carlos Ramírez. 2009. Diseño para Implementación de Bomba Hidráulica de Ariete "JORC" para uso agrícola en República Dominicana. Disponible URL www.docstoc.com
- Jeffery T. D, Thomas T. H, Smith A. V, Glover P.B, Fountain P.D. 1992. Hydraulic ram pumps. A guide to ram pump water supply systems. 1ª edición, pp 1-9.
- Ley Provincial XVI- N° 97 (ex Ley Provincial N° 4439/08) Disponible URL: www.diputadosmisiones.gov.ar
- Mataix Claudio. (2004). Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas. 2ª edición, pp 203-221. Editorial Alfa omega grupo Editor. ISBN 9789701510575.
- Nelson Arzola; Edwin Cárdenas; García D. M; Calero J. A; Otálora F. 2009. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería mecánica y mecatronica Línea de Investigación, Innovación y desarrollo tecnológico. XXIV Muestras de Máquinas y prototipos Ariete Hidráulico. Disponible URL: www.slideshare.net/diales/ariete-hidraulico. Acceso en Mayo 2012.
- Scott L. 2000. Building a homemade ram pump. Home Power Magazine N°76 Abril / Mayo 2000 pp 42-48.
- Urkiá Lus I y Urkiá Lus S. 2003. Energía Renovable Práctica. 1ª edición, pp 72-75. ISBN: 978-84-7681-375-1. Editorial Pamiela.
- Welch M. 1994. ThingsthatWork!The Folk Ram Pump. Home Power Magazine N°44 Abril / Mayo 1994 pp 44-47. Centragua. Bombas de Ariete Hidráulico. Disponible URL <http://www.centragua.com.ar>.

ABSTRACT: The developed ram pump, was built in the context of a work contract whit the INTI, realized in the year 2011, in which participate the engineers E. Barney and A. Kerkhoff. The objective of the investigation generated by this project, it's the new design and development of a ram valve, manufactured whit corrosive and wear resistant materials. The valve was built in the workshop of the technician Jose Moniec, as also the general construction of the pump using available materials from local hardware stores in the area. The results are presented in terms of: 1) Design and built characteristics; 2) The resulting performance curve from the lab test trials; 3) The recommendation to secure a better performance. The new trunked-cone design of the valve enhanced its better performance, managing to achieve an efficiency of 60%.

Key words: ram pump (gravity feed pump), ram valve, performance, laboratory, recommendation.