

FACULTAD DE INGENIERÍA



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

Carrera de Ingeniería de Minas

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO
MEDIANTE ARIETE HIDRÁULICO PARA LA
EVACUACIÓN DE AGUAS, ÁCIDAS EN
EMPRESAS MINERAS DE CAJAMARCA, 2019”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería de Minas

Autor:

Neuter Julca Palacios

Asesor:

Ing. Shonel Miguel Caceres Perez

Cajamarca - Perú

2019

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante y por su apoyo incondicional. A mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de la carrera universitaria, y por la motivación constante de cada uno de ellos hacia mi persona. A todas las personas especiales que me acompañan en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

AGRADECIMIENTO

En estas líneas quiero agradecer a todas las personas que hicieron posible esta investigación. A mis padres por todo su amor, comprensión y apoyo en todas las decisiones que eh tomado a lo largo de mi vida. A mis hermanos por las alegrías día tras día, por todos los consejos brindados, por compartir momentos únicos eh inolvidables.

A mis amigos y compañeros por el apoyo dentro y fuera de las aulas, y por supuesto a la universidad Privada del Norte, por haberme brindado tantas oportunidades y contribuir con mi formación profesional.

Tabla de contenido

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	11
CAPÍTULO III. RESULTADOS	14
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	22
REFERENCIAS	24
ANEXOS	25

ÍNDICE DE TABLAS

<i><u>Tabla 1. Resultados de medición de vertedero triangular de placa delgada y medidor de flujo electromagnético.....</u></i>	<i>17</i>
<i><u>Tabla 2. Aparatos de medición de flujo</u></i>	<i>18</i>
<i><u>Tabla 3. Relación entre los coeficientes de resistencia y los movimientos de la válvula de desecho.</u></i>	<i>18</i>
<i><u>Tabla 4. Resultados experimentales del Hydram.....</u></i>	<i>20</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Disposición del sistema de suministro de agua Hydram----- 16

RESUMEN

El ariete hidráulico viene a ser una máquina que usa la energía cinética en una columna de agua en movimiento para elevar parte de esa agua a una altura mayor que la de la fuente de suministro. El objetivo de la siguiente investigación es: analizar estudios teóricos y empíricos relacionados a realizar un diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico para la evacuación de aguas ácidas en minería subterránea. La búsqueda de información ha consistido en la revisión de la literaria científica en diferentes bases de información: Scielo, Redalyc, Science direct, Alicia.net, Google académico y bibliotecas virtuales de diversas universidades (UNI, UNMSM, UPN). De un total de 28 fuentes con información fueron seleccionadas 18. La presente investigación es de tipo descriptiva. Los resultados muestran que el cabezal de suministro es de 2.0 m a 2.2 m, el flujo de residuos es de 3.8 l/s a 2.0 l/s y el cabezal de entrega aumenta de 5.6 m a 101.1 m, entonces el flujo de entrega es de 0.80 l/s a 0.01 l/s, la eficiencia varía de 63.9% a 26.9% y la frecuencia cambia de 55 a 45. Cuando el cabezal de entrega es menor de 50m, la eficiencia es superior al 53%.

PALABRAS CLAVES: Sistema de bombeo, ariete hidráulico, evacuación, revisión de la literaria científica.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Las explotaciones mineras tienen efecto sobre las aguas subterráneas y las superficiales, generando en ocasiones, el deterioro de la calidad del agua de un determinado acuífero, así como daños ecológicos y paisajísticos; para evitar estos daños será necesario un buen diseño de bombeo de aguas y posteriormente un adecuado tratamiento de aguas ácidas (Ordóñez, 2013, p.2).

Los sistemas de bombeo son utilizados en la industria minera subterránea cuando se encuentran infiltraciones de agua al interior de la mina producto de las excavaciones que se realizan para el desarrollo de esta actividad, aguas que deben ser llevadas hacia la superficie para garantizar la continuidad de la producción. De acuerdo con, (Ortiz , Cabanillas, & Fierro, 2010) será necesario la elección de un sistema de bombeo adecuado, esto se logra con el establecimiento del equilibrio hidráulico del sistema, para lo cual se utilizan las ecuaciones de conservación de la masa, equilibrio de energía y cantidad de movimiento. También será ineludible la adecuación de espacios destinados a la captación y manejo de las aguas mineras, las cuales ameritan especial cuidado por cuanto debe considerarse el vertimiento de estas aguas a efluentes hídricos después de haber sido evacuadas a superficie. (p.12)

Reza, Babak, & Alireza, (2015), mencionan que el ariete hidráulico es un dispositivo (bomba) que funciona sin el uso de energía eléctrica y combustibles fósiles, y se utiliza para bombear agua. El ariete hidráulico bombea el agua, utilizando una energía potencial del suministro. El ariete hidráulico fue inventado hace unos 200 años y se usa hasta la fecha,

porque tiene un sistema simple y económico (p.2). El ariete hidráulico viene a ser una máquina que usa la energía cinética en una columna de agua en movimiento para elevar parte de esa agua a una altura mayor que la de la fuente de suministro. Sin adición externa de energía, un ariete hidráulico bien hecho bombeará una parte del agua con la que se suministra a cualquier altura, desde aproximadamente el doble del cabezal de suministro hasta muchas veces el cabezal de suministro, con una eficiencia que supera el 65% o incluso 70 por ciento en algunos rangos de capacidad y presión (Lansford & Dugan, 2010, p.7).

Según, Inthachot, Saehaeng, Max, Müller, & Spreer, (2015) mencionan que el funcionamiento del ariete hidráulico es el siguiente: El agua se introduce en el ariete a través de la tubería de transmisión. Tiene que haber una cierta caída para permitir que el agua sea acelerada por la gravedad. Fluye dentro del ariete y sale por la válvula de impulso, que es su pieza central. A medida que aumenta la velocidad, la válvula de impulso es empujada cerca por el agua que fluye. Cuando la válvula de impulso se cierre, surgirá un martillo hidráulico. A medida que la presión dentro del ariete excede la presión dentro de la línea de entrega, la válvula de entrega se abrirá y la presión se liberará hacia la línea de entrega. Cuando la presión disminuye, la válvula de suministro se cierra. La válvula de impulso se abrirá debido a la baja presión en el ariete y su propio peso o un resorte, y el agua comenzará a fluir nuevamente, por lo que comienza un nuevo ciclo. (p.8)

Lo característico del ariete hidráulico es que: no necesita combustible fósil, electricidad, ni ningún impulsor en absoluto fuera del fluido y tampoco necesita un mantenimiento permanente. Este sistema es más económico que los otros convencionales motorizados, no causa contaminación al medio ambiente, su operación es segura no siendo

necesaria la mano de obra durante su operación y su costo de funcionamiento teóricamente es muy bajo o nulo; ya que este dispositivo presenta únicamente dos partes móviles, la vida útil del equipo es larga y funciona continuamente las 24 horas del día. (Enrique, 2016, p.8)

El desarrollo del presente tema de investigación se justifica porque en la actual minería se generan muchos problemas en las labores subterráneas por la presencia de aguas producidas por las infiltraciones del agua superficial, lo cual es un problema permanente que afronta la minería para cumplir con los parámetros y estándares que se tienen en la planificación. Según, Ojeda (2012), como consecuencia de la operación o por acción del bombeo y desagüe de la mina, el sistema origina desechos de naturaleza ácida los cuales deberán ser vertidos en el medio ambiente y para neutralizar el efecto ácido dañino se cuenta con un sistema de bombeo y de neutralización.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo realizar un diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico para la evacuación de aguas ácidas en minera Gold Field, 2019?

El objetivo de la siguiente investigación es: analizar estudios teóricos y empíricos relacionados a realizar un diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico para la evacuación de aguas ácidas en Minera Gold Field.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

La presente investigación es de tipo descriptiva (Zayas, 2013), ya que a través de esta no se pretende establecer relaciones que expliquen la esencia de los fenómenos estudiados, solamente se describen, enuncian, caracterizan o se enumeran dichos fenómenos, en nuestro caso se hará una descripción del proceso que se debe seguir para realizar un diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico para la evacuación de aguas ácidas en minería subterránea.

La metodología ha iniciado con

Búsqueda de información (Revisión sistemática de la literatura)

Una revisión sistemática es aquella en la que existe una búsqueda exhaustiva de estudios relevantes sobre un tema. Una vez identificados y obtenidos los estudios, los resultados son sintetizados de acuerdo con un método preestablecido y explícito. Esta forma de revisión da al lector una gran ventaja sobre otras revisiones: la posibilidad de replicarla y verificar si se llega a la misma conclusión (Sáenz, 2011).

La búsqueda de información ha consistido en la revisión literaria en diferentes bases de información tales como: Scielo, Redalyc, Science direct, Alicia.net, Google académico, además en bibliotecas virtuales de diversas universidades entre ellas, la Universidad Nacional de Ingeniería, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Universidad Privada del Norte. El proceso se inició con palabras claves como bombeo de aguas ácidas y ariete hidráulico. Las fuentes principales tomadas han sido Artículos Científicos, Revistas Científicas, Papers, Tesis e Informes. Con las palabras antes mencionadas se han encontrado

un total de 28 fuentes con información relacionada al tema de investigación, de los cuales fueron elegidos 18, este proceso ha consistido en filtrar y elegir aquellos contenidos que estructuralmente están correctos, es decir; tienen una metodología completa y sus resultados son congruentes. Algunos artículos han sido descartados porque el tiempo de publicación han sido mayor a los 10 años (requisito para las actuales investigaciones debe ser no mayor a los 10 años), además algunos artículos que tienen acceso restringido y no se ha conseguido el acceso completo a ellos.

Estudio de campo:

Seguidamente se procederá con la determinación de los factores de diseño del Ariete hidráulico (Hydrám), los principales parámetros a considerar en el diseño incluyen: La diferencia de altura entre la fuente de agua y el sitio de la bomba (llamada caída vertical), la cantidad de flujo disponible desde la fuente (Q), la longitud desde la fuente hasta el sitio de la bomba (llamada tubería de drenaje), la cantidad de agua requerida y la longitud de la tubería desde el sitio de almacenamiento (llamada tubería de entrega).

Estudio de gabinete:

Con los resultados obtenidos en el estudio de campo, se procederá a calcular los parámetros de diseño del Hydrám tales como: descarga volumétrica de impulsión, velocidad del flujo de la tubería, número de Reynolds (Laminar o turbulento), factor de fricción, pérdida en la carga del flujo del fluido en tuberías (fórmula de Darcy-Weberbach), velocidad del flujo del fluido en la unión T, pérdidas en la unión T, pérdidas en accesorios de las tuberías, aceleración del fluido, fuerza de arrastre, fuerza que acelera el fluido, presión, potencia requerida y la eficiencia del Hydrám.

Elaboración de informe:

Con los resultados obtenidos en el estudio de campo y gabinete, se procederá a estructurar y redactar el informe de la presente investigación, para lo cual se recurrirá al formato que maneja la Universidad Privada del Norte.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Los resultados han sido tomados de aquellos artículos que han respondido a la pregunta de investigación. El número final de artículos seleccionados para la investigación es como se muestra a continuación: 2 de Scielo, 2 de Redalyc, 7 de Science direct, 2 de Alicia.net, 2 de Google académico, también se recolecto tesis de las siguientes bibliotecas virtuales: 1 de la Universidad Privada del Norte, 1 de la Universidad Nacional de Ingeniería y 1 de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Los parámetros de diseño del ariete hidráulico son que los diámetros interiores de la te recta y el codo de 90° diámetros son de 100 mm, el diámetro del orificio de la válvula de desecho es de 100 mm y su superficie de sellado es de 45° conos y 10 mm de ancho, y el diámetro de la válvula de descarga del disco D_d es de 120mm.

Basado en la siguiente ecuación, la relación puede ser derivada:

$$A_1 \geq A_d + A = \pi \frac{D_d^2}{4} + \pi \frac{D^2}{4} = 19163.7 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, el diámetro interno del difusor, D_1 , debe ser mayor que 156.2mm. Se utiliza un difusor de curvatura comercial, también conocido como incrementador. Sus parámetros son el diámetro de entrada $D = 100$ mm, el diámetro de salida $D_1 = 200$ mm, la longitud $L = 152$ mm y el ángulo de difusión $\alpha = 36.4^\circ$ que cumple la condición de que α está entre 25° y 90° . Como $A / A_1 = 0.25$, el coeficiente de resistencia del difusor se puede calcular mediante la siguiente ecuación. Sea $c = L / D_1$, entonces el difusor considerado tiene

L/ $D_1 = 0.76$. De acuerdo con Tab.1, φ es igual a 0.65 que se deriva utilizando la interpolación lineal. Así, el coeficiente de resistencia local del difusor es:

$$\xi = \left(1.43 - 1.3 \frac{A}{A_1}\right) \left(1 - \frac{A}{A_1}\right)^2 = 0.65 \left(1.43 - 1.3 \frac{1}{4}\right) \left(1 - \frac{1}{4}\right)^2 = 0.4$$

Las pruebas se realizaron en el laboratorio del Instituto de Recursos Hídricos e Investigación de Hidroelectricidad de China. El sistema de suministro de agua Hydrum se muestra en la Fig. 1. Los diámetros interiores de la te y el codo de 90° son todos de 100 mm. El difusor curvado es un aumentador comercial, cuyos diámetros de entrada y salida son de 100 mm y 200 mm, respectivamente, y cuya longitud es de 152 mm. Un sensor de presión se establece entre la te y el codo. Otro sensor de presión está colocado en la parte inferior de

la cámara de aire. Un sensor de nivel de agua se coloca dentro de la cámara de aire.

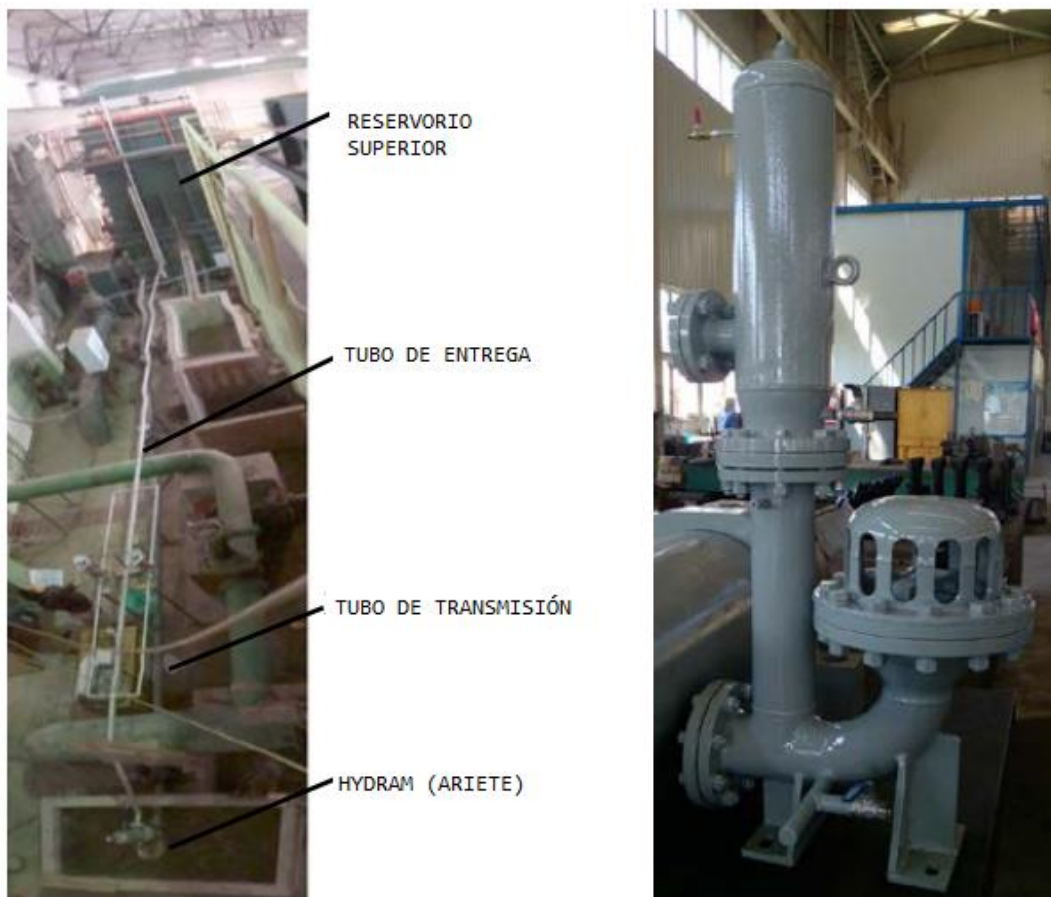


FIGURA 1. Disposición del sistema de suministro de agua Hydrum

El tubo de impulsión tiene una longitud de 13 m y un diámetro interior de 0,1 m, a través del cual fluye el agua desde el depósito de suministro hacia el hidramo. Se instala una válvula de mariposa en el lado de entrada del tubo impulsor y se instala un medidor de flujo electromagnético en el centro del tubo impulsor para medir el flujo. El nivel de agua del depósito de suministro se mide mediante un sensor de presión y un tubo piezométrico. El tubo de suministro tiene una longitud de 17 m y un diámetro interno de 0,05 m, a través del cual el agua fluye nuevamente hacia el depósito de suministro. Hay un medidor de flujo

electromagnético en el centro de la tubería de suministro. Para simular los diferentes cabezales de entrega, la disposición de la tubería de entrega entre la cámara de aire y el tanque de suministro es de la principal a tres tuberías de derivación y luego a la principal. Una válvula de mariposa y dos válvulas reguladoras de presión se colocan en los tres tubos de derivación, respectivamente. Tomando las medidas, el cabezal de entrega se puede controlar entre 5m y 120m. Una de las válvulas reguladoras de presión varía de 30 a 70 m en la presión del agua y la otra de 80 a 120 m.

El reservorio más bajo donde se coloca el hydram es de 2 m de largo, 1,5 m de ancho y 1 m de alto. Una puerta se fija en un lado del depósito. Se utiliza una presa triangular de placa delgada para calibrar el medidor de flujo electromagnético en el tubo de mando.

Tabla 1. Resultados de medición de vertedero triangular de placa delgada y medidor de flujo electromagnético

Flow of electromagnetic flow meter (l/s)	13.95	11.02	8.96	7.79	6.49	4.95	4.15	2.88	2.03	1.06
Flow of triangular thin-plate weir (l/s)	14.53	11.35	9.20	7.95	6.64	5.04	4.23	2.94	2.06	1.07
Error (%)	4.2	3.0	2.7	2.1	2.3	1.8	1.9	2.1	1.5	1.0

En la tabla 1, se muestran los flujos medidos con la presa triangular de placa delgada y con el medidor de flujo electromagnético, el error entre los dos es inferior al 5%.

Como el medidor de flujo electromagnético en la tubería de entrega no puede tomar la medida precisa para los flujos pequeños, el flujo de entrega se mide por el método de pesaje. El agua se recolecta en baldes de 60L y 160L y se mide mediante una báscula de

plataforma de 300 kg. El agua recolectada es más pesada que 200 kg, o el tiempo es más largo que 600 s.

Tabla 2. *Aparatos de medición de flujo*

Apparatus	Position	Measuring Range	Accuracy
Electromagnetic flow meter	Drive pipe	0-20L/s	
Pressure sensor	Air chamber	0-1.6MPa	
Pressure sensor	Hydram body	0-2.0MPa	
Pressure sensor	Supply reservoir	0-50KPa	
Pressure sensor	Wasted pool	0-50KPa	
Water-level sensor	Air chamber	0-500mm	
Platform scale		0-300kg	

En la **tabla 2**, se presentan los aparatos de medición.

La relación entre la carrera de la válvula de desecho, S_v , y el coeficiente de resistencia compuesto, ξ , del codo, el difusor de curvatura y la válvula de desagüe se muestra en la Tabla.3. Mientras que S_v está entre 30 mm y 40 mm, ξ es menor y es igual a 2.39 a 1.85. Por lo general, la carrera máxima de la válvula de desagüe se establece en $S_{vmax} \approx D_0 / 4$, donde D_0 es el diámetro del orificio de la válvula de desagüe.

Tabla 3. *Relación entre los coeficientes de resistencia y los movimientos de la válvula de desecho.*

100mm novel hydram		53 mm Wilcox hydram	
$S_v(\text{mm})$	ξ	$S_v(\text{mm})$	ξ_w
5	37.12	8	6.2
10	11.45	10	3.7
15	6.31	12	2.5 Suggested
20	3.89	14	1.75
25	2.99	16	1.37
30	2.39 Suggested		
35	1.85		
40	1.89		

En la Tabla 3, las pruebas verificaron para el nuevo hydram que el flujo de entrega y la eficiencia eran mayores cuando $S_{v\max} = 30\text{mm} > 0 D / 4 = 25\text{mm}$ y $\xi = 2.39$; también se enumeran los parámetros de la válvula de desecho en el hidramo Wilcox de 53 mm [6], en el que ξ es solo el coeficiente de resistencia local de la válvula de desecho, se sugiere que la carrera máxima es $S_{v\max} = 12\text{mm} < 0 D / 4 = 13.25\text{mm}$ y $\xi_w = 2.5$.

Tabla 4. *Resultados experimentales del Hydram*

Number	H (m)	Q (l/s)	h (m)	q (l/s)	q (m ³ /d)	η (%)	N (times/min)
1	2.01	3.728	5.56	0.803	69.39	59.70	54
2	2.02	3.793	8.59	0.564	48.72	63.39	54
3	2.02	3.636	11.92	0.391	33.80	63.46	54
4	2.03	3.627	15.51	0.303	26.22	63.86	54
5	2.04	3.647	20.07	0.235	20.32	63.41	55
6	2.07	3.308	24.89	0.174	15.05	63.33	51
7	2.09	3.219	27.47	0.149	12.85	60.70	51
8	2.09	3.371	32.52	0.125	10.83	57.92	51
9	2.11	3.029	38.15	0.099	8.56	59.12	50
10	2.15	2.861	41.48	0.087	7.51	58.71	49
11	2.16	2.588	46.17	0.069	5.95	56.85	48
12	2.12	2.411	50.18	0.055	4.71	53.53	47
13	2.13	2.464	56.18	0.041	3.55	44.07	47
14	2.11	2.683	62.24	0.039	3.35	42.65	48
15	2.09	2.729	63.94	0.033	2.87	37.19	49
16	2.09	2.729	65.46	0.031	2.69	35.79	48
17	2.09	2.655	71.64	0.027	2.33	34.89	48
18	2.05	2.530	76.56	0.023	2.00	34.18	47
19	2.09	2.505	80.67	0.022	1.89	33.70	47
20	2.10	2.426	84.59	0.020	1.72	32.93	47
21	2.13	2.164	94.91	0.014	1.25	29.85	46
22	2.15	2.066	98.82	0.012	1.07	27.66	45

En la Tabla 4, se pueden sacar conclusiones de que: Mientras que el cabezal de suministro H es de 2.0 m a 2.2 m y el flujo de residuos Q es de 3.8 l/s a 2.0 l/s y el cabezal de entrega h aumenta de 5.6 m a 101.1 m, entonces el flujo de entrega q es de 0.80 l/s a 0.01 l/s, la

eficiencia η varía de 63.9% a 26.9% y la frecuencia N cambia de 55 a 45. Cuando el cabezal de entrega h es menor de 50m, la eficiencia η es superior al 53%.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión

En la figura 1, se muestra la disposición del sistema de suministro de agua Hydrum, cuyos parámetros de diseño son: los diámetros interiores de la te y el codo de 90° son todos de 100 mm. El difusor curvado es un aumentador comercial, cuyos diámetros de entrada y salida son de 100 mm y 200 mm, respectivamente, y cuya longitud es de 152 mm. Se colocan tres sensores uno entre la te y el codo, otro en la parte inferior de la cámara de aire y por último se coloca un sensor dentro de la cámara de aire.

En la tabla 1, se presentan los resultados de medición de vertedero triangular de placa delgada y medidor de flujo electromagnético, el error de las mediciones muestra un error menor a 5%. En la tabla 2, se presenta varios aparatos de medición del flujo.

En la tabla 3, se presenta la relación entre los coeficientes de resistencia y los movimientos de la válvula de desecho. Las pruebas determinaron que para el hydrum, el flujo de entrega y la eficiencia eran mayores cuando $S_{vmax} = 30mm > 0 D/4 = 25mm$ y $\xi = 2.39$; además se han descrito los parámetros de la válvula de desecho en el hidramo Wilcox de 53 mm, en el que ξ es solo el coeficiente de resistencia local de la válvula de desecho, se sugiere que la carrera máxima es $S_{vmax} = 12mm < 0 D/4 = 13.25mm$ y $\xi_w = 2.5$.

En la tabla 4, se presentan los resultados experimentales del Hydrum (Ariete), de cuyos resultados se concluye que, mientras que el cabezal de suministro H es de 2.0 m a 2.2 m y el flujo de residuos Q es de 3.8 l/s a 2.0 l/s y el cabezal de entrega h aumenta de 5.6 m a 101.1 m, entonces el flujo de entrega q es de 0.80 l/s a 0.01 l/s, la eficiencia η varía de

63.9% a 26.9% y la frecuencia N cambia de 55 a 45. Cuando el cabezal de entrega h es menor de 50m, la eficiencia η es superior al 53%.

Conclusiones

La revisión de la literatura científica realizada nos permite ampliar el conocimiento dentro de un campo en específico, dado que brinda un gran aporte científico para la realización de nuevas y novedosas investigaciones, cuyas aplicaciones permiten diseñar sistemas de bombeo de aguas ácidas por medio de ariete hidráulico.

Se realizó un diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico para la evacuación de aguas ácidas en Minera Gold Field. Primero se determinó los factores de diseño del Ariete hidráulico (Hydram), los principales parámetros a considerar en el diseño incluyen: La diferencia de altura entre la fuente de agua y el sitio de la bomba, la cantidad de flujo disponible desde la fuente (Q), la longitud desde la fuente hasta el sitio de la bomba, la cantidad de agua requerida y la longitud de la tubería desde el sitio de almacenamiento. También se presentó la medición de vertedero triangular de placa delgada y medidor de flujo electromagnético. Se presentó la relación entre los coeficientes de resistencia y los movimientos de la válvula de desecho. Se presentó los resultados experimentales del Hydram (Ariete) diseñado en base a los parámetros mencionados.

REFERENCIAS

- Ankum, P. (2012). *Design of Open-Channels and Hydraulic structures*. Países Bajos.
- Enrique Alva, B. S. (2016). *Evaluación de factores hidráulicos en un abomba de ariete que permita el abastecimiento de agua potable en el área rural del distrito de Independencia-Huaraz*. Huaraz.
- Inthachot, M., Saehaeng, S., Max, J., Müller, J., & Spreer, W. (2015). Hydraulic ram pumps for irrigation in Northern Thailand. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 107-114.
- Lansford, W., & Dugan, W. (21 de Enero de 2010). An Analytical and Experimental Study of the Hydraulic Ram. *Engineering Experiment Station*, XXXVIII(326), 7.
- Muñoz Ospino, A. (2016). *Optimización de sistemas de bombeo y manejo de las aguas residuales de la explotación minera en la mina de carbon San Fernando, operada por carbones San Fernando SAC, vereda paso nivel, Amaga-Antioquia*. Colombia.
- Ojeda Chinchayán, C. M. (2012). *Diseño de un sistema de automatización industrial para el sistema de bombeo de aguas ácidas*. Lima.
- Ordóñez Alonso, A. (2013). *Sistema de tratamiento pasivo para aguas ácidas de mina. Experiencias de laboratorio, diseño y ejecución*. Oviedo.
- Ortiz Vidal, L. E., Cabanillas Maury, D. E., & Fierro Chipana, R. A. (2010). Equilibrio hidráulico en sistemas de bombeo minero: Estudio de caso. *Ingeniare. Revista Chilena de ingeniería*, 18(3), 335-342.
- Reza Fatahi, A., Babak Laskar, A., & Alireza, K. (2015). Determine the efficiency of hydraulic ram-pumps. *The Hague*, 2.
- Zayas Agüero, P. M. (2013). *El rombo de las investigaciones de las ciencias sociales*. Holguín.

ANEXOS