

ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE ARIETE HIDRÁULICO EN LUMBISÍ, ECUADOR

Ernesto Quishpe Sacancela
equishpe@istct.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5773-8485>
Instituto Superior Universitario Central Técnico - Ecuador

Juan Esteban Cusi Sacancela
jcusi@istct.edu.ec

Instituto Superior Universitario Central Técnico - Ecuador

Recibido: 25/11/23

Aceptado: 25/12/23

Publicado: 01/01/24

RESUMEN

Ecuador es un país esencialmente dedicado a la explotación de los recursos naturales renovables. El sector agrícola es el más amplio en el uso de agua de riego. Los recursos hídricos aun existentes en la Comuna Lumbisí son muy importantes para el riego de los cultivos. Por ello, se han creado líneas estratégicas y se han generado procesos de sensibilización y preservación del "ojo de agua" de este sector. La metodología es cuantitativa, experimental, transversal y descriptiva. Se analiza la viabilidad de un sistema de bombeo mecánico con ariete hidráulico, mediante la recopilación de la información en campo, el análisis técnico, económico y ambiental. Se obtiene como resultado un potencial hídrico inicial de 4 a 5 L/s, se dispone de 17 metros columna de agua (m.c.a.) de altura y alcanza los 170 m.c.a. Además, cuenta con una longitud aproximada de 500m, siendo útil para llegar al sector de El Tablón de la comunidad, donde existen 107.61 hectáreas de área cultivable en una altura de 2300 m.s.n.m. El caudal mínimo diario de impulsión es de 0,37 L/min y un máximo de 13,6 L/min. Por la irregularidad del terreno y en el caso de tener una sobrepresión, se recomienda una tubería de hierro galvanizado por las propiedades mecánicas que posee para el montaje a la intemperie. Esta debe contar con un diámetro interior de 57.65mm, diámetro exterior de 60.30mm, espesor de 2.65mm y con una presión de absorción de trabajo de 21 Kg/mm². Esta tubería garantiza un factor de seguridad, capaz de soportar las sobrepresiones debidas al golpe de ariete, para evitar una posible cavitación.

PALABRAS CLAVE: recursos hídricos, agricultura sostenible, sistema de bombeo.

STUDY FOR THE IMPLEMENTATION OF A PUMPING SYSTEM USING A HYDRAULIC RAM IN LUMBISÍ, ECUADOR

ABSTRACT

Ecuador is a country essentially dedicated to the exploitation of renewable natural resources. The agricultural sector is the most widespread in the use of irrigation water. The water resources still existing in the Lumbisí Municipality are very important for the irrigation of crops. For this reason, strategic lines have been created and processes of awareness and preservation of the "eye of water" of this sector have been generated. The methodology is quantitative, experimental, transversal and descriptive. The feasibility of a hydraulic pumping system is analysed by collecting field information, technical, economic and environmental analysis. The result is an initial water potential of 4 to 5 L/s, 17 meters of water gauge (mH₂O) of height is available and reaches 170 mH₂O. In addition, it has an approximate length of 500m, being useful to reach the El Tablón sector of the community, where there are 107.61 hectares of cultivable area at an altitude of 2300 m.a.s.l. The minimum daily impulse flow rate is 0.37 L/min and a maximum of 13.6 l/min. Due to the irregularity of the terrain and in case of overpressure, it is recommended to use a galvanized iron pipe due to the mechanical properties it possesses for mounting against the weather. It must have an internal diameter of 57.65mm, an external diameter 60.30mm, a thickness of 2.65mm and a working absorption pressure of 21 Kg/mm². This pipe guarantees a safety factor, able to withstand the overpressures due to the blast, to avoid a possible cavitation.

KEY WORDS: water resources, sustainable agriculture, pumping system.

1. INTRODUCCIÓN

La Comuna de Lumbisí se constituye en 1824, cuenta con 612 hectáreas, heredadas a los indígenas *yanaconas* por el Rey de España, cuya acta legal se encuentra reposando en la Casa de la Cultura Ecuatoriana (Rebolledo, 1979). En el año de 1835, el general Jorge Enríquez Gallo, como presidente del Ecuador, dicta la ley de comunas. Lumbisí se inscribe legalmente dentro del registro de comunidades a nivel nacional. Cada 24 de agosto, esta comuna conmemora su aniversario, desempeñando a cabalidad su misión y visión, proyectándose hacia el futuro.

Ecuador es un país esencialmente dedicado a la explotación de los recursos naturales renovables. La agricultura es uno de ellos y requiere el agua de riego de manera constante. Debido a esto, existe una deficiencia de infraestructura para el regadío en los terrenos agrícolas del sector El Tablón de la comunidad de Lumbisí. Para solucionar este problema, la comunidad da inicio a la exploración de los “ojos de agua” (pozos naturales) existentes, siguiendo un ordenamiento significativo de la tierra dentro de la comunidad. Esto no sólo representa una solución al problema de la producción y la alimentación, sino que permite la coexistencia y el aprovechamiento de los recursos naturales que aseguran el bienestar y protección del suelo, haciendo énfasis en los parámetros de conservación del desarrollo agrícola y enfrentado al cambio climático.

La investigación intenta obtener agua de riego proveniente desde un ojo de agua natural, mediante la instalación de un sistema de bombeo que no requiere energía eléctrica ni combustibles, sino por medio de un ariete hidráulico que funciona por ciclos, utilizando la energía cinética para bombear agua a un sector de la comunidad de Lumbisí. A partir del ojo de agua, se debe mantener la cota paralela al río San Pedro para descargar su caudal a un reservorio. Este sistema ecológico utiliza principalmente la fuerza de la caída de presión para subir la cantidad de agua requerida a una mayor altura haciendo uso de la gravedad.

En este contexto, el estudio tiene una viabilidad técnica, económica, social y ambiental, tiene un bajo costo de inversión, operación y mantenimiento. Además, su impacto ambiental es mínimo, alcanzando así la aceptación de los moradores de la comuna.

2. ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS / MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue de campo, de acuerdo a las características topográficas, ecológicas, biodiversidad y de recursos hidrográficos apropiados para la Comuna Lumbisí. Los métodos empleados en el estudio de factibilidad fueron empíricos (experimental, con base en prueba y error); analíticos (reglas básicas de hidráulica, mecánica de fluidos, ecuación de continuidad, conservación de movimiento, pérdidas de carga y análisis dimensional) y racional (análisis teórico con el software *ANSYS Fluent*). En este último, se ingresaron algunos parámetros encontrados experimentalmente, para el estudio y funcionamiento del sistema de bombeo con ariete hidráulico.

Quishpe Sacancela, E. y Cusi Sacancela, J. (2024). Estudio para la implementación de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en Lumbisí, Ecuador. *Revista Cotopaxi Tech*, 4(1), 118-130. <http://ojs.istx.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/120>
enero - julio (2024) ISSN 2806-5573

Posteriormente, se seleccionó un modelo matemático adecuado que permitió conocer los valores mínimos y máximos de las principales variables. Para elegir un sistema de bombeo hidráulico, se debe prestar atención a la ley orgánica de manantiales de agua en Ecuador. También, es necesario realizar un análisis bacteriológico y ambiental.

Adicionalmente, se analizó la factibilidad técnica, económica, social, ecológica, caudal, potencia, facilidad de instalación, durabilidad, tipo de materiales, equipo y precio. Finalmente, las encuestas y entrevistas se las realizó a todos los comuneros de Lumbisí, para su respectivo análisis de factibilidad.

3. RESULTADOS

Para el estudio de factibilidad del uso adecuado del manantial de agua, en primer lugar, se investigó el caudal que es de 4 a 5 L/s. Los resultados del análisis bacteriológico realizado en los laboratorios de la Facultad de Química de la Universidad Central del Ecuador, consideran que el agua es apta para el consumo humano, regadío y su estudio ambiental.

En segundo lugar, se realizó un levantamiento planimétrico de la zona. En tercer lugar, se realizó el estudio de factibilidad del sistema de bombeo mecánico, mediante ariete hidráulico. Este sistema tiene ventajas y desventajas. En la Tabla 1 se detallan los aspectos más importantes de un ariete hidráulico, en relación a otras bombas.

Tabla 1

Comparación del sistema de bombeo de ariete hidráulico con otras bombas.

No.	Descripción	Bomba-motor	Bomba-eléctrica	Ariete hidráulico
1	Energía externa	Sí	Sí	No
2	Lubricantes	Sí	Sí	No
3	Inversión inicial	Alto	Bajo	Media
4	Mantenimiento	Sí	Sí	No
5	Confiability	Alta	Media	Alta
6	Ruido	Alto	Medio	Media-Alto
7	Eficiencia	Alto	Alto	Media

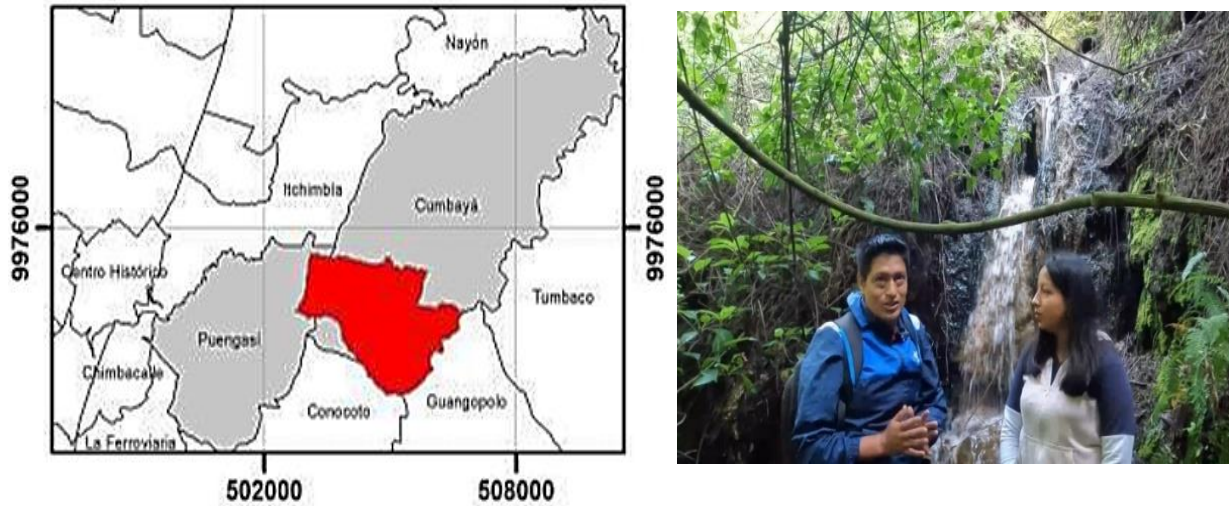
Fuente: autoría propia a partir de catálogos de bombeo hidráulico.

En la actualidad, la comunidad cuenta con un área netamente agrícola de 107.61 hectáreas y con un área de 76.45 hectáreas de quebradas naturales donde existen varios manantiales de agua. Estos cuentan con un potencial hídrico de 4 a 5 L/s captadas a la salida del ojo de agua. Las condiciones y la ubicación de la captación de agua son muy favorables debido a su pendiente. La altura disponible es medida desde el inicio del ojo de agua hasta el sitio de descarga donde se instalará el sistema de bombeo con ariete hidráulico. Para obtener las medidas exactas se realiza el cálculo de las diferencias de alturas, se utiliza un altímetro y GPS. La ubicación de la toma de agua es importante en este sistema de bombeo, ubicando el reservorio en un lugar estratégico, cumpliendo las características apropiadas para su eficaz funcionamiento, tanto en dimensionamiento del

reservorio, volumen de agua constante y permanente para evitar la entrada de aire a la tubería de impulso.

Figura 1

Ubicación geográfica de la Comuna de Lumbisí y "ojo de agua".

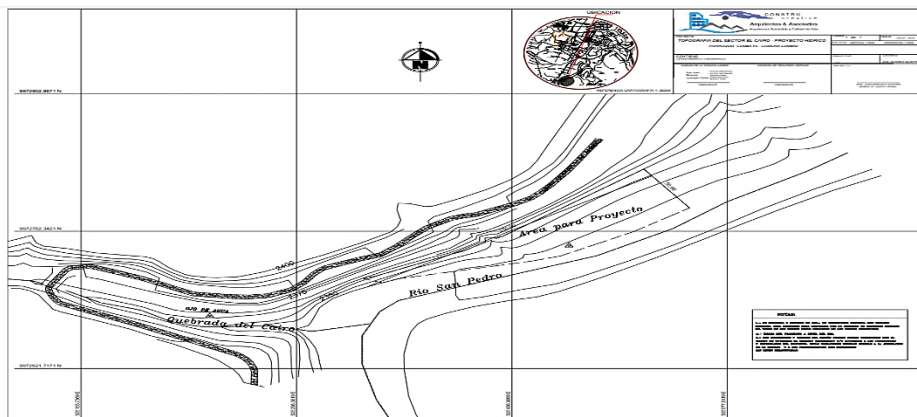


Fuente: Gobierno Autónomo parroquial de Cumbayá y autoría propia.

La ubicación para el bombeo mecánico depende de la distancia y la diferencia de alturas. El levantamiento topográfico ayudó para un efectivo tendido de la tubería de alimentación desde el "ojo de agua" hasta la bomba. De tal manera, que el conducto quede perfectamente rectilíneo y rígido hasta llegar al tanque de descarga. Así, se dispone de 17 m.c.a. de altura, alcanzando los 170 m.c.a y con una longitud aproximada de 500m, siendo suficiente para llegar al sector de El Tablón de la comunidad, donde se encuentran las áreas cultivables, a una altura de 2300 m.s.n.m.

Figura 2

Levantamiento topográfico de la zona.



Fuente: Construcreative (2023).

Los parámetros del ariete hidráulico se analizan mediante modelos matemáticos existentes, para conocer los valores máximos de las principales variables que alcanzan en cada período. En cada elemento del ariete, se toma en cuenta: funcionamiento, comportamiento de la onda elástica, desplazamiento a una determinada velocidad y variación de presiones a lo largo de la tubería. Posteriormente, se realiza el diseño y construcción mecánica procedente.

El fenómeno mecánico del golpe de ariete aparece en forma de onda oscilatoria que circula a lo largo de la tubería. En el momento que exista un cierre brusco de la válvula de impulso, en ese mismo instante, la cantidad de movimiento/energía cinética, se reduce drásticamente a cero originando una gran presión a la tubería y los diferentes tipos de válvulas.

La celeridad de la onda en el sistema de bombeo con golpe de ariete se produce mediante una propagación de ondas de presión y depresión generadas por el fluido. Es decir, dependen tres factores fundamentales: las características mecánicas de la conducción, sus características geométricas y la compresibilidad del agua. La celeridad varía directamente, en función del tipo de material que se emplee en el diseño y construcción. Se recomienda el montaje con acero debido a que la velocidad puede ser superior a la del sonido, pero es más costoso, mientras que para materiales plásticos la velocidad del fluido es más lenta pero mucho más económica. El análisis se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2

Valores de celeridad del acero y PVC.

Material	Coficiente elástico del material (G)	Celeridad (a) m/s
Acero	0.50	1110.00
PVC	20/30	200.00

Fuente: Guamán (2011).

Para diversos diámetros de tubería, el caudal de aspiración y el caudal de impulsión esperable tiene ratio entre las presiones de 1:5. Lo más recomendable es que los diferentes diámetros de tubería tengan una ratio de caudales muy similares, tanto en la utilización del caudal mínimo o caudal máximo. Es decir, el porcentaje de caudal impulsado frente al total de aspiración tiene una variación de un 13.33% y un 12% para el caudal mínimo.

Para el caso de tener un caudal máximo, estos porcentajes sufren una pequeña variación, de entre un 12.5% y un 12%. Esto refuerza el montaje de confiabilidad dentro de un proyecto, ya que sus resultados pueden ser extrapolables de manera práctica y directa a un posible modelo de tubería con una dimensión mayor, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

Caudales para ratio de 1:5 (H y h).

Aspiración D (in)	Impulsión D (in)	Aspiración Min Q (L/min)	Impulsión Min. Q (L/min)	Aspiración Máx. Q (L/min)	Impulsión Máx. Q (L/min)
¾	½	2.83	0.37	7.57	0.94
1	½	5.67	0.75	22.71	2.83
1 – ¼	¾	7.57	0.94	37.85	4.54
1 – ½	¾	9.46	1.13	56.77	6.62
2	1	11.35	1.43	124.9	15.14
2 – ½	1 – ¼	45.42	567	170.3	20.43
3	1 – ½	75.70	9.46	283.8	34.0
4	2	113.5	13.6	567.7	68.13

Fuente: autoría propia a partir de Smith (2015).

En este mismo sentido, se toma en consideración la comparación entre un caudal mínimo versus el caudal máximo de impulsión, como se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 4

Caudales y curva característica con 2in de aspiración.

Caudal mínimo diario de impulsión (0.37 L/min)	Caudal máximo diario de impulsión (13.6 L/min)
=0.37×60 mín×24horas =532.8l	=13×60 mín×24horas =18.720l
Caudal de Agua suficiente para abastecer una pequeña vivienda	Caudal de Agua suficiente para abastecer a una población de 100 habitantes
En el estudio de factibilidad se toma en cuenta una bomba de 2 in de diámetro en la tubería de aspiración: 1 ft = 0.3048m; 1cfs = 28.32 l /s	

Fuente: autoría propia.

Con estas condiciones, se procede a realizar el diseño de la bomba de ariete hidráulico, tomando en cuenta características fundamentales como el entorno productivo (fabricación, montaje, calidad y transporte), el entorno de utilización (funciones, prestaciones, fiabilidad y mantenimiento), el entorno social (ergonomía, seguridad, impacto ambiental y vida útil).

Dentro de este estudio de factibilidad el ariete se adaptará a las siguientes condiciones: disponibilidad de los materiales existentes en el medio, disponibilidad de las herramientas, máquinas, equipos, mano de obra especializada y mingas, facilidad de instalación y montaje en el lugar de bombeo, facilidad de operación y mantenimiento. Estas consideraciones van en función del factor económico de la comunidad de Lumbisí y de acuerdo a las instituciones públicas y privadas que apadrinan los proyectos comunitarios, tomando en cuenta

que se trata de un sistema de bombeo relativamente sencillo, de mediano costo y de fácil adquisición en el mercado.

En los parámetros de diseño del sistema de bombeo mecánico, se toma en consideración: la cantidad de agua impulsada, $Q_f=4\text{L/s}$ funcionando las 24 horas; la altura disponible que es $H=17\text{m}$, medida mediante GPS; se considera para el análisis la altura mínima es de 1.5 a 2m de altura. Para la realizar los trabajos de obra civil, se ubican las bocatomas del "ojo de agua" y dimensiona el tanque de presión. Se toma en cuenta el volumen y la altura mínima sobre la tubería de presión para dimensionar la tubería de impulsión. El cálculo del diámetro de impulsión es uno de los parámetros de mayor importancia para el funcionamiento óptimo del sistema. El diámetro de la tubería de presión se determina con la ecuación (1) de Bondschú ($Q_f=0.001706\text{m}^3/\text{s}=2\text{L/s}$).

$$D = 1.27 * \frac{Q_f^{0.4268}}{(H + H_s)^{0.1423}} = 2 \text{ in} \quad (1)$$

Por la irregularidad de la zona, en el caso de tener una sobrepresión, se recomienda una tubería de hierro galvanizado, por las propiedades mecánicas que posee para el montaje a la intemperie. Esta debe contar con un diámetro interior de 57.65mm, diámetro exterior de 60.30mm, espesor de 2.65mm y una presión de absorción de trabajo de 21 Kg/mm². Esta tubería garantiza un factor de seguridad, capaz de soportar las sobrepresiones debidas al golpe de ariete, a fin de evitar una posible cavitación. La sección de la tubería de impulsión se observa en la ecuación (2):

$$A = \frac{\pi * D_i^2}{4} = 0.00261\text{m}^2 \quad (2)$$

La longitud de la tubería, de impulso debe estar entre el rango: $L/D_{ext} \geq 150$ y $L/D_{ext} \leq 1000$ y la fuente de suministro de agua a la bomba es $\theta=28$ grados y 0.846m lineal de las válvulas y neplo, como se indica en la ecuación (3) y (4).

$$L = \frac{H}{\sin \theta} = 36\text{m} + 0.84\text{m} = 36.84\text{m} \quad (3)$$

$$150 \leq \frac{36.84}{0.0603} \leq 1000 \quad (4)$$

La velocidad del agua en la tubería de impulsión se mira en la ecuación (5).

$$V_0 = \frac{Q_f}{A} = 0.62 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (5)$$

El volumen del tanque de presión $i=1\%$ de la pendiente del terreno y $g=9.8\text{m/s}^2$ gravedad se indica en la ecuación (6).

$$V = \frac{0.693 * A * V_0^2}{i * g} = 0.67m^3 \quad (6)$$

La altura de descarga o elevación se mide en la ecuación (7).

$$h = (10 \text{ a } 12) * H = (10) * 17 + 170m \quad (7)$$

Para el cálculo de las pérdidas en la tubería Hr, se tiene que ubicar el número de Reynolds y la rugosidad relativa para verificar si el fluido es laminar ($Re < 2000$), transición ($2000 < Re < 4000$) o turbulento ($Re \geq 4000$). En el diagrama de Moody se obtiene $\lambda = 0.0258$. El valor de pérdida por accesorios calculado es de $\Sigma K = 8.45$ como se visualiza en la ecuación (8).

$$Hr = 1 + \lambda \frac{L}{D_i} \Sigma K = 26m \quad (8)$$

El espesor mínimo de la tubería de impulso es $P = 0.246 \text{ Kg/mm}^2$. Como presión total de la carga se tiene $D_{ext} = 60.3\text{mm}$; $S_p = 1.5 \text{ Kg/mm}^2$ es el coeficiente de seguridad y $C = 1.27\text{mm}$ la disminución de la tubería por roscado. Todo ello, se verifica en la ecuación (9).

$$\delta m = \frac{P * D_{ext} *}{2 * S_p - 0.8 * P} + C = 0.0018m \quad (9)$$

En consecuencia, la tubería de impulso seleccionada cumple con las especificaciones requeridas de diseño para un trabajo óptimo, según se puede observar en la Tabla 5.

Tabla 5

Tubería de impulso con hierro galvanizado.

Límite de fluencia	$S_f = 21 \text{ Kg/m}^2$
Esfuerzo máximo de trabajo	$S_p = 14 \text{ Kg/m}^2$
Diámetro Nominal	$D_n = 0.0508 \text{ m}$
Diámetro exterior	$D_e = 0.0603 \text{ m}$
Diámetro interior	$D_i = 0.05765 \text{ m}$
Espesor	$\delta = 0.00265 \text{ m}$

Fuente: autoría propia.

Es así que el espesor seleccionado es de 0.00265m y el espesor calculado es de 0.0018m ; por lo tanto, la tubería soporta, de manera eficiente, la presión total de la carga.

Con respecto al dimensionamiento del tanque reservorio, se toma en cuenta la ubicación (el sector de El Tablón está ubicado 300 metros lineales desde el ariete con una altura de descarga de 100 metros); la forma (el tanque reservorio se recomienda trapezoidal para que se compacte de mejor manera la geomembrana); Quishpe Sacancela, E. y Cusi Sacancela, J. (2024). Estudio para la implementación de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en Lumbisí, Ecuador. *Revista Cotopaxi Tech*, 4(1), 118-130. <http://ojs.istx.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/120>
enero - julio (2024) ISSN 2806-5573

el ingreso del agua (por medio del tendido de manguera negra de presión de 1 pulgada de 150 Psi); el tanque (debe tener un revestimiento de geomembrana HDPE de 2mm de espesor).

Para obtener las dimensiones adecuadas del tanque, se parte del caudal disponible, mediante varias pruebas de bombeo, como prueba y error en el campo. El volumen del tanque, el número de horas bombeadas diariamente (24 h/día), la carrera (20mm) de la válvula de impulso, el número de golpes por minuto (70 golpes), el caudal de descarga (4 L/min) y el tiempo de almacenamiento del agua (máx. 7 días), son factores que tomaron en cuenta para la escritura de la ecuación (10).

$$VT = Q * t = 40320 \frac{L}{\text{día}} = 40.32m^3 \quad (10)$$

Figura 3

Mapa de la zona, dimensiones de reservorio y volumen.



Fuente: autoría propia.

Tabla 6

Dimensiones del reservorio.

<i>I2</i>	<i>L2</i>	<i>h</i>	<i>I1</i>	<i>L2=L1</i>	
3.0m	5m	1.5m	4m	5m	Volumen=42.6mm³

Fuente: autoría propia.

El dimensionamiento es adecuado para almacenar dos días de caudal de reserva para que descargue la bomba 40.32m³ de agua sin ningún inconveniente. Según los datos obtenidos, se procede a realizar el análisis del caudal de descarga en función de la altura. Se tomó en consideración: el caudal de descarga q(L/min) en función de la altura de descarga h(m); carrera (S=20mm) Vs (S=10mm); altura disponible en el sitio (H=17m); pesos W (Kg) y la constante del resorte del muelle de ariete (K=22 Kg/mm).

Tabla 6

Caudal de descarga en función de la altura de descarga en una carrera de S=20mm.

S=20mm; H=17mm; K=22Kgf/mm		x 0.045mm 0.068mm	
Peso (V*I)	W₁ (Kg)	W₂ (Kg)	W₃ (Kg)
Altura de descarga	1.45	2.44	2.946
h(m)	q ₁ (L/min)	q ₂ (L/min)	q ₃ (L/min)
70.000	36.550	38.550	39.550
80.000	29.510	31.510	33.310
90.000	24.130	26.130	27.630
100.00	20.000	21.780	22.920
110.00	18.440	20.220	21.360
120.00	17.020	18.800	19.220
130.00	16.450	17.450	18.400
150.00	14.670	15.870	17.320
170.00	13.980	15.030	15.680

Fuente: autoría propia.

Tabla 7

Caudal de descarga en función de la altura de descarga en una carrera de S=10mm.

S=10mm; H=17mm; K=22Kgf/mm		x 0.045mm 0.068mm	
Peso (V*I)	W₁ (Kg)	W₂ (Kg)	W₃ (Kg)
Altura de descarga	1.45	2.44	2.946
h(m)	q ₁ (L/min)	q ₂ (L/min)	q ₃ (L/min)
70.000	12.38	14.95	16.38
80.000	11.38	13.56	15.36
90.000	10.60	12.32	13.82
100.00	9.890	11.65	12.94
110.00	8.750	10.53	11.78
120.00	7.790	9.290	10.56
130.00	7.130	8.330	9.560
150.00	5.800	6.780	8.350
170.00	4.890	5.710	7.780

Fuente: autoría propia.

En la comparación de las carreras S=10mm y S=20mm, se puede observar claramente que el caudal de descarga decrece con el incremento de la altura de descarga, haciendo que el agua en la tubería de impulso se mantenga en reposo cada vez que se cierre la válvula de impulso. Esto quiere decir que, a mayor altura Quishpe Sacancela, E. y Cusi Sacancela, J. (2024). Estudio para la implementación de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en Lumbisí, Ecuador. *Revista Cotopaxi Tech*, 4(1), 118-130. <http://ojs.istx.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/120>
enero - julio (2024) ISSN 2806-5573

de descarga, la velocidad del agua en la tubería de descarga relativamente decrece. Por lo tanto, se puede apreciar que, al variar las carreras y manteniendo el peso de las válvulas de impulso, aumenta el caudal de descarga. Consecuentemente, a mayor carrera, la velocidad del agua en la tubería de impulso se incrementa.

4. DISCUSIÓN

Al finalizar el estudio del sistema de bombeo con ariete hidráulico en la zona agrícola de la comunidad de Lumbisí, se puede afirmar que es factible. Se alcanza los objetivos de caudal de agua requeridos y la altura de entrega, cumpliendo con los parámetros de diseño hidráulicos establecidos. Los márgenes de error son mínimos que no afectan el desempeño de la bomba.

La duración del ciclo es adecuada para el funcionamiento del golpe de ariete, permitiendo elevar el máximo caudal de agua. La altura que puede desarrollar el ariete en función de la carrera es de $S=10\text{mm}$. De esta manera, tiene una adecuada sincronización generando los impulsos necesarios para llegar al tanque reservorio de caudal de agua.

En este contexto, la disminución de la eficiencia el diseño teórico es esperable si esta es mayor, especialmente, en los valores obtenidos de la presión de impulsión más elevados. Sin embargo, el caudal impulsado, si se mantienen en la tendencia de los ensayos empíricos de prueba y error con menos presión de impulsión, se observa que no es necesario que supere una ratio de razón 1:5 en las presiones. Esto hace que la eficiencia disminuya considerablemente a partir de ese punto.

5. CONCLUSIONES / CONSIDERACIONES FINALES

En la investigación se cumplió con el estudio de factibilidad técnica para obtener agua de riego para una zona de la comunidad de Lumbisí, desde un "ojo de agua", mediante un sistema de bombeo con ariete hidráulico. Para ello, se tomaron en cuenta parámetros ambientales y de funcionamiento adecuados para utilizar el golpe de ariete como una alternativa viable de utilización dentro de la zona rural, donde el agua es esencial para el cultivo.

La posibilidad de elevar un caudal de agua, sin la necesidad de energía eléctrica o combustibles fósiles, es una gran alternativa para combatir el cambio climático. Adicionalmente, la utilización de un ojo de agua, con su análisis bacteriológico respectivo, permite que el líquido vital sea apto para el regadío agrícola, piscicultura y consumo humano. Es decir que, el impacto sobre el medio ambiental y biodiversidad de la comunidad, es prácticamente nula.

El diseño del sistema de bombeo cuenta con un caudal constante del "ojo de agua" de 2L/s. El ariete hidráulico esta seteado a generar 70 golpes/min, carrera de 20mm y cuenta con una altura de 170 m.c.a., dando un caudal de descarga óptimo con una eficiencia de trabajo considerable. La bomba trabajó satisfactoriamente en la relación de longitud de la tubería establecida con su

Quishpe Sacancela, E. y Cusi Sacancela, J. (2024). Estudio para la implementación de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en Lumbisí, Ecuador. *Revista Cotopaxi Tech*, 4(1), 118-130.

<http://ojs.istx.edu.ec/index.php/cotopaxitech/article/view/120>

enero - julio (2024) ISSN 2806-5573

respectivo diámetro calculado. Si la longitud y diámetro de la tubería están fuera del rango de operación de diseño, el golpe de ariete puede verse seriamente afectado, generando una sobrepresión, afectando a todo el sistema de bombeo.

Finalmente, el sistema de bombeo con ariete se encuentra sometido a grandes esfuerzos. Por esto, se recomienda tener la debida precaución en su operación y capacitando periódicamente al personal operativo elegido por la comunidad.

6. REFERENCIAS

Asamblea Constituyente. (2008). *Constitución del Ecuador*.

Cabildo de la Comuna de Lumbisí. (2019). *Proyecto de Plan de Vida Lumbisí 2015*.

Castillo, L. G. (2018). *Apuntes de la asignatura Obras Hidráulicas*. Departamento de Ingeniería Minera y Civil. [Tesis de Ingeniería hidráulica, Pontificia Politécnica de Cartagena, España]. Repositorio Institucional.

Fikri, R. (2019). The performance and efficiency rating evaluation of a hydraulic ram pump prototype with height variations. *Jurnal Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung*, vol. 7, N 1, pp. 11 - 18.

Guamán, D. (2011). *Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico*. [Tesis de ingeniería, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Institucional.

Rebolledo, L. (1979). *Comunidad y resistencia el caso de Lumbisí durante la colonia*. Abya - Yala.

Slack, D.C. Eshenaur, W.C. y Berkas, T.H. (1984). Predicting the performance of a water-pumping hydraulic ram. *International Journal for Development Technology*. International Center for Technical Research.

Sanches de Alemdia, L. (1998). Working Mothers and their Multivoiced Self. *Revista Colombiana*.

Tuquinga, R. y Paredes, M. (2013). *Diseño de instalaciones de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en la comunidad de Airón Cebadas*. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba - Ecuador]. Repositorio Institucional.

Wanchai Asvapoositkul, D. (2019). Determination of Hydraulic Ram Pump Performance: Experimental Results. *Hindawi: Advances in Civil Engineering*, vol. 11, pp. 11 - 23.