



**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**EFICIENCIA DE BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO DE
2” PARA ABASTECER UN SISTEMA DE RIEGO
TECNIFICADO EN EL CASERIO NUEVA VICTORIA,
DISTRITO LA PECA, PROVINCIA DE BAGUA, REGIÓN
AMAZONAS**

**Autores : Bach. Sheila Delgado Romero
Bach. Joselito Guerrero Vislao
Asesor : Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón.**

Registro (.....)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2021



**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**EFICIENCIA DE BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO DE
2” PARA ABASTECER UN SISTEMA DE RIEGO
TECNIFICADO EN EL CASERIO NUEVA VICTORIA,
DISTRITO LA PECA, PROVINCIA DE BAGUA, REGIÓN
AMAZONAS**

**Autores : Bach. Sheila Delgado Romero
Bach. Joselito Guerrero Vislao
Asesor : Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón.**

Registro (.....)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A Dios por obsequiarme vida y guiarme en cada paso para lograr metas trazadas.

A mi padre mi ángel quien siempre me inculco valores y enseñanzas que me ayudaron a ser mejor persona cada día.

A mis familiares, amigos y docentes que confiaron y me alentaron a seguir adelante.

Con mucho cariño para todos ustedes...

Sheila

A Dios por guiarme en cada paso de mi vida.

A mi padre y mi hermana que me ayudaron a ser mejor persona cada día.

A mis amigos y docentes que me alentaron a seguir adelante.

Joselito.

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme sabiduría para hacer realidad uno de mis grandes sueños.

A mis padres que me apoyaron y orientaron en cada una de las etapas de mi vida.

A mis familiares, amigos y docentes que de alguna u otra forma me ayudaron e instruyeron en mi formación profesional.

A todos ustedes muchas gracias...

Sheila

A Dios por guiarme en cada paso para lograr mis sueños.

A mi padre y hermana que estuvieron siempre apoyándome.

A mis amigos y docentes que confiaron en mí.

Joselito.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Dr. Policarpio Chauca Valqui
Rector

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón
Vicerrector Académico

Dra. Flor Teresa García Huamán
Vicerrectora de Investigación

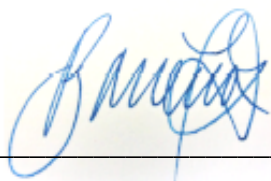
M.SC. Rosalynn Yohanna Rivera López
Decana de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR

Yo **Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón**, docente de la UNTRM, hago constar que he asesorado la ejecución de la tesis titulada **“Eficiencia de bomba de ariete hidráulico de 2” para abastecer un sistema de riego tecnificado en el caserío Nueva Victoria, Distrito La Peca, Provincia de Bagua, Región Amazonas.**”, elaborado por los tesistas Bachiller **Sheila Delgado Romero** y Bachiller **Joselito Guerrero Vislao**, egresados de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.

El doctor en Ciencias e Ingeniería de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza que suscribe, da la conformidad al informe final de la tesis antes suscrita, por estar de acuerdo a los lineamientos de la institución.

Chachapoyas, 02 de setiembre del 2021



Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

Asesor

JURADO EVALUADOR



Ph. D. Ligia Magali García Rosero
Presidente



M. Sc. Crithian Junior Gastulo Tapia
Secretario



Lic. José Luis Quispe Osorio
Vocal

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO	II
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	III
VISTO BUENO DEL ASESOR.....	IV
JURADO EVALUADOR.....	V
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT.....	XI
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	4
2.1. ZONA DE ESTUDIO.....	4
2.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO CON BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO	5
a) <i>Fuente hídrica.....</i>	5
b) <i>Tanque de alimentación.....</i>	5
c) <i>Determinación de la altura de alimentación para la instalación de la bomba </i>	6
d) <i>Tubería de alimentación a la bomba de ariete hidráulico.....</i>	7
e) <i>Bomba de ariete hidráulico de 2”.....</i>	8
f) <i>Determinación de la altura de descarga.....</i>	9
g) <i>Tubería de conducción del agua bombeada.....</i>	10
h) <i>Funcionamiento de la bomba de ariete.....</i>	11
2.3. EFICIENCIA DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO.....	14
III. RESULTADOS.....	16
3.1. BOMBA DE ARIETE	16
3.2. CAUDAL ELEVADO.....	16

3.3. EFICIENCIA DE LA BOMBA DE ARIETE.....	17
3.4. MANTENIMIENTO DE LA BOMBA DE ARIETE	20
3.5. VOLUMEN A AGUA BOMBEADO DISPONIBLE PARA CULTIVOS	20
IV. DISCUSIÓN.....	23
V. CONCLUSIONES.....	27
VI. RECOMENDACIONES.....	28
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
ANEXOS.....	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Caudal elevado según altura de elevación.	17
Tabla 2. Eficiencia del ariete según altura de elevación	18
Tabla 3. Requerimientos de agua para diferentes cultivos a escala mundial según la FAO.	21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.....	4
Figura 2. Entrada del agua a la tubería desde el embalse al reservorio.	5
Figura 3. Tanque de alimentación de la bomba de ariete hidráulico.	6
Figura 4. Determinación de la altura de la bomba de ariete.	7
Figura 5. Tubería de alimentación a la bomba de ariete.....	7
Figura 6. Bomba de ariete hidráulico con dos válvulas de impulso, desmontada e instalada.	9
Figura 7. Alturas de elevación respecto de la bomba de ariete.	10
Figura 8. Tubería de conducción de agua bombeada.	11
Figura 9. Esquema del funcionamiento del ariete hidráulico.	12
Figura 10. Primera etapa del funcionamiento de una bomba de ariete hidráulico.	12
Figura 11. Segunda etapa del funcionamiento de una bomba de ariete hidráulico.	13
Figura 12. Tercera etapa del funcionamiento de una bomba de ariete hidráulico.....	13
Figura 13. Cuarta etapa del funcionamiento de una bomba de ariete hidráulico.....	14
Figura 14. Esquema de evaluación de la bomba de ariete.....	15
Figura 15. El tanque de alimentación se encuentra en la parte superior izquierda, la bomba de ariete en la parte izquierda, en la parte inferior se muestra la medida de agua perdida, en la parte derecha se muestra el sistema de tuberías y las mediciones según alturas evaluadas.	16
Figura 16. Caudal elevado por la bomba en función de la altura de elevación.....	17
Figura 17. Eficiencia de la bomba de ariete según altura de elevación.....	19
Figura 18. Necesidades de agua por persona.....	21

RESUMEN

La bomba de ariete hidráulico (BAH) es un mecanismo que funciona con la energía del agua en movimiento conducida por una tubería inclinada entre la fuente de agua y la bomba, para elevar el agua sin generar ningún impacto negativo al ambiente. El objetivo de la investigación fue determinar la eficiencia de una bomba de ariete hidráulico de 2” para abastecer un sistema de riego tecnificado en el Caserío Nueva Victoria, Distrito La Peca, Provincia de Bagua, Región Amazonas. Se instaló una BAH de dos válvulas de cierre, a 3 m de desnivel del tanque de alimentación de agua proveniente de un canal de riego, para elevar agua hasta 5, 10, 15 y 20 m de altura, donde se obtuvieron los siguientes caudales elevados y eficiencias: 0,409 l/s y 19,07 %; 0,149 l/s y 7,90 %; 0,117 l/s y 6,22 %; 0,065 l/s y 3,61 %; respectivamente. Ecuaciones cúbicas modelan la relación caudal elevado versus altura de descarga y eficiencia versus altura de descarga para la BAH evaluada. A mayor altura de descarga la BAH presenta menor caudal elevado y menor eficiencia; sin embargo, al tener costo de operación casi cero, cumple con la finalidad de bombear agua para satisfacer la demanda de las personas, ganado y cultivos, haciendo un uso racional y eficiente del recurso hídrico.

Palabras claves: Eficiencia, Altura de alimentación, Altura de descarga, cultivos, recurso hídrico

ABSTRACT

The hydraulic ram pump (HWP) is a mechanism that works with the energy of moving water driven by an inclined pipe between the water source and the pump, to raise water without generating any negative impact on the environment. The objective of the research was to determine the efficiency of a 2" hydraulic ram pump to supply a technified irrigation system in the Nueva Victoria Village, La Peca District, Bagua Province, Amazonas Region. A BAH with two shut-off valves was installed, 3 m above the water supply tank coming from an irrigation canal, to lift water up to 5, 10, 15 and 20 m high, where the following high flow rates and efficiencies were obtained: 0.409 l/s and 19.07 %; 0.149 l/s and 7.90 %; 0.117 l/s and 6.22 %; 0.065 l/s and 3.61 %; respectively. Cubic equations model the relation high flow versus discharge head and efficiency versus discharge head for the BAH evaluated. The higher the discharge head, the BAH presents lower high flow and lower efficiency; however, since it has almost zero operating cost, it fulfills the purpose of pumping water to meet the demand of people, livestock and crops, making a rational and efficient use of water resources.

Key words: Efficiency, Feeding height, Discharge height, crops, water resources.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es considerada una fuente de vida indispensable para la subsistencia de distintas especies animales y vegetales, la podemos encontrar en distintos lugares visibles, como nubes, ríos, en la nieve y en el mar (Rivadeneira, 2013). La escasez de agua, debido a las consecuencias de los cambio climático y al incremento de las sequías, impone el cuidado del agua, priorizando obras de canalización, almacenamiento y la implementación de tecnología apropiada de bombeo de agua, no solamente para las viviendas sino también para las huertas, plantaciones y otras necesidades productivas de la zona rural; las diferentes actividades relacionadas a la agricultura y la ganadería dependen mayoritariamente de la provisión adecuada de los recursos hídricos, el cual contribuye un pilar fundamental en el desarrollo económico (Barney, 2013).

El abastecimiento de agua está supeditado a la disponibilidad de fuentes de energía compatibles con las condiciones sociales, culturales y económicas de los sectores con menores recursos. Con frecuencia, es necesario aplicar técnicas de elevación de agua para posibilitar su aprovechamiento mediante un trabajo de bombeo. Los equipos más difundidos para elevación de agua de tipo convencional son las motobombas y las electrobombas. Las primeras aprovechan la energía de combustibles derivados del petróleo y las segundas la energía eléctrica para impulsar una bomba centrífuga. Sin embargo, los combustibles, hidrocarburos y la electricidad no son las fuentes de energía más adecuadas al ámbito rural y urbano marginal, debido a las dificultades relacionadas con el almacenamiento, transporte y distribución, además de ocasionar desechos que contaminan el ambiente (Ayala, 2005).

La bomba de ariete fue inventada en el año 1796 por Joseph Montgolfier (Urkiá 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). Ante la problemática de los combustibles fósiles, el ariete hidráulico, también conocido como bomba de ariete es una alternativa, ya que, es un sistema de impulsión que se caracteriza por aprovechar la energía potencial de un desnivel de agua para elevar parte de su caudal a una altura superior, sin necesidad de energía externa ni de ningún tipo de combustible (Campaña & Guamán, 2011). Este sistema ha sido desarrollado por el Grupo de Apoyo al Sector Rural (Grupo PUCP), desde el año 1985, han elaborado varios prototipos que vienen funcionando en distintos lugares de

nuestro país y el extranjero, dando solución a los problemas de abastecimiento de agua en zonas agrícolas. Según estudios de este grupo, estos equipos tienen dos condiciones mínimas y necesarias para su funcionamiento, los cuales son: la altura y el caudal de alimentación. Cabe resaltar que uno de sus primeros proyectos fue desarrollado en Huacho (1990), donde se utilizó una bomba de 10" de diámetro con una válvula de derrame, para irrigar 10 hectáreas de un terreno para el cultivo de frutas y hortalizas.

A pesar que la bomba de ariete es de gran utilidad, su desarrollo tecnológico se vio olvidado por la llegada de las bombas centrífugas, cayendo poco a poco en desuso a causa de una mayor eficiencia de estas últimas. No obstante, debido al mal uso que actualmente se da a los recursos naturales y al daño ocasionado al medio ambiente, la población ha tomado conciencia de esta situación y están empezando a utilizar fuentes de energías que no contribuyan al deterioro del planeta. Es por esto que en los últimos años habido un gran interés por los dispositivos de energía renovable, no sólo porque no contaminan y no tienen ningún impacto ambiental durante su operación, sino también porque los actuales precios del petróleo y de la electricidad han provocado una incapacidad de los sistemas de riego. Además de esto, muchos países no cuentan con la disponibilidad de una fuente hídrica para sus necesidades básicas y no tienen muchos recursos económicos. La opción de llevar a cabo la construcción de un ariete hidráulico es muy apropiada, ya que su costo de operación es muy bajo porque no consume energía eléctrica y requiere un mantenimiento mínimo, por lo que el ariete hidráulico es prácticamente auto sostenible (Oti, 2017).

El tema del mantenimiento es ligeramente sencillo debido a que se compone de pocas piezas de reemplazo, solo estaría comprendido por limpieza y lubricación (Rivadeneira y Silva, 2013). El equipo solo requiere la sustitución de pequeños elementos de goma y, además, procurar que no lleguen a las válvulas: pequeñas piedras, hojas o lodos desde la toma de agua. (Romero, 2014).

Es importante fomentar y estimular su utilización, por varias razones: su bajo costo, su fácil manejo y auto-propulsión de energía para realizar su trabajo sin descanso durante las 24 horas del día y los 365 días del año sin ningún gasto (Oti, 2017). Debido a la naturaleza del ariete su instalación es conveniente, cuando existe suficiente agua disponible, lo cual significa que el agua desperdiciada por la válvula de impulso no es de gran importancia (Campaña & Huamán, 2011).

Jiménez (2011), concluyó que es de suma importancia que la instalación de la tubería de suministro tenga una considerable longitud con una pendiente mínima, para conseguir una mayor columna de agua, con el fin de aumentar la sobrepresión y en consecuencia la altura de descarga será mayor, además si, en el tanque de alimentación el caudal disminuye, la fuerza que provocará el cierre de la válvula de impulso también disminuirá. Para ello tendremos que calibrar las pesas alojadas en el vástago de la válvula de cierre para compensar la variación de la fuerza. La eficiencia del ariete hidráulico es baja, pero se compensa con su funcionamiento continuo logrando satisfacer la demanda en el punto de consumo.

En nuestra localidad en las épocas de estiaje se aflora y evidencia la reducción considerable de las fuentes de agua, asimismo a este dilema se enlaza el inadecuado aprovechamiento del poco caudal hídrico que origina y desencadena una notable y latente variación en el rendimiento y calidad de la producción agropecuaria, trayendo consigo consecuencias considerables en la economía local. La geografía accidentada en gran parte de la Provincia de Bagua, tiene lugares muy adecuados para implementar y aprovechar sistemas de uso en energías renovables, que no generan daños a la salud ni al ambiente ya que no se emplean combustibles fósiles de ningún tipo ni energía eléctrica, entre ellas podemos detallar: eólica, hidráulica, solar y biomasa. Entre las aplicaciones de la energía hidráulica tiene como principal y significativa la elevación de agua de una fuente constante que fluye más abajo del lugar al cual se desea hacer llegar este preciado recurso renovable, parte del caudal constante y fluyente se puede desviar a un recipiente para su almacenamiento, el cual posteriormente servirá como caudal de alimentación mediante tubería de PVC para una bomba de ariete hidráulico de 2" que estará ubicada por debajo de este a una altura considerable para cumplir con el objetivo.

El presente trabajo de investigación está enfocado en determinar el caudal elevado y la eficiencia de una bomba de ariete hidráulico de 2" con dos válvulas de cierre a diferentes alturas de elevación, la cual nos permitirá recomendar como alternativa para solucionar problemas o abastecer con el recurso hídrico a zonas superiores e inaccesibles a las fuentes de agua que puede ser viviendas, parcelas con terrenos agrícolas o pastizales. Esta máquina hidráulica genera costos mínimos por operación y mantenimiento, los cuales aseguran su sostenibilidad y vida útil, asimismo no afecta la economía de quienes acceden a este ingenio, sino por el contrario es de gran ayuda en su vida cotidiana.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Zona de estudio

Esta investigación se realizó en el Caserío Nueva Victoria, Distrito La Peca, Provincia de Bagua, Región Amazonas, en la parcela de la señora Isabel Sánchez Paucar (Figura 1). El clima de Bagua se caracteriza por ser “Seco y Cálido”, presenta la mayor deficiencia de agua habiéndose calculado un déficit de 924 mm/año, considerada como la zona más seca del territorio amazonense. (Gobierno Regional Amazonas & Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana, 2017). El terreno es accidentado (ladera), lo que impide el cultivo o el mantenimiento constante de la producción, los sembríos de cultivos agrícolas y/o pastos para ganado vacuno, solamente prosperan en épocas de lluvia, que son de diciembre hasta abril; el resto del año no son cultivados, las plantas que quedan instaladas padecen en su desarrollo debido a la sequía porque no hay forma de irrigar a causa de lo accidentado del terreno y que no existe cerca una fuente de agua. Por la parte inferior cruza un canal de agua, el cual es utilizado por los agricultores para irrigar sus parcelas que se encuentran debajo de este canal; parte de este recurso hídrico fue desviado y utilizado en la investigación.

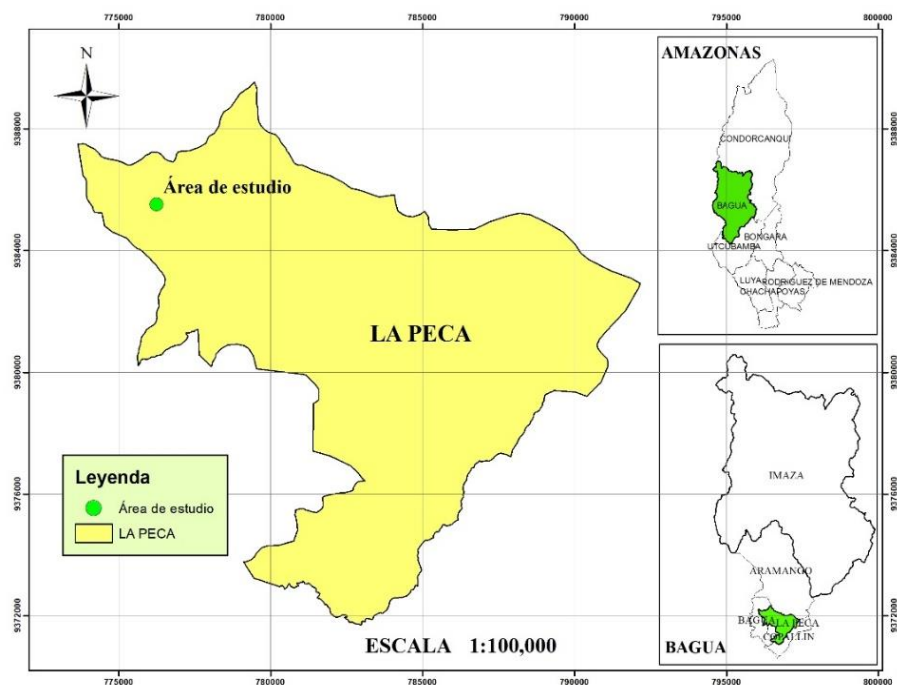


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio

2.2. Implementación del sistema de bombeo con bomba de ariete hidráulico

a) Fuente hídrica

Se dispuso de un canal de regadío como fuente hídrica, el cual tiene un caudal permanente durante todo el año, sirve como fuente de irrigación a los agricultores que tienen sus parcelas a lo largo de este canal.

Para el embalse se realizó una represa artesanal utilizando rocas de regular magnitud, también se cavo una zanja en dirección a la ubicación del cilindro de metal (tanque de alimentación) donde se fijó un tubo de PVC de 4" de diámetro x 2.9 m de largo empalmado a la superficie del canal; esta tubería nos sirvió para trasladar el agua hasta el tanque de alimentación, este proceso se puede apreciar en la figura 2.



Figura 2. Entrada del agua a la tubería desde el embalse al reservorio.

b) Tanque de alimentación

Se utilizó un cilindro de metal (Figura 3) con capacidad de almacenamiento de 200 litros en el cual se almacenó el caudal necesario para que nuestra bomba funcione, fue instalado a 1 m de desnivel con respecto al embalse, se tapó con una malla de filtración, para evitar el ingreso de pequeñas piedras, hojas y lodo que puedan alterar el funcionamiento de la bomba. El tubo de 4" que transporta el agua desde el embalse reposa sobre la parte superior del reservorio. En la parte inferior del cilindro se soldó un niple de 2" de fierro galvanizado, este sirvió para el empalme de una llave de compuerta de 2" para alimentar a la bomba de ariete.



Figura 3. Tanque de alimentación de la bomba de ariete hidráulico.

c) Determinación de la altura de alimentación para la instalación de la bomba

La altura de alimentación o altura disponible, es la distancia entre el desnivel de la fuente y la base de la bomba de ariete, se puede considerar un valor entre 2 y 5 metros como altura final requerida para bombear el agua (Rojas, 2013). El desnivel de trabajo fue calculado desde el tanque de captación (reservorio) hasta donde se instaló el ariete hidráulico. Para calcular dicho desnivel se realizó un levantamiento topográfico con jalones de 5 metros de altura y nivel de mano. La altura disponible para la instalación de la bomba fue de tres metros (3 m) de desnivel dentro de los cuales se evaluaron los siguientes parámetros: caudal de ingreso, caudal perdido, altura de alimentación, caudal de alimentación.



Figura 4. Determinación de la altura de la bomba de ariete.

d) Tubería de alimentación a la bomba de ariete hidráulico

La tubería de alimentación (Figura 5), estuvo constituida por tubos de PVC pesado de 2” para agua, los cuales se empalmaron con uniones universales de PVC quedando perfectamente rectilínea y rígida, esta tubería une el reservorio de alimentación con la bomba, la cual tiene 13.70 m de longitud.



Figura 5. Tubería de alimentación a la bomba de ariete.

e) Bomba de ariete hidráulico de 2"

La bomba de ariete de dos pulgadas (figura 6), fue diseñada por el Dr. Miguel Barrena Gurbillón, investigador del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES –CES), cuyos planos se muestra en la figura 6 y el anexo 1. El cuerpo de la bomba se ensambló con accesorios de gasfitería de fierro galvanizado de 2", dos te de 2", un codo de 90°, un codo de 45° y cinco miples de 2" de largo. El cuerpo de cada válvula de cierre o impulsora se fabricó en un torno a partir de tubo de fierro de alta presión de 1,5" de diámetro, el disco de cierre, su eje guía y contrapesos se fabricaron de fierro comercial, también en torno; a cada válvula se le colocó un resorte en su eje guía, entre el disco de cierre y el puente del cuerpo, el tanque de compresión de aire se hizo de tubo de fierro galvanizado de 3" de diámetro por 60 cm de largo; en un extremo de este tubo se soldó una brida de seis orificios y en el otro extremo se soldó una semiesfera de fierro para cerrarlo; a 10 cm de la base de este tanque se insertó un tubo para descarga de agua de 1" por 20 cm de largo. En la base del tanque se colocó una válvula check constituida por una empaquetadura de neopreno con lona, en cuyo centro se empernó un disco de fierro (2" de diámetro x 1/4" de espesor) como contrapeso para ayudar a cerrar. La bomba de ariete se instaló sobre una base de madera, como soporte fijo, a su vez también a los extremos de esta se plantó estacas de madera para mejorar la estabilidad de la bomba y no la afecte la presión del caudal de alimentación, también se colocó debajo y alrededor de la bomba, una manta de plástico grueso para canalizar el agua perdida o desechada durante el funcionamiento de la bomba, hacia un balde de plástico de 4 litros, en el cual se midió el caudal perdido, también se determinara el número de golpes por minuto de la bomba.



Figura 6. Bomba de ariete hidráulico con dos válvulas de impulso, desmontada e instalada.

f) Determinación de la altura de descarga.

El agua impulsada por la bomba de ariete proporciona una altura que puede estar comprendida entre los valores de 4 o 6 veces la altura de alimentación (Peralta, 2015)

La altura de descarga (figura 7), fue calculada desde el ariete hidráulico, hasta las diferentes alturas elevadas. Para calcular dicho desnivel se realizó un levantamiento topográfico con jalones de 5 metros de altura y nivel de mano. Las alturas de elevación han sido (5 m, 10 m, 15m, 20m), dentro de los cuales se evaluaron los siguientes parámetros: altura de elevación, caudal final, presión, tiempo de recorrido.



Figura 7. Alturas de elevación respecto de la bomba de ariete.

g) Tubería de conducción del agua bombeada

La tubería de conducción del agua bombeada estuvo constituida en su mayoría por tubería de PVC de 1" para agua (figura 8), se ancló firmemente sobre horcones de madera hasta el nivel del reservorio de alimentación, luego continuo su recorrido tendido sobre el suelo en dirección hacia la parte más alta del terreno, debido a la falta de recursos no se instaló un reservorio de descarga, pero si se calculó la cantidad de caudal elevado en un balde de plástico de 5 litros. La tubería está conectada con uniones universales empalmadas entre sí, inicia en la parte inferior de la cámara de aire, consta con una salida en tubería de fierro galvanizado de 1" de diámetro x 10 cm de longitud, luego está se sujeta a 2 m de manguera, la cual se empalma y se ajusta con una abrazadera, por el otro extremo de la manguera se une con tubería de PVC de 1" y se empalma con abrazadera, ajustándola con retazos de neopreno para evitar fuga de agua. A 0.40 metros del empalme se instaló un manómetro, que servirá para medir la presión generada por el golpe de ariete en función de la diferencia de altura elevada de la bomba de ariete hidráulico cuyo rango de medida va desde 0 hasta 85 lb/pulg² (psi). La longitud a las diferentes alturas elevadas con respecto de la bomba es: a 5 m de hay 16.70 m, a 10 m hay 35.3 m, a 15 m hay 55.3 m y a 20 m hay 78.1 m respectivamente.



Figura 8. Tubería de conducción de agua bombeada.

h) Funcionamiento de la bomba de ariete

El principio del funcionamiento del ariete se ilustra en la figura 9, el agua procedente del tanque de alimentación, desciende por gravedad por la tubería de suministro (debido al desnivel en relación con el ariete hidráulico) con un caudal determinado, parte de este caudal se desecha al llegar al cuerpo de la bomba donde están las válvulas de cierre del ariete con una velocidad suficiente para que su presión dinámica cierre estas válvulas. El cierre brusco de estas válvulas produce el efecto conocido como golpe de ariete, lo cual produce una sobrepresión en la tubería de suministro que genera la apertura de la válvula de retención (válvula check) y permite el paso de cierta cantidad de agua hacia la cámara de aire, comprimiendo el aire existente en ella y hace que ascienda cierta cantidad de agua por la tubería de descarga. Luego, el peso del agua, la presión del aire y el peso del disco de hierro, cierran la válvula de retención, con lo que el agua que viene por la tubería de alimentación tiende a retroceder, generando un vacío o succión que abre las dos válvulas de cierre.

De esta manera se crean las condiciones para que el proceso se convierta en cíclico. El aire comprimido continúa impulsando el líquido almacenado en el tanque de compresión de aire por la tubería de descarga, lográndose así una entrega de agua casi uniforme hacia el depósito de descarga.

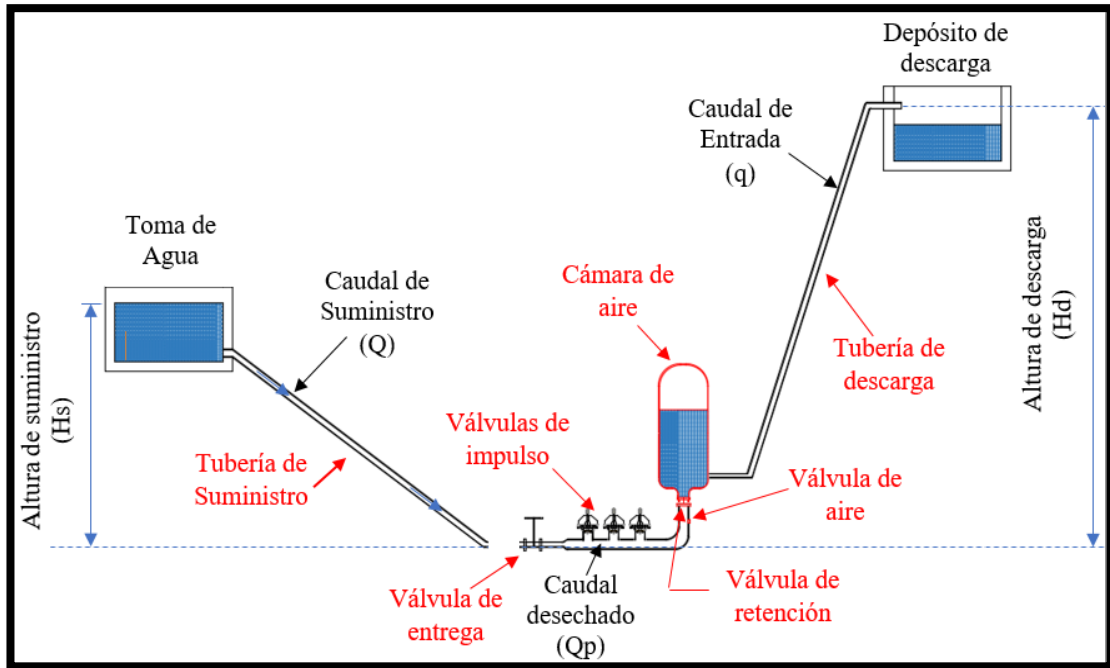


Figura 9. Esquema del funcionamiento del ariete hidráulico.
Fuente: Chero, 2018.

La bomba de ariete hidráulico de 2" realiza cuatro etapas o fases durante su funcionamiento, las cuales se detallan a continuación:

Primera etapa: El caudal Q de agua se acelera en su caída desde la fuente a lo largo del tubo de alimentación AB , alcanzando una velocidad suficiente para hacer que se cierren hacia arriba las válvulas C (Figura 10), durante lo cual se desecha parte del agua (Q_d).

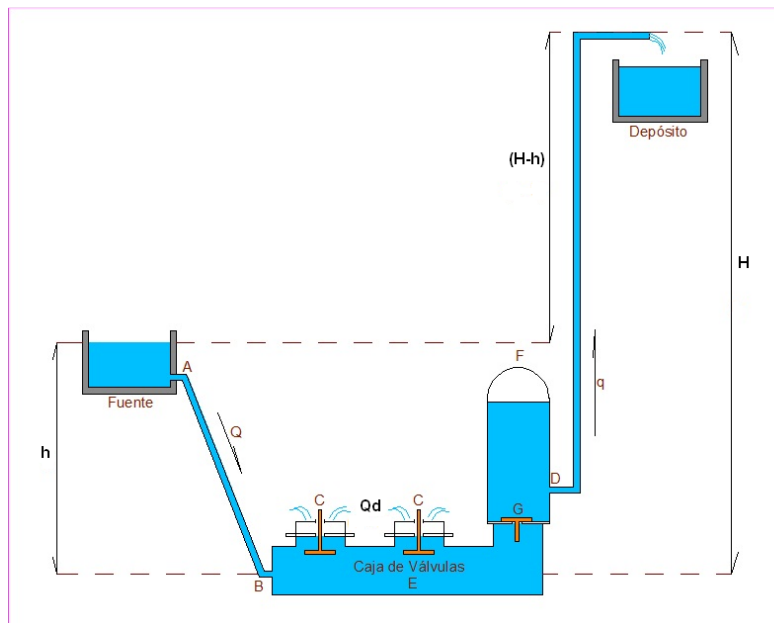


Figura 10. Primera etapa del funcionamiento de una bomba de ariete hidráulico.
Fuente: Guevara y Melendez, 2011.

Segunda Etapa: El cierre de las válvulas produce una percusión y crea una fuerte presión al detenerse bruscamente el agua generándose el golpe de ariete, que abre hacia arriba la válvula G pasando un chorro de agua al depósito F que comprimirá el aire (Figura 11).

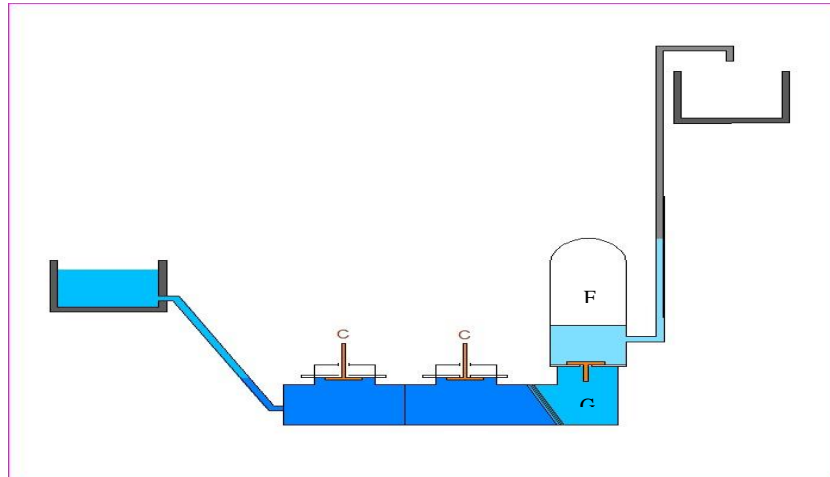


Figura 11. Segunda etapa del funcionamiento de una bomba de ariete hidráulico.
Fuente: Guevara y Melendez, 2011.

Tercera etapa: El aire se comprime en el depósito F hasta que la mayor presión existente reduzca a cero la velocidad del agua, entonces la válvula G se cierra reteniendo el volumen de agua que penetró y que, por efecto de la elasticidad del aire, es impulsada a través de la tubería de descarga D hacia el depósito. Cerrada la válvula G, la depresión oscilatoria (presión negativa) del golpe de ariete abre las válvulas C, completándose el ciclo (Figura 12).

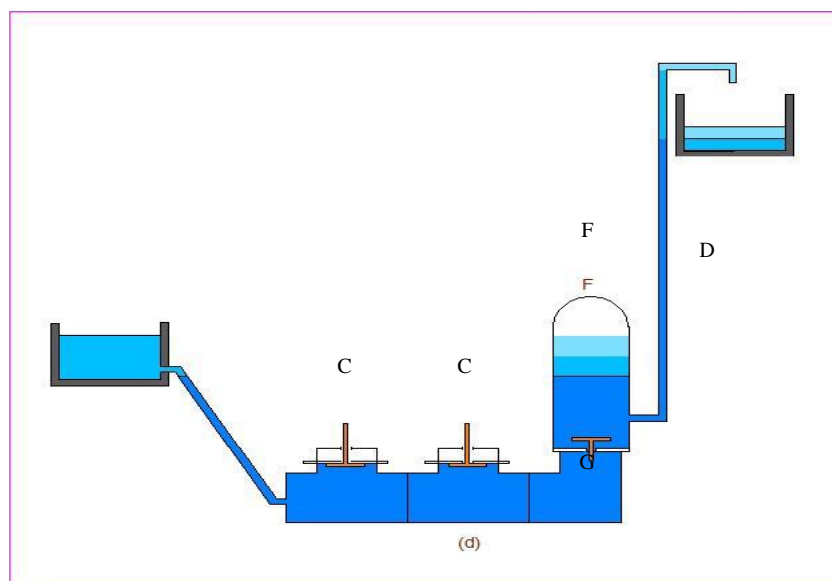


Figura 12. Tercera etapa del funcionamiento de una bomba de ariete hidráulico.
Fuente: Guevara y Melendez, 2011.

Cuarta etapa: En cada golpe de ariete (el ritmo suele ser de uno o dos golpes por segundo), el agua pasa al depósito donde se comprime el aire. Este volumen de aire hace fluir el agua con continuidad por la tubería de descarga a un caudal (Q_e), menor al alimentado (Q). El agua desechada mientras se cierran las válvulas C, regresará a la fuente sin generar desperdicio, con un caudal Q_d . El funcionamiento automático del aparato se logra después de accionar varias veces las válvulas C, moviendo su vástago hacia abajo y hacia arriba. Para detener el funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico, es suficiente mantener cerradas estas válvulas durante algunos instantes (Figura 13). Hay sólo tres piezas móviles, por lo tanto, hay poco desgaste.

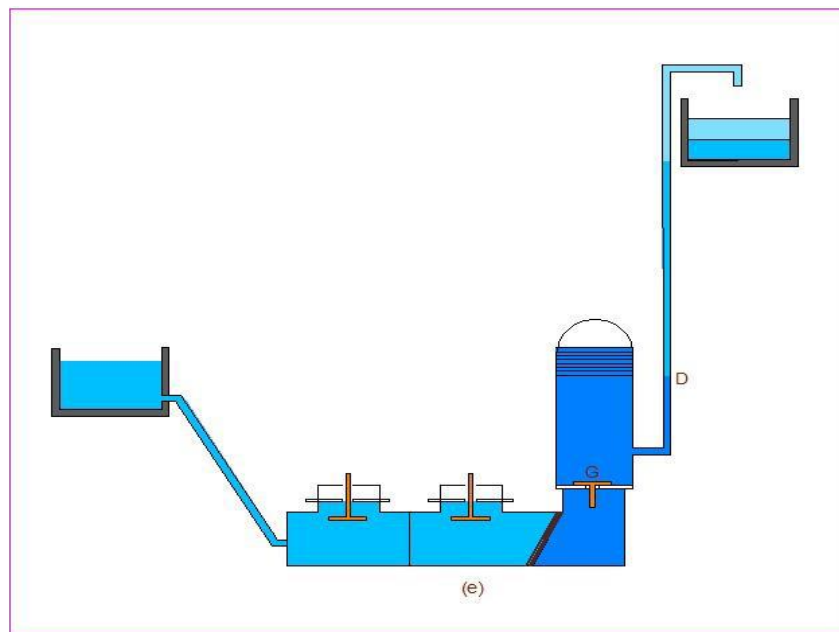


Figura 13. Cuarta etapa del funcionamiento de una bomba de ariete hidráulico
Fuente: Guevara y Melendez, 2011.

2.3. Eficiencia de la bomba de ariete hidráulico

La eficiencia (η) de la bomba de ariete hidráulico es el cociente entre el caudal elevado (Q_e) y el caudal de alimentación (Q_a). El valor de Q_a es la suma del caudal desechado (Q_d) por la bomba de ariete hidráulico más el caudal elevado (Q_e); entonces, la ecuación para calcular la eficiencia, es la siguiente:

$$\eta = \frac{Q_e}{Q_a}$$

Fuente: Mori y López (2011).

Donde:

η : eficiencia de la bomba de ariete hidráulico.

Q_a : caudal de alimentación ($Q_a = Q_d + Q_e$).

Q_e : caudal elevado por la bomba de ariete hidráulico.

En la figura 14, se muestra el esquema de instalación de la bomba de ariete y la recolección de los datos según cada una de las alturas elevadas.

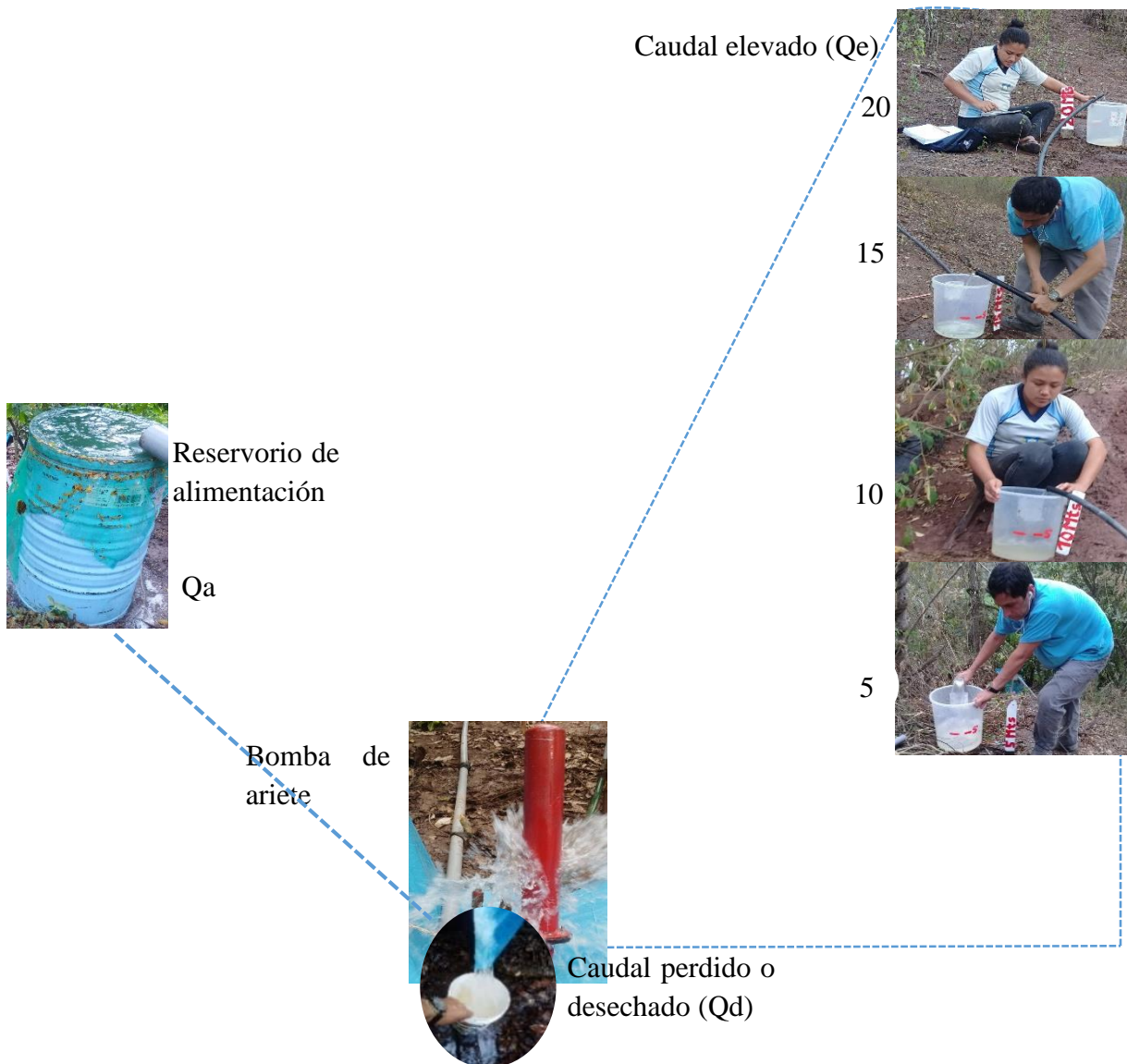


Figura 14. Esquema de evaluación de la bomba de ariete.

III. RESULTADOS

3.1. Bomba de ariete

En la figura 15, se muestra la implementación y funcionamiento de la bomba de ariete según las alturas evaluadas, en cual ha demostrado elevar agua suficiente para almacenar y satisfacer la demanda de las personas, su ganado y sus cultivos. El sistema fue instalado con un desnivel de 3 metros entre el tanque de alimentación y la bomba de ariete, dicha bomba fue alimentada con un caudal entre 2.150 a 1,815 litros por segundo. El número de cierre de las válvulas de impulso están entre 49 a 55 golpes/minuto. El caudal perdido esta entre 1.690 a 1.699 litros por segundo. La presión al final del cierre esta entre 37,857 a 44,143 psi. Estos datos es el promedio de los resultados obtenidos durante siete días, se realizaron cuatro pruebas diarias a las diferentes alturas de elevación (anexo 4).



Figura 15. El tanque de alimentación se encuentra en la parte superior izquierda, la bomba de ariete en la parte izquierda, en la parte inferior se muestra la medida de agua perdida, en la parte derecha se muestra el sistema de tuberías y las mediciones según alturas evaluadas.

3.2. Caudal elevado

El caudal elevado por la bomba de ariete hidráulico, disminuyó de acuerdo a la altura de elevación o de descarga, lo cual también produjo un aumento en el número de cierres de las válvulas, así como la presión generada en el tramo de la tubería de conducción del agua bombeada. La altura máxima de descarga evaluada ha sido de 20 metros de desnivel respecto de la bomba. En la tabla 1 se muestra los datos promedios del caudal de agua elevado, según altura de elevación y caudal de alimentación, así como el caudal perdido.

Tabla 1. Caudal elevado según altura de elevación.

Altura de elevación (Metros)	Altura de alimentación (Metros)	Caudal de alimentación (L/s)	Cierre de válvulas (golpes/min)	Caudal elevado(L/S)	Caudal perdido (L/s)	Presión al final del Cierre (PSI)
5	3	2.150	49	0.409	1.690	37.857
10	3	1.890	51	0.149	1.692	40.786
15	3	1.884	53	0.117	1.715	43.964
20	3	1.815	55	0.065	1.699	44.143

Como puede observarse en la Tabla 1, la bomba de ariete ha elevado entre 0.409 l/s a 0.065 l/s, lo que significa que el caudal bombeado disminuyó a medida que aumentó la altura de elevación, con estos datos se determinó una ecuación cubica. En la figura 16, se muestra la variación del caudal elevado por la bomba de ariete hidráulico de 2" con dos válvulas de impulso, en función de la altura de elevación.

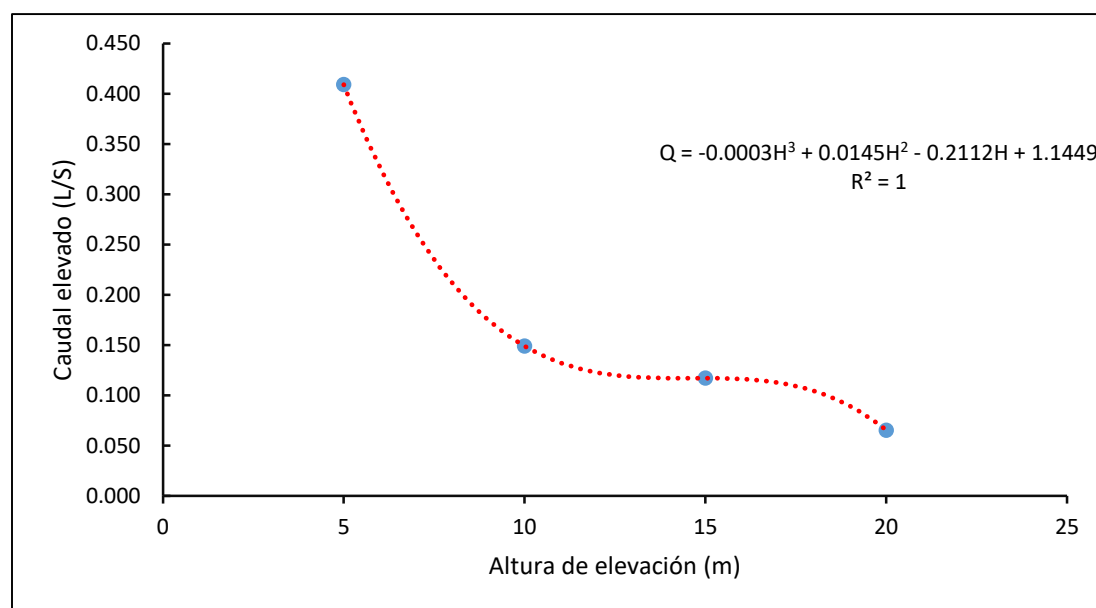


Figura 16. Caudal elevado por la bomba en función de la altura de elevación

3.3. Eficiencia de la bomba de ariete

Para determinar la eficiencia del abastecimiento de agua por la bomba de doble válvula de impulso para abastecer un sistema de riego tecnificado, se tomó datos experimentales a diferentes alturas de elevación con respecto a la ubicación de la bomba, dichas alturas fueron a 5 m, 10 m, 15 m y 20 m; para cada altura se midió el caudal de agua elevado y la eficiencia de la bomba.

Para medir el caudal de agua en el punto de descarga, se utilizó un cronometro donde se calculó el tiempo en que se llenó un balde plástico de 5 litros, este procedimiento se repitió cuatro veces diarias durante una semana y se reportó solo el valor promedio. El caudal pasa por un cilindro de metal, el cual sirvió como reservorio de alimentación para la bomba de ariete. Este cilindro tiene una capacidad de 200 litros. La bomba de ariete hidráulico es alimentada con un caudal promedio de 2.150 l/s a 1.815 l/s. En la tabla 2, se muestra la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico según el caudal elevado, se evidencia que, a mayor altura de elevación, la eficiencia es menor; por ejemplo, a 5 metros de elevación, la eficiencia es de 19.07 % en comparación a 20 metros de elevación donde la eficiencia es de 3.61 %; por cual, se evidencia que es posible utilizar la energía hidráulica para impulsar agua sin utilizar combustible fósil.

Tabla 2. Eficiencia del ariete según altura de elevación

Altura de elevación (Metros)	Altura de alimentación (Metros)	Caudal de alimentación (L/s)	Caudal elevado (L/s)	Caudal perdido (L/s)	Eficiencia (n) %
5	3	2.150	0.409	1.690	19.07%
10	3	1.890	0.149	1.692	7.90%
15	3	1.884	0.117	1.715	6.22%
20	3	1.815	0.065	1.699	3.61%

Como puede observarse en la Tabla 2, la bomba de ariete ha generado una eficiencia entre 19.07 % a 3.61 %, para la altura máxima y mínima elevada respectivamente, lo que significa que la eficiencia va disminuyendo a medida que aumenta la altura de elevación. En la figura 17, se muestra la variación de la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico de 2” con dos válvulas de impulso, en función de la altura de elevación.

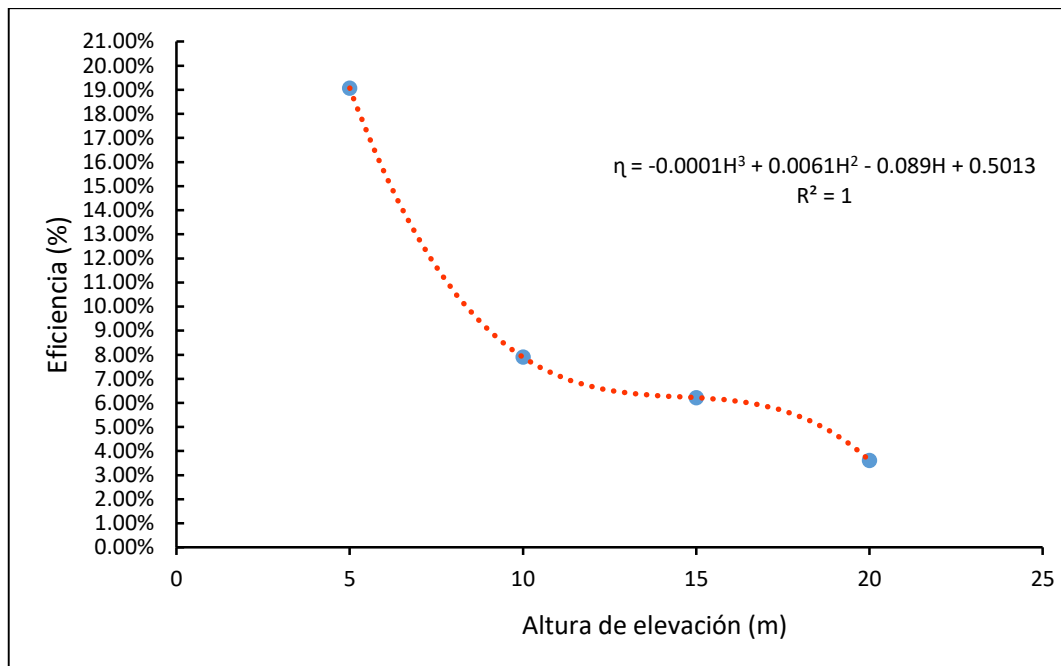


Figura 17. Eficiencia de la bomba de ariete según altura de elevación.

Con los datos obtenidos en la tabla 2, se ha encontrado una ecuación polinómica de grado tres (ecuación cúbica), que ayuda a predecir la eficiencia según la altura de elevación que pueda tener la bomba de ariete para un correcto funcionamiento y con ella determinar el caudal elevado. Esta ecuación, permite estimar la eficiencia de la bomba de ariete teniendo en consideración la altura de elevación, manteniendo constante el caudal de ingreso y el desnivel de alimentación entre la bomba y el tanque de alimentación.

$$\eta = -0.0001H^3 + 0.0061H^2 - 0.089H + 0.5013$$

Donde:

η : eficiencia de la bomba de bomba de ariete hidráulico.

H: altura de elevación.

En la tabla 2, se muestra la eficiencia de la bomba de ariete en función de la altura de descarga. La parte más alta del terreno a donde se quiere elevar esta agua se encuentra a 20 metros de altura de elevación con respecto a la bomba. A pesar que el caudal elevado disminuye con el aumento de desnivel de la altura de descarga, se habrá bombeado 0.065 l/s, esto equivale a 3.9 l/min y 234 l/h, con lo cual tendrá agua suficiente para abastecer sus necesidades básicas del día, su ganado y sus cultivos.

3.4. Mantenimiento de la bomba de ariete

La bomba de ariete requiere de un mínimo mantenimiento, sus partes móviles son las válvulas de impulso y la válvula de descarga, por lo que su desgaste es poco. Los principales mantenimientos a hacer son:

- Limpiar el reservorio de alimentación prolongadamente debido a que en su base podría almacenar sedimentos que alteraría el normal funcionamiento de la bomba y el desgaste constante de las piezas.
- Desmontar e inspeccionar la bomba de ariete una vez al mes, para pintar las partes oxidadas, ajustar tuercas flojas, verificar el estado de la empaquetadura de jebe y lona que une las bridas de la válvula de descarga, y reponer algún resorte deteriorado por su constante uso.
- Verificar que no haya fuga de caudal en la tubería de suministro a la bomba y en la tubería de descarga ya que esto puede afectar la eficiencia de la bomba.

3.5. Volumen a agua bombeado disponible para cultivos

Debido a escasas de agua en este terreno se debe implementar un sistema de riego tecnificado que vaya acorde con las necesidades y la economía de las familias para aprovechar eficientemente este recurso hídrico. Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2009), la demanda de agua por persona es de 150 litros por día para beber, cocinar, aseo personal, lavar la ropa y para limpieza de la casa (Figura 18). Si la familia consta de 5 miembros, requerirá como mínimo 750 l/día.

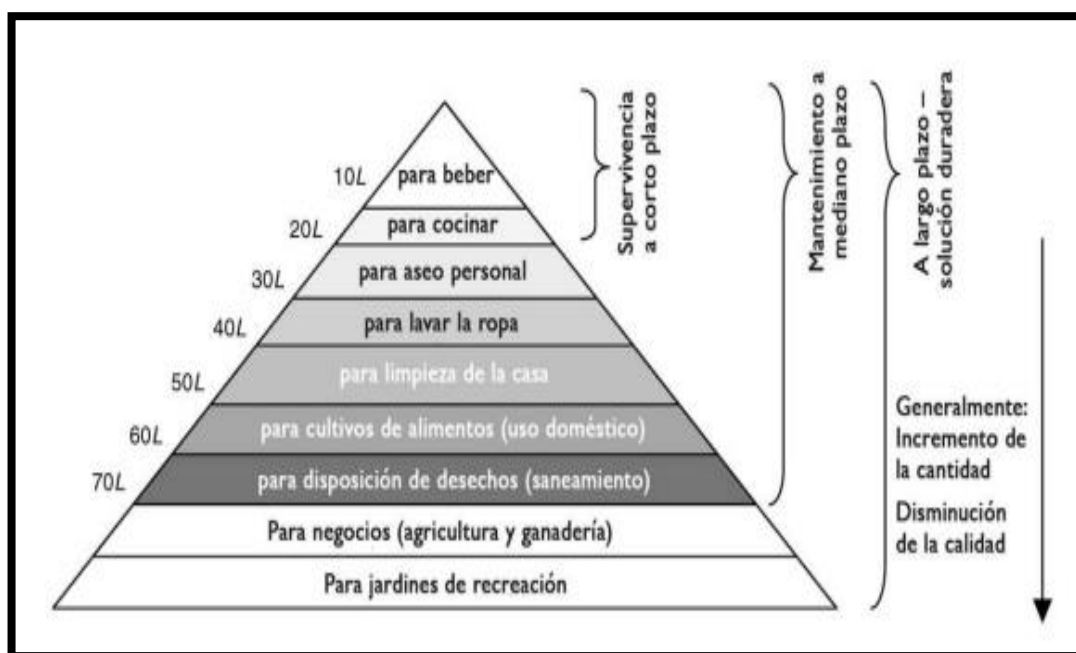


Figura 18. Necesidades de agua por persona.
Fuente: OPS, 2009.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (2012), nos dice que los requerimientos de agua no son los mismos en cualquier lugar del planeta, las demandas de agua pueden variar según el tipo de cultivo y la zona geográfica donde estén sembrados. La demanda de agua para cultivos de frutales se muestra en la tabla 3, detalla un valor promedio mundial.

Tabla 3. Requerimientos de agua para diferentes cultivos a escala mundial según la FAO.

CULTIVO	DEMANDA DE AGUA (L/ha por día)
Maíz	16000 – 32000
Tomate	16000– 35000
Soya	16000 – 41000
Piña	22000 – 68000
Palta	13000 – 54000
Caña de azúcar	41000 - 54000

Fuente: FAO, 2012.

La bomba de ariete hidráulico evaluada en la presente investigación, puede bombear un promedio de 3,78 l/min, es decir, 226 l/h, lo que equivale a 5443 l/día, volumen que supera lo requerido por la familia de 5 miembros que es de 750 l/día. El reservorio requerido debe tener una capacidad de almacenamiento de 5 mil litros. Teniendo en consideración los cultivos de la tabla 3, y la cantidad de volumen de agua recaudado por día, se evidencia que en tres días se podrá regar una hectárea de árboles frutales, mientras que en dos días promedio se podrá regar una hectárea de pastos.

Se debe tener en cuenta que cada cultivo tiene diferentes tipos de siembra, y por ende diferente demanda hídrica, es por eso que la cantidad de agua va a depender del tipo de suelo, la estación del año, el viento, la humedad ambiental, la cantidad de las últimas lluvias, etc.

IV. DISCUSIÓN

Las cuestiones relativas al uso y la gestión de los recursos hídricos se consideran problemas ambientales mundiales de importancia fundamental. Por estas razones, la planificación y el uso racional de los recursos hídricos es fundamental, dado que es uno de los insumos más importantes para la agricultura, el uso de este recurso en el riego agrícola con los métodos adecuados tiene gran importancia en términos de sostenibilidad de la producción agrícola (Hatipoğlu, Nakay, Köksal, & Fıđlalı, 2018). Considerando que un gran porcentaje de áreas agrícolas están muy alejadas del suministro eléctrico debido a las condiciones geográficas, la bomba de ariete hidráulico, que aprovecha los principios físicos y mecánicos básicos, es una alternativa que ha quedado demostrado en este estudio.

Se instaló una bomba de ariete de 2" con dos válvulas de impulso con resorte en cada una de ellas, denominada Prototipo INDES 111, en el caserío Nueva Victoria, Distrito La Peca, Provincia de Bagua, Región Amazonas, con la finalidad de determinar su eficiencia. La producción agropecuaria en esta parcela solo se implementa en temporadas de lluvia, mientras que en épocas de verano decae considerablemente ocasionando la pérdida de algunos productos, esto afecta la economía de esta familia, por esta razón se hace necesario implementar un sistema de riego de bajo costo, el cual ayude a mantener constante o mejorar la producción durante todo el año.

La capacidad de bombeo del ariete hidráulico depende del tamaño y por lo tanto del flujo de agua de suministro, así como de la entrega (altura). Por lo general, alrededor del diez por ciento del agua de conducción se bombea hacia arriba, disminuyendo a medida que aumenta la altura de entrega (Bosa et al., 2019). Este comportamiento también se observó en la presente investigación, lo cual es similar al comportamiento de una motobomba o una electrobomba, que, al incrementar la altura de descarga, el caudal elevado y la eficiencia de la bomba van disminuyendo.

Teóricamente, la distancia de desnivel entre la fuente y la base de la bomba de ariete, se puede considerar un valor entre 2 y 5 metros como altura final requerida para bombear el agua (Rojas, 2013). El agua impulsada por la bomba de ariete proporciona una altura que puede estar comprendida entre los valores de 4 o 6 veces la altura de alimentación (Peralta, 2015). Desde donde se ubicó el reservorio de caudal de alimentación hasta donde

se instaló la bomba de ariete hidráulico de 2", se tuvo una diferencia de altura de 3 m; por tanto, esta bomba debería elevar el agua como máximo hasta 18 m de altura de desnivel. Se alimentó con un caudal promedio de 2.150 l/s a 1.815 l/s a la bomba de ariete hidráulico con doble válvula de impulso y ha elevado el agua hasta una altura máxima de 20 m de desnivel, haciendo llegar un caudal de 0.065 l/s con 3.61 % de eficiencia. Según esto podemos decir que, para abastecer de agua a zona más alta de esta parcela con respecto a la ubicación de la bomba de ariete, se empleara 22,12 horas para llenar un recipiente con una capacidad de almacenamiento de cinco mil litros puede bombear un promedio de 3,78 l/min, es decir, 226 l/h, lo que equivale a 5443 l/día, lo cual será suficiente para atender las necesidades básicas diarias de una familia, su ganado y sus cultivos.

Si el reservorio con capacidad de 5000 litros de almacenamiento se instala a 15 m de altura de elevación con respecto a la ubicación de la bomba de ariete, la bomba de ariete hidráulico de 2" elevará el agua hasta este reservorio con un caudal de 0.117 l/s y una eficiencia de 6.22%, le demandará 11,88 horas para llenarlo. Con estos datos se puede afirmar que a mayor altura de elevación, con respecto a la ubicación de la bomba, la cantidad de caudal elevado va a disminuir y consigo también la eficiencia de la bomba; mientras que con el caudal purgado o perdido pasa lo contrario ya que a medida que aumenta la altura de elevación la cantidad de golpes de ariete asciende y con ello la cantidad de caudal perdido va aumentando, por ejemplo a 20 metros de elevación tenemos un caudal perdido de 1.699 l/s, 55 cierres de válvulas por minuto; mientras que a 15 metros de elevación tendremos un caudal perdido de 1.715 l/s y 53 cierre de válvulas por minuto.

El caudal elevado por la bomba de ariete hidráulica evaluada, descendió desde 0.409 l/s a 5 m hasta 0.065 l/s a 20 m de altura de descarga. El procesamiento de los resultados de los caudales a las diferentes alturas elevadas, ha permitido determinar que la tendencia es bien representada por una ecuación cubica de la forma: $Q = -0.0003H^3 + 0.0145H^2 - 0.2112H + 1.1449$.

Desde los años 80 se han propuesto contribuciones de investigación para optimizar su eficiencia a través de varias modificaciones. Kumar et al. (2016), sugieren una investigación más profunda, especialmente en consideraciones de diseño y fabricación para obtener el mejor diseño con una mayor eficiencia, es por ello que la bomba de ariete

INDES 111, se ha diseñado con doble válvula con resortes en cada una, y la fuerza elástica de los resortes permiten mayor fuerza para elevar agua con menor altura de alimentación. En un análisis de optimización de la eficiencia de una bomba de ariete hidráulico, Nambiar, Shetty, Thatte, Lonkar, & Jokhi, (2015), encontraron que son múltiples los parámetros que afectan la eficiencia como la forma de la válvula, el tamaño de la válvula, el tamaño del asiento del casquillo/válvula, la longitud de la carrera y el peso de la válvula, ya sea operada por resorte o con peso, y la orientación de la válvula.

La eficiencia de la bomba de ariete hidráulico evaluada, descendió desde 19,07 % a 5 m hasta 3,61 % a 20 m de altura de descarga o elevación. El procesamiento de los resultados de la eficiencia frente a la altura de descarga ha permitido determinar que la tendencia es bien representada por una ecuación cubica de la forma: $\eta = -0.0001H^3 + 0.0061H^2 - 0.089H + 0.5013$. Las ecuaciones cubicas obtenidas en el presente trabajo de investigación tanto para el caudal elevado como para la eficiencia en función de las alturas de descarga para la bomba de ariete evaluada pueden emplearse para modelar su operación de manera que se pueda determinar hasta que altura como máximo puede bombear el agua, aunque sea un caudal mínimo elevado. También servirá para determinar a cualquier altura la cantidad de caudal elevado y la eficiencia de esta bomba de ariete.

El ariete hidráulico utiliza la energía cinética del agua que fluye en un tubo conductor para bombear alrededor del 10% de ella a una mayor elevación, Inthachot, Saehaeng, Max, Müller, & Spreer, (2015), probaron diferentes válvulas en el laboratorio bajo diferentes elevaciones de la columna de agua en la tubería del conductor. Una válvula de retención de clapeta de uso corriente demostró ser la más importante y confiable con una eficiencia aceptable de más del 30%. En la presente investigación, la bomba de ariete hidráulico prototipo INDES 111, cumplió la función de elevar agua hasta los 20 m de altura fijados como objetivo de investigación, con una eficiencia promedio de 3,61%, valor aceptable teniendo en cuenta que el costo de funcionamiento de esta bomba es prácticamente cero, debido que para funcionar y bombear el agua hasta la altura requerida, sólo necesita la presión ejercida por el caudal de agua con la que se alimenta; mientras no le falte agua, la bomba de ariete hidráulico se convierte en una máquina de movimiento perpetuo.

En consecuencia, la bomba de ariete hidráulico prototipo INDES 111, puede elevar el agua hasta un reservorio de cinco mil litros de capacidad de almacenamiento ubicado a

una diferencia de 20 m de altura de desnivel con respecto a la bomba, para abastecer un sistema de riego tecnificado para frutales que, además, puede cubrir la demanda de agua para una familia y su ganado. El caudal elevado y la eficiencia de esta bomba van disminuyendo conforme se incrementa la altura de descarga, lo cual se debe al incremento de la cabeza hidráulica que, para vencerla, la bomba debe hacer mayor presión sobre el agua para bombearla.

Mori y López (2011) y Guevara y Melendez (2012), evaluaron la eficiencia de una bomba de ariete hidráulico similar a la empleada en la presente investigación; los primeros con una altura de alimentación de 3,8 m, obtuvieron una eficiencia de 52,16 % a 20 m de altura de descarga; y los segundos, con una altura de alimentación de 3,2 m, una eficiencia de 20,70 %, también a 20 m de altura de descarga. En la presente investigación, con 3 m de altura de alimentación, se obtuvo una eficiencia de 3,61 % a 20 m de altura de descarga.

Mori y López (2011) y Guevara y Melendez (2012), reportaron que ecuaciones cúbicas son las que modelan el funcionamiento de las bombas de ariete hidráulico que evaluaron. Similar tendencia se obtuvo en la presente investigación, puesto que también son ecuaciones cúbicas las que modelan el comportamiento de la eficiencia vs la altura de descarga y el caudal elevado vs la altura de descarga.

V. CONCLUSIONES

- Se ha determinado la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico prototipo INDES 111 con una altura de alimentación constante de 3 metros y un caudal de alimentación entre 1,8 a 2,2 litros/segundo, para elevar agua a una altura de 5, 10, 15 y 20 metros, con caudales desde 0,409 hasta 0,065 litros/segundo, con eficiencia de 19,07 % hasta 3,61% a 5 m y 20 m de altura de descarga, respectivamente; donde se evidencia que, a mayor altura de elevación, la eficiencia de la bomba disminuye.
- La ecuación cúbica $Q = -0.0003H^3 + 0.0145H^2 - 0.2112H + 1.1449$, modela el caudal elevado por la bomba de ariete hidráulico evaluada respecto a las alturas de elevación o descarga, permite estimar el caudal elevado respecto a la altura de descarga para futuras instalaciones de la bomba de ariete INDES 111, con la misma altura de alimentación 3 m.
- La ecuación cúbica $\eta = -0.0001H^3 + 0.0061H^2 - 0.089H + 0.5013$, modela la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico evaluada respecto a las alturas de elevación o descarga, permite estimar la eficiencia respecto a la altura de descarga para futuras instalaciones de la bomba de ariete INDES 111, con la misma altura de alimentación de 3 m.
- La bomba de ariete INDES 111, con una tubería de alimentación de 2 pulgadas y una tubería de descarga de 1 pulgada, utiliza la fuerza hídrica y el golpe de ariete para elevar agua sin utilizar combustibles fósiles ni electricidad, con la finalidad de cultivar terrenos ubicados en laderas para aprovechar las fuentes de agua, contribuyendo al impulso de la agricultura sostenible y el uso de energía limpia para mejorar la calidad de vida de sus usuarios.

VI. RECOMENDACIONES

- Para mejorar la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico que se utilizó en la presente investigación, se debe evaluar su funcionamiento con mayor altura de alimentación.
- Emplear el sistema de bombeo con bomba de ariete hidráulico instalado en el Caserío Nueva Victoria, distrito de La Peca, provincia de Bagua, región Amazonas, como Escuela de Campo para difundir esta tecnología amigable con el medio ambiente y ofrecer asistencia técnica a los que la requieran.
- Instalar un tanque de polietileno de 5 mil litros de capacidad como reservorio, para aprovechar el agua bombeada para un sistema de riego tecnificado.
- Emplear mangueras de polietileno de 2 pulgadas para alimentar la bomba de ariete en vez de tubos de PVC de 2 pulgadas que son más costosos y frágiles. Asimismo, manguera de polietileno de 1 pulgada para conducir el agua desde la bomba hasta el reservorio.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, P. (2008). La energía hidráulica. Centro integral de tecnología del agua (CITA). Cuba.
- Arapa, J. (2015). Evaluación del rendimiento del ariete hidráulico bah1.1/2 variando la longitud de la tubería de alimentación y condiciones de operación de la válvula de impulso. *Revista Anales Científicos*. Universidad Nacional Agraria La Molina. https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/485/pdf_23
- Aranguri, D (2018). Efectividad del Sistema de Bombeo con Ariete Hidráulico en la Zona Rural de La Provincia de San Pablo – Cajamarca. Tesis para optar el grado de doctor en ciencias con mención en GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2138/Efectividad%20del%20Sistema%20de%20Bombeo%20con%20Ariete%20Hidr%C3%A1ulico%20en%20la%20Zona%20Rural%20de%20La%20Provincia%20de%20San%20P.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ayala, M I, (2005) Proyecto de Tesis “Diseño y Construcción de un Ariete Multipulsor”, Loja- Ecuador.
- Barney, Eric (2013). *Bomba de ariete. Manejar recursos hídricos de Misiones con tecnología adecuada*. Artículo Educación ambiental, medio ambiente. Asociación argentina de energías renovables y medio ambiente. <https://estrucplan.com.ar/bomba-deariete-manejar-recursos-hidricos-de-misiones-con-tecnologia-adecuada/>
- Bosa, I. R., Monaco, P. A. V. Lo, Haddade, I. R., Barth, H. T., Roldi, V., Vieira, G. H. S., & Neto, A. C. (2019). Efficiency of Hydraulic Ram Pumps Made with Alternative Materials. *Journal of Experimental Agriculture International*, 31(4), 1–7. <https://doi.org/10.9734/jeai/2019/v31i430076>
- Campaña, C. y Guamán, D. (2011). *Diseño y construcción de una Bomba de Ariete Hidráulico*. Tesis para la obtención de título de Ingeniero Mecánico. Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Centro Nacional de Referencias en Pequeños Aprovechamientos Hidroenergéticos CERPCH (2002). *Carnero hidráulico, qué es y cómo construirlo*. <http://www.cerpch.unifei.edu.br/menus/01/carneiro.htm>.

- Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y Sequía (1995).
Pag 5 https://www.unccd.int/sites/default/files/relevant-links/2017-08/UNCCD_Convention_text_SPA.pdf
- Chero, A. (2018). Diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.
- Chi, M., & Diemer, P. (2002). Hydraulic Ram Handbook. China: BORDA.
- ENT/MAE/URC/GEF, (2012). Ecuador: Evaluación de Necesidades Tecnológicas para el Cambio Climático: Sector Riego. Quito, Ecuador. <https://tech-action.unepdtu.org/wp-content/uploads/sites/2/2013/12/evaluacionnecesidadestecnologicas-adaptacion-aguariego-ecuador-13.pdf>
- Food and Agriculture Organization. FAO (2012). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Recuperado de: https://www.cenicana.org/pdf_privado/historieta/uso_agua.pdf
- Gavidia, D (2016). Determinantes y efectos del riego tecnificado: Un análisis económico para la sierra norte de La Libertad. Cuaderno de investigacion. Edicion N° 21. https://usmp.edu.pe/idp/wp-content/uploads/2016/08/CDI_Gavidia.pdf
- Güere, F. (2010). Efecto de la fertilización orgánica en el establecimiento del pasto *Brachiaria brizantha* (Richard) Marandú en Supte San Jorge. Tesis Para optar el título de INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo Maria. <https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/416/T.CSA-32.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guevara, E y Melendez, A. (2012). *Instalación de un sistema de riego tecnificado abastecido con bomba de ariete hidráulico de doble válvula para una parcela de café, provincia de Rodríguez de Mendoza, Región Amazonas, 2010*. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Agroindustrial Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Grupo de Apoyo al Sector Rural (1985). Pontificia Universidad Católica Del Perú <http://www.pucp.edu.pe/invest/grupo>.
- Hatipoğlu, T., Nakay, İ., Köksal, E., & Fırlalı, A. (2018). Feasibility analysis of a hydraulic ram pump investment project. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(9), 9–12. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3491-9>

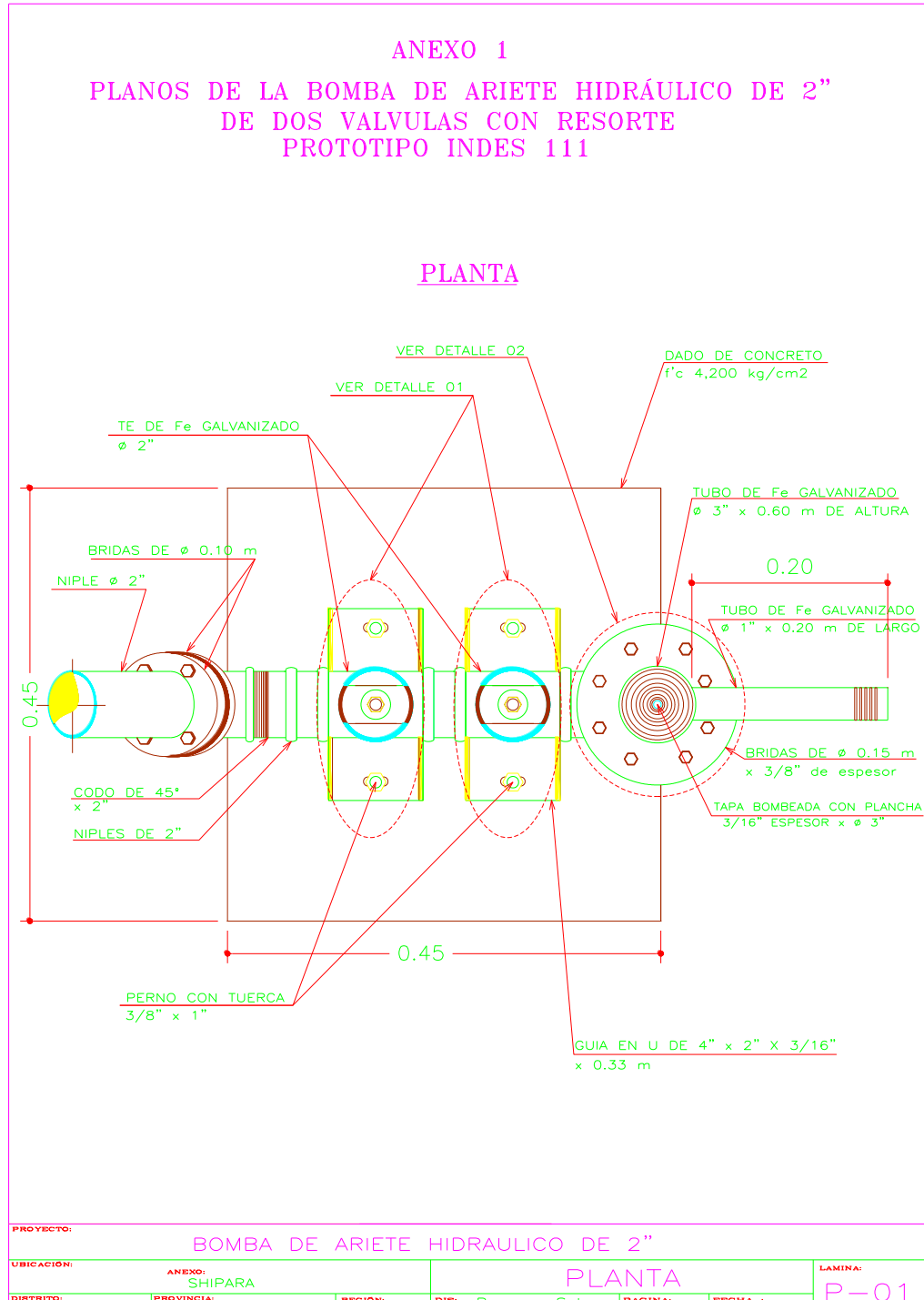
- Inthachot, M., Saehaeng, S., Max, J. F. J., Müller, J., & Spreer, W. (2015). Hydraulic Ram Pumps for Irrigation in Northern Thailand. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 5, 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.015>
- Izquierdo M. y Velásquez, A. (1992). *Ariete Hidráulico, Diseño, construcción y explotación*. Publicaciones internas, ISMM, Cuba.
- Jeffrey 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. 1º edición, pp 1-9.
- Jiménez R. (2011). *Cálculo, Diseño y Construcción de un Prototipo de Ariete Hidráulico*. Tesis de grado para obtener título de ingeniero mecánico electricista. Universidad Veracruzana. Veracruz-México.
- Kumar, H., Temesgen, Tedesse, B., Guttu, O., Kasi, M., Shemellis, ... Negassa, T. (2016). Pollution free design and manufacturing of hydraulic ram pump for villages in hill areas. *International Journal of Mechanical Engineering Research and Technology*, 2(2), 1–14.
- Mori, C. y Lopez, M. (2011). *Implementación de un sistema de riego tecnificado abastecido con bomba de doble ariete en el distrito de Molinopampa, Provincia de Chachapoyas, Región Amazonas*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Nambiar, P., Shetty, A., Thatte, A., Lonkar, S., & Jokhi, V. (2015). Hydraulic ram pump: Maximizing efficiency. *Proceedings - International Conference on Technologies for Sustainable Development, ICTSD 2015*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICTSD.2015.7095840>
- Oti, Pablo (2017). *Ariete hidráulico para riego. Diseño, construcción y montaje*. Tesis de pregrado. Universidad de Cantabria, España.
- Organización panamericana de la salud (2009). Notas técnicas sobre agua, saneamiento e higiene en emergencias. <https://www.paho.org/disasters/dmdocuments/Nota-tecnica-sobre-agua-saneamiento-higiene-09.pdf>
- Rivadeneira, S. y Silva, L. (2013). *Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico con el desarrollo de un software para su dimensionamiento*. Tesis de grado para la obtención de título de Ingeniero Mecánico. Universidad Politécnica Salesiana. Quito.
- Rojas, D. A. (2013). “Utilización de una Bomba de ariete para la alimentación de agua a predios rurales a partir de cauces naturales de agua. Iquitos-Perú.”

- Rojas, D. (2013). *Utilización de una Bomba de Ariete para la alimentación de agua a predios rurales, a partir de cauces naturales de agua. Iquitos-Perú*. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de La Amazonia Peruana.
- Romero G. (2014) El ariete hidráulico. Proyecto e instalación en Ntongui (Angola). Obtenido de Diseño y Tecnología para el Desarrollo: <http://polired.upm.es/index.php/distecd/article/view/2512/2590>
- Peralta, H. (2015). Aplicación del golpe de Ariete hidraulico para el aprovechamiento del agua de manantial en Quequerana Moho. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4602>
- Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (21 de marzo del 2019). Y tu, ¿conoces los beneficios del riego tecnificado?. Secretaria de Agricultura y Desarrollo rural. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/y-tu-conoces-los-beneficios-del-riego-tecnificado>
- Urkia Lus I y Urkia Lus S. 2003. Energía Renovable Práctica. 1º edición, pp 72-75. ISBN: 978-84-7681-375-1. Editorial Pamiela.
- Zegarra, E. 2002 “La investigación social sobre el manejo del agua de riego en el Perú Una mirada a conceptos y estudios empíricos” En: Pulgar-Vidal, M. Urrutia, J. E. Zegarra, editores. Perú: el problema agrario en debate. SEPIA IX. Lima: Seminario Permanente de investigación agraria, pp. 319-348
- Zonificación Ecológica y Económica del Departamento de Amazonas (2017). Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. Pag 15. [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/estudio de la propuesta de zee.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/estudio%20de%20la%20propuesta%20de%20zee.pdf)

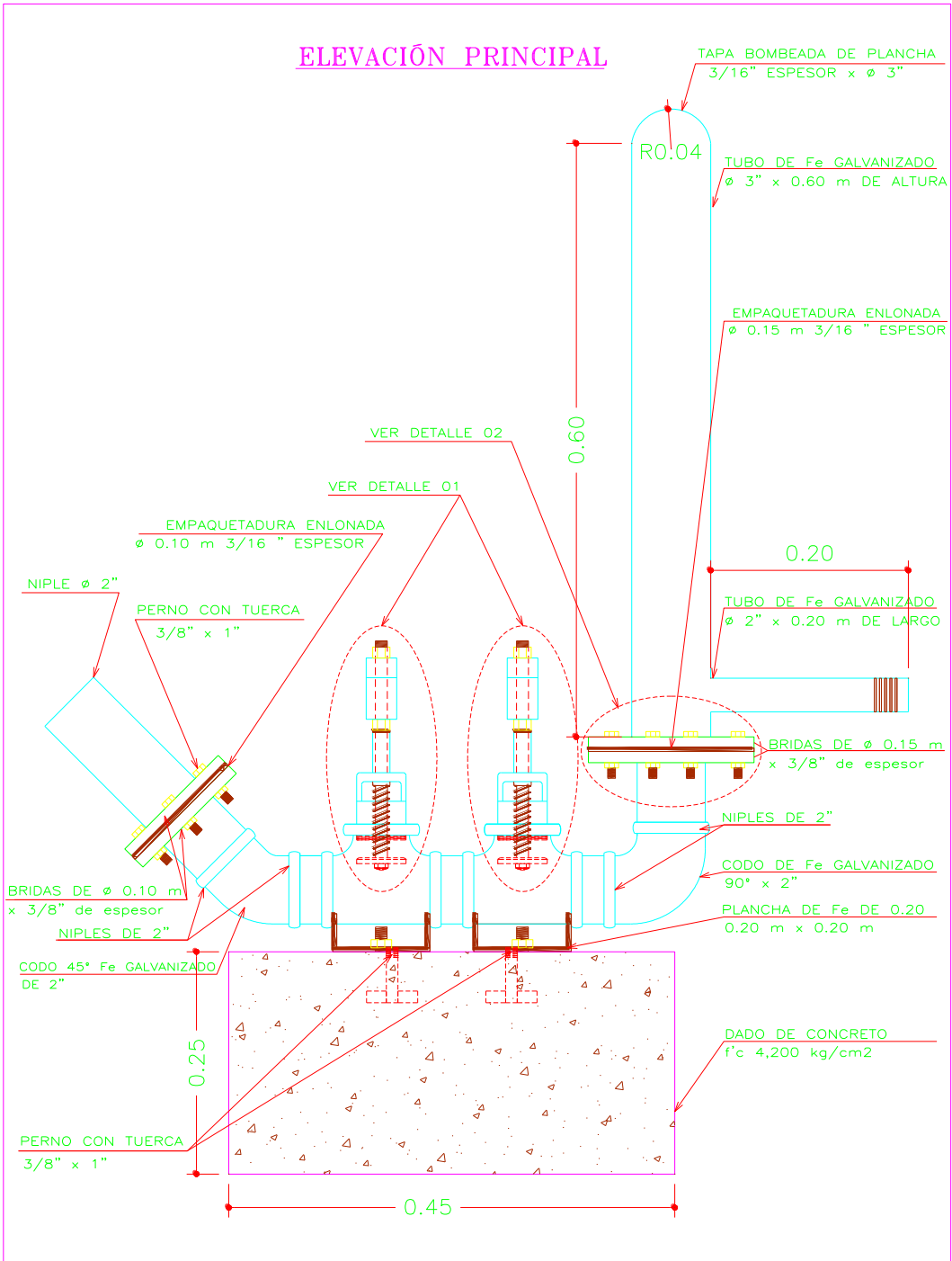
ANEXOS

ANEXO 1

Planos de la bomba de ariete hidráulico de 2" prototipo INDES 111

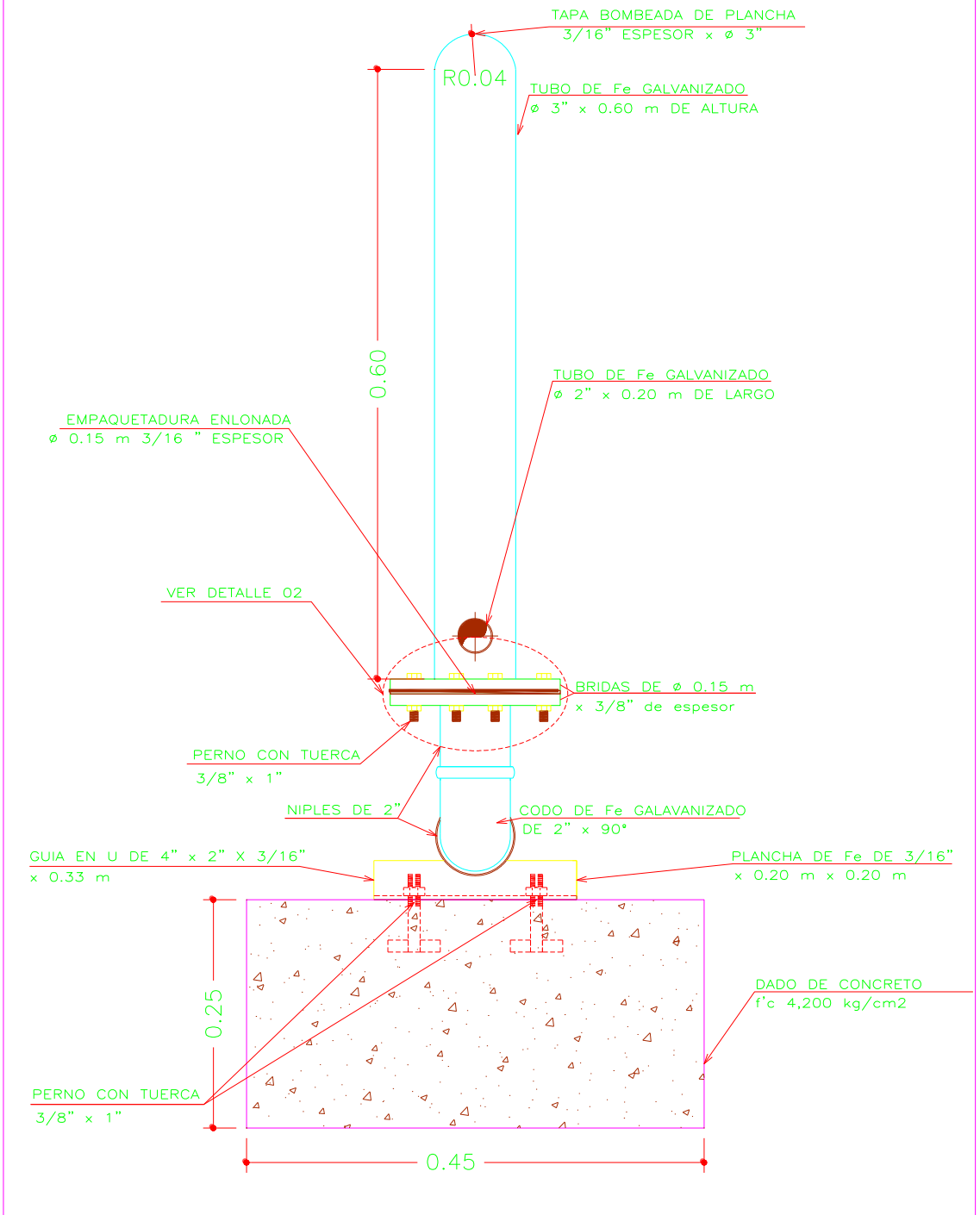


ELEVACIÓN PRINCIPAL



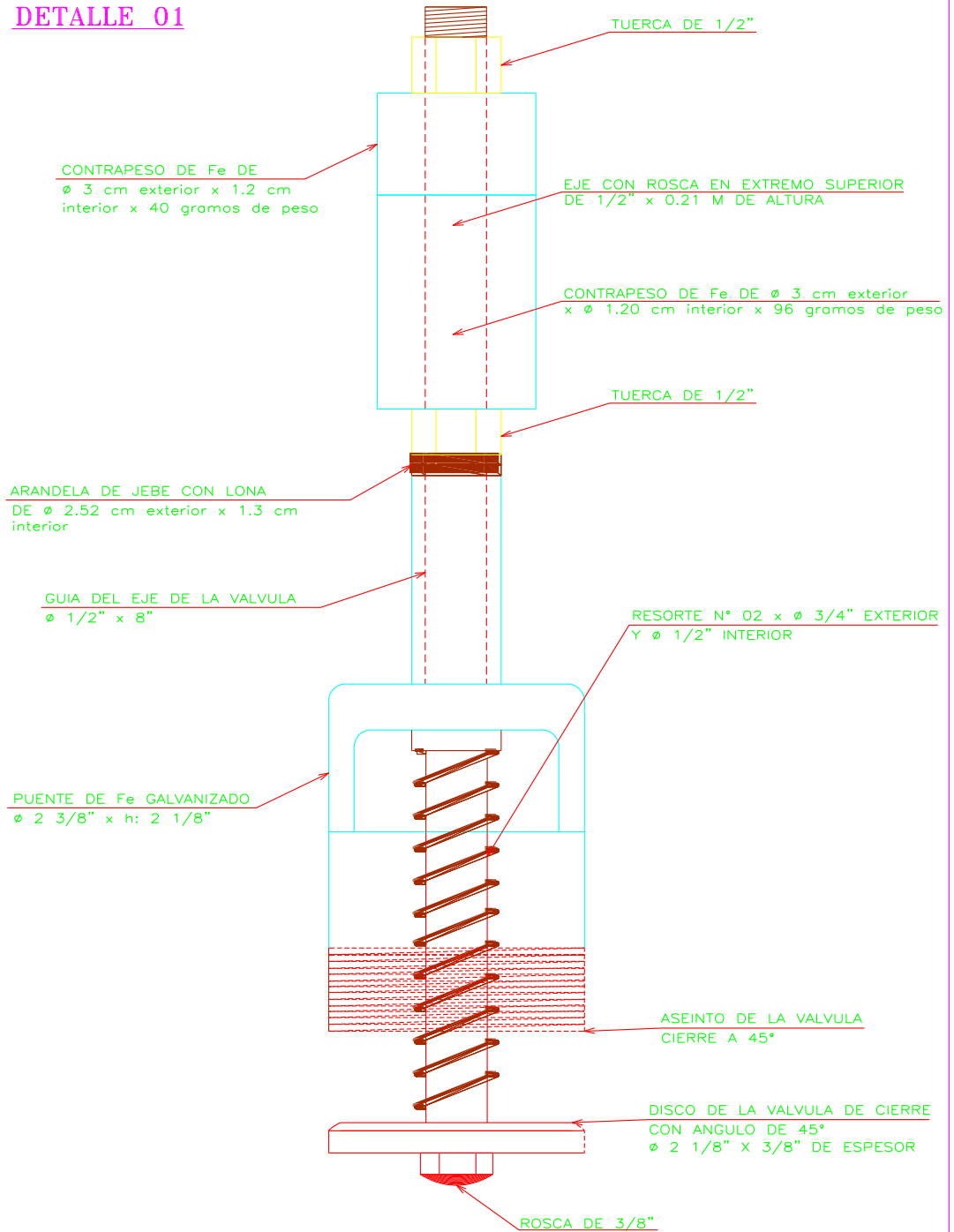
PROYECTO: BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO DE 2"							
UBICACIÓN: ANEXO: SHIPARA				PLANO: ELEVACIÓN PRINCIPAL		LAMINA: E-01	
DISTRITO: SAN NICOLAS	PROVINCIA: ROD. DE MENDOZA	REGION: AMAZONAS	DIS: Barrena, Salazar	PAGINA: 65	FECHA: DIC-2011		

ELEVACIÓN LATERAL DERECHA



PROYECTO: BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO DE 2"					
UBICACIÓN:		ANEXO: SHIPARA		PLANO : ELEVACIÓN LATERAL DERECHA	
DISTRITO: SAN NICOLAS	PROVINCIA: ROD. DE MENDOZA	REGION: AMAZONAS	DIS: Barrena, Salazar	PAGINA: 66	FECHA : DIC-2011
					LAMINA: E-02

DETALLE 01



PROYECTO: BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO DE 2"						
UBICACIÓN:		ANEXO: SHIPARA	PLANO: DETALLE 01		LAMINA: D-01	
DISTRITO: SAN NICOLAS	PROVINCIA: ROD. DE MENDOZA	REGIÓN: AMAZONAS	DIS: Barrera, Salazar	PAGINA: 68	FECHA: DIC-2011	

ANEXO 2

Bomba de ariete hidráulico de 2", prototipo INDES 111



Fotografía 1. Válvula de cierre o de impulso desmontada en el cuerpo de la BAH de 2".



Fotografía 2. Tanque de compresión del aire, ubicación de la válvula check y bomba de ariete hidráulico de 2" anclada en la base de madera.

ANEXO 3

Evaluación de la bomba de ariete de 2" prototipo INDES 111

Caserío Nueva Victoria parcela de la señora Isabel Sánchez Paucar



Fotografía 3. Tubería de alimentación, derrame y descarga.



Fotografía 4. Cierre de válvulas de impulso.



Fotografía 5. Medición del caudal bombeado a los 5 m, 10 m, 15 m y 20 m de altura.



Fotografía 6. BAH en funcionamiento y medición de caudal de rebose.

ANEXO 4

Promedio de la recolección de datos en campo durante siete días a las diferentes alturas de elevación

Altura de elevación (Metros)	Altura de alimentación (Metros)	Caudal de alimentación (L/s)	Cierre de valvulas (golpes/min)	Caudal elevado(L/S)	Caudal perdido (L/s)	Presión al final del Cierre (PSI)	Eficiencia (n) %
5	3	2.019	39	0.401	1.617	34.5	19.98%
	3	2.155	39	0.389	1.413	39.3	18.06%
	3	2.117	49	0.423	1.695	37.5	19.99%
	3	2.231	53	0.423	1.808	42.5	18.99%
	3	2.160	53	0.421	1.739	38.3	19.52%
	3	2.155	54	0.390	1.765	37.3	18.11%
	3	2.212	56	0.416	1.796	35.8	18.81%
PROMEDIO	3	2.150	49	0.409	1.690	37.9	19.07%
10	3	1.867	42	0.146	1.721	36.3	7.83%
	3	1.865	41	0.146	1.375	41.3	7.87%
	3	1.888	53	0.159	1.728	40.5	8.43%
	3	1.967	56	0.149	1.818	43.8	7.61%
	3	1.879	55	0.144	1.735	43.0	7.65%
	3	1.847	55	0.151	1.696	41.3	8.21%
	3	1.918	56	0.148	1.771	39.5	7.70%
PROMEDIO	3	1.890	51	0.149	1.692	40.8	7.90%
15	3	1.893	44	0.118	1.775	45.0	6.24%
	3	1.918	43	0.110	1.446	43.3	5.76%
	3	1.845	56	0.115	1.729	43.0	6.25%
	3	1.940	58	0.117	1.822	47.0	6.05%
	3	1.863	59	0.118	1.744	43.8	6.35%
	3	1.876	57	0.119	1.757	43.3	6.36%
	3	1.854	57	0.120	1.734	42.5	6.52%
PROMEDIO	3	1.884	53	0.117	1.715	44.0	6.22%
20	3	1.817	45	0.068	1.749	42.0	3.75%
	3	1.835	47	0.073	1.410	43.0	3.97%
	3	1.831	60	0.063	1.768	44.8	3.46%
	3	1.810	60	0.065	1.745	45.8	3.57%
	3	1.733	60	0.062	1.671	44.5	3.58%
	3	1.876	58	0.061	1.815	45.0	3.24%
	3	1.802	60	0.066	1.736	44.0	3.69%
PROMEDIO	3	1.815	55	0.065	1.699	44.1	3.61%