

UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

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 PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

AUTORES: Br. CARMELA MORI RUIZ
Br. MARIÑOS LOPEZ MAS

ASESOR: Dr. MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLÓN

CHACHAPOYAS - AMAZONAS - 2011

UNIVERSIDAD NACIONAL

TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS



FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

**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 TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

AUTORES:

Br. CARMELA MORI RUIZ

Br. MARIÑOS LOPEZ MAS

ASESOR:

Dr. MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLÓN

CHACHAPOYAS, AMAZONAS – 2011

DEDICATORIA

A mi madre por todo su sacrificio, entrega, preocupación y paciencia que ha tenido conmigo y que siempre me ha guiado en mis decisiones. A mi padre que esta en el cielo y a quien extraño mucho, que ha sido un ejemplo de lucha y constancia. Al padre de mi hija quien me ha apoyado en los momentos más difíciles y me ha demostrado siempre su profundo amor incondicional. A mi hija quien es mi inspiración y la razón de todo lo que hago. A mis hermanas y hermanos quienes siempre me brindaron todo su apoyo y cariño. A mis amigos, que compartieron conmigo durante toda mi formación profesional todo el tiempo que he vivido lejos de mi hogar. A todos ellos les dedico este trabajo por que mis triunfos son sus triunfos.

Carmela

DEDICATORIA

A mi papá por todo su sacrificio, entrega preocupación y paciencia que ha tenido.

A mi mamá por enseñarme el valor del esfuerzo. A mis hermanos Basilia, Wagner, Milena y Mirely. A Joselyn Mehetabel, mi hija adorada, por toda su alegría y apoyo incondicional.

Mariños

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darnos la vida permitiéndonos desarrollarnos espiritual e intelectualmente de la mano con nuestros seres queridos y amigos que conocimos a lo largo del proceso de nuestro aprendizaje.

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, nuestra Alma Mater, por que sin su apoyo Institucional no habríamos alcanzado esta meta académica, de llegar a ser profesionales.

A nuestro asesor Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón, por su dedicada orientación y por fortalecer nuestro conocimiento.

A los Docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de nuestra Alma Mater, por los conocimientos que nos brindaron para nuestra formación profesional.

A todas las personas y amigos, por haber compartido nuestras inquietudes, dándonos ánimos para seguir adelante a pesar de las dificultades que se presentaron a lo largo de nuestro proceso de formación y en la realización del presente trabajo de tesis.

Carmela y Mariños

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Dr. VICENTE MARINO CASTAÑEDA CHÁVEZ

RECTOR

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

VICERRECTOR ACADÉMICO

Blga. ZOILA ROSA GUEVARA MUÑOZ

DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS

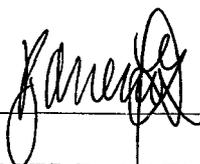
El Docente de la UNTRM-A que suscribe, hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO TECNIFICADO ABASTECIDO CON BOMBA DE DOBLE ARIETE EN EL DISTRITO DE MOLINOPAMPA, PROVINCIA DE CHACHAPOYAS, REGIÓN AMAZONAS.”** de los Tesistas egresados de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNTRM-A:

- Br. CARMELA MORI RUIZ

- Br. MARIÑOS LOPEZ MAS

El Docente de la UNTRM-A que suscribe, da el **Visto Bueno** al Informe Final de la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones para su posterior Sustentación.

Chachapoyas, 09 de Mayo de 2011



Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

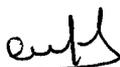
Profesor Principal DE UNTRM-Amazonas

JURADO EVALUADOR



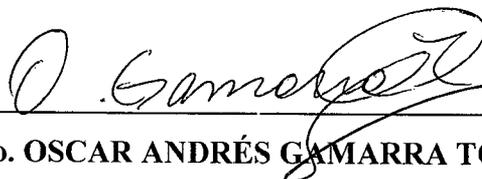
Ing. MEREGILDO SILVA RAMÍREZ

Presidente



Ing. OSCAR MITCHEL JARA ALARCÓN

Secretario



Ms.C.Bigo. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

Vocal

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	iii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	v
VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS	vi
JURADO EVALUADOR	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MATERIAL Y MÉTODOS	7
2.1. Instalación del sistema de bombeo de agua con bomba de ariete hidráulico	7
2.1.1. Embalse de captación	7
2.1.2. Tanque de alimentación	8

2.1.3. Tubería de alimentación a la bomba de ariete hidráulico	9
2.1.4. Bomba de ariete hidráulico	10
2.1.5. Tubería de conducción del agua bombeada	11
2.1.6. Tanque de almacenamiento del agua bombeada	12
2.2. Evaluación de la bomba de ariete hidráulico de doble válvula de cierre	14
2.2.1. Altura de elevación (H)	15
2.2.2. La altura de alimentación (h)	15
2.2.3. Caudal elevado (Qt)	15
2.2.4. Caudal de alimentación (Qa)	16
2.2.5. Caudal desechado (Qd)	17
2.2.6. Eficiencia de la bomba de ariete hidráulico (η)	17
2.2.7. Frecuencia de cierre de las válvulas de impulso	17
III. RESULTADOS	12
3.1. Operación de la bomba de ariete hidráulico	18
3.2. Eficiencia de la bomba de ariete hidráulico	19
3.2.1. Análisis de regresión curvilínea con el SPSS (Caudal elevado vs Altura)	22
3.2.2. Análisis de regresión curvilínea con el SPSS (Eficiencia vs Altura)	26
3.3. Mantenimiento de la bomba de ariete hidráulico	30
IV. DISCUSIÓN	32
V. CONCLUSIONES	35
VI. RECOMENDACIONES	36
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

ANEXO 1: Planos de la bomba de ariete hidráulico de 2" de dos válvulas con resorte Prototipo INDES 111	39
ANEXO 2: Secuencia fotográfica del ensamble de la bomba de ariete hidráulico de 2" con dos válvulas con resorte. Prototipo INDES 111	46
ANEXO 3: Secuencia fotográfica de la instalación y funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico de 2" de dos válvulas con resorte. Prototipo INDES 111	48

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Altura de bombeo del agua en función a la altura de alimentación.	15
Tabla 2. Diámetros de tubería en función al caudal de alimentación (Qa) mínimo necesario para accionar la bomba de ariete.	16
Tabla 3. Datos experimentales tomados en campo.	20
Tabla 4. Diferencia entre el caudal real elevado y el caudal teórico elevado por la bomba de ariete de 2" con $h = 3,8$ m; con dos válvulas de cierre con resorte. $Q_a = 69,61$ L/min.	21
Tabla 5. Resumen del modelo de regresión cúbica (Caudal elevado vs Altura).	23
Tabla 6. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica (Caudal elevado vs Altura).	23
Tabla 7. Coeficientes de la ecuación cúbica (Caudal elevado vs Altura).	23
Tabla 8. Eficiencia de la bomba de ariete de 2" con $h = 3,8$ m con dos válvulas de cierre con resorte. $Q_a = 69,61$ L/min.	25
Tabla 9. Resumen del modelo de regresión cúbica (Eficiencia vs Altura).	26
Tabla 10. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica (Eficiencia vs Altura).	26
Tabla 11. Coeficientes de la ecuación cúbica (Eficiencia vs Altura).	27
Tabla 12. Tiempo de llenado de 1 m^3 y del reservorio de 10 m^3 con el caudal bombeado (Q_r), a diferentes alturas (H).	29
Tabla 13. Presupuesto para la construcción del reservorio de 10 m^3 de capacidad .	29
Tabla 14. Presupuesto de instalación de la bomba de doble ariete.	30

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Momentos del golpe de ariete.	5
Figura 2. . Diagrama de instalación del sistema de bombeo.	13
Figura 3. Rendimiento energético de una bomba de ariete hidráulico en función de H/h.	14
Figura 4. Variación del caudal bombeado por la bomba de ariete hidráulico de 2" con dos válvulas con resorte, en función de la altura de descarga.	22
Figura 5. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea cúbica (- -) generada por el SPSS para el caudal elevado vs altura. Bomba con dos válvulas con resorte.	24
Figura 6. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea cúbica (- -) generada por el SPSS para la eficiencia vs altura. Bomba con dos válvulas con resorte .	28

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Entrada del agua a la tubería que va desde el embalse al tanque de alimentación.	5
Fotografía 2. Tanque de alimentación de concreto de 1 m ³ .	9
Fotografía 3. Tubería de alimentación de la bomba de ariete hidráulico.	9
Fotografía 4. Bomba de ariete hidráulico de 2" con dos válvulas, con resorte.	11
Fotografía 5. Tubería de conducción del agua bombeada hacia el reservorio.	12
Fotografía 6. Cilindro de 200 L para almacenar el agua bombeada, ubicado a 45 m de diferencia de altura con respecto a la bomba de ariete.	13
Fotografía 7. Válvula de cierre desmontada.	46
Fotografía 8. Válvula de cierre con resorte.	46
Fotografía 9. Cuerpo de la bomba de ariete.	46
Fotografía 10. Válvulas instaladas.	46
Fotografía 11. Tanque de compresión de aire y tubo de descarga de agua de 1".	47
Fotografía 12. Empaquetadura de jebe y lona de la válvula de descarga (check), con su contrapeso empernado.	47
Fotografía 13. Forma en la que abre la válvula de descarga.	47
Fotografía 14. Bomba de ariete lista para funcionar.	47
Fotografía 15. Ubicación del embalse y del tanque de alimentación de la bomba.	48
Fotografía 16. Tubería de PVC de 3" que lleva el agua del embalse al tanque de alimentación.	48

Fotografía 17. Durante la operación de la bomba, el nivel de agua se mantiene en 89 cm de profundidad (0,89 m ³).	49
Fotografía 18. Medición del caudal del rebose que retorna a la quebrada. La llave de compuerta está en la base del tanque.	49
Fotografía 19. Tubería de alimentación a la bomba de ariete.	49
Fotografía 20. Bomba de ariete instalada.	50
Fotografía 21. Derrame de agua por las válvulas de cierre completamente abiertas.	50
Fotografía 22. Cierre de válvulas de impulso que producen el golpe de ariete.	50
Fotografía 23. Bomba en funcionamiento.	51
Fotografía 24. Tubería de descarga de PVC de 1". Al fondo se observa la bomba.	51
Fotografía 25. Medición del caudal a 10 m de altura.	51
Fotografía 26. Cilindro de 200 L donde se almacena el agua para el riego. Se ubica a 45 m de altura con respecto a la bomba de ariete.	52
Fotografía 27. Aspersor empleado para regar el pasto con el agua bombeada por el ariete hidráulico.	53

RESUMEN

La bomba de ariete o ariete hidráulico, es una máquina que aprovecha únicamente la energía de un pequeño salto de agua para elevar parte de su caudal a una altura superior; es utilizada en sectores rurales donde los escasos recursos económicos de los pobladores hacen difícil el acceso a los sistemas de bombeo convencionales, debido al alto costo de funcionamiento de los mismos. El principio de funcionamiento es simple, un flujo de agua atraviesa el cuerpo del mecanismo con una energía cinética suficiente para cerrar las válvulas, provocando un violento golpe; este golpe produce una sobre presión capaz de elevar una cierta cantidad de agua a una altura considerable, si bien es cierto estos sistemas de bombeo poseen muchas ventajas (son sostenibles, de fácil diseño e instalación, requieren un mantenimiento mínimo y funcionan las 24 horas del día los 365 días del año).

En este trabajo se ha optimizado utilizar dos válvulas de derrame en lugar de una sola, logrando así aumentar considerablemente la altura de elevación del agua y el caudal bombeado, disminuyendo drásticamente la cantidad de agua en pérdida (al aumentar la cantidad de válvulas, el derrame tendería a aumentar, pero ocurre lo contrario) consiguiendo así un importante incremento en el rendimiento de la bomba; por lo que al evaluar su funcionamiento y rendimiento en campo, la BAH de 2" bombea agua desde 10 m de altura con un caudal de 57,35 L/min y eficiencia de 82,39 %, llena 1 m³ en 17.44 minutos.

Palabras clave: energías renovables, bomba de ariete hidráulico.

ABSTRACT

The ram pump or hydraulic ram, is a machine that uses only the energy of a small waterfall to raise part of its flow to a higher level, is used in rural areas where poor economic conditions of the inhabitants make it difficult to access to conventional pumping systems because of the high cost of operating them. The principle is simple, water flow through the body of the mechanism with a kinetic energy sufficient to close the valves, causing a violent blow, the blow produces an overpressure can raise a certain amount of water to a considerable height, although these pumping systems have many advantages (they are sustainable, easy design and installation, require minimal maintenance and operate 24 hours a day 365 days a year).

This work has been optimized using two spill valves instead of one, thus significantly increasing the height of water elevation and the flow rate, dramatically decreasing the amount of water loss (by increasing the number of valves, stroke tend to increase, but the opposite is true) thus achieving a significant increase in performance of the pump so to assess its functioning and performance in the field, the BAH 2 "pumps water from 10 m high with a flow rate of 57 , 35 L / min and efficiency of 82.39%, full 1 m³ in 17.44 minutes.

Keywords: renewable energy, hydraulic ram pump.

I. INTRODUCCION

El ideal de proveer de agua a todas las zonas del país es uno de los tantos aspectos que no se han logrado concretar en el Perú. El problema del desabastecimiento de agua es una realidad crítica que buena parte de la población, sobretodo de las zonas más pobres, se ve obligada a enfrentar. La falta de una gestión integral que garantice el máximo provecho y la racionalización de este recurso, dificulta las labores de ampliación de cobertura del agua y su reconocimiento como recurso natural de uso multisectorial. Hace varios años, en el Perú, algunas instituciones se vienen preocupando por hacer algo en favor de éste y varios otros aspectos referidos a la protección del medioambiente y el fomento del desarrollo en las zonas más pobres del país. Es así como, en uno de sus intentos por crear mejoras en los sectores menos desarrollados, la Pontificia Universidad Católica del Perú llevó a cabo entre el año 1985 y el 2000 múltiples investigaciones sobre diversos prototipos de bombillas hidráulicas que, a bajo costo, pudieran servir en comunidades y pueblos andinos para el abastecimiento de agua; incluso en las zonas más altas. El resultado: la bomba de ariete hidráulico (Márquez, 2009).

Actualmente, el Grupo de Apoyo al Sector Rural de la Pontificia Universidad Católica del Perú viene implementando este económico sistema en diversas comunidades y zonas remotas del país, facilitando con ello el acceso de los pobladores a este escaso recurso. Con la implementación de las bombas de ariete hidráulico en diversas comunidades del Perú donde carecían del recurso hídrico, los pobladores han obtenido también mayores beneficios económicos, aprovechando esta tecnología renovable para diversas aplicaciones como: provisión de agua a casas y pequeñas poblaciones, elevación de agua a casas con

niveles mayores a un piso, bebederos de ganado, riego, prevención de sequías, criaderos de peces y lombricultura (Márquez, 2009).

La bomba de ariete hidráulico fue inventada en el año 1796 y su uso fue discontinuado por la invención de las bombas de motor y eléctrica. Sin embargo, el petróleo que es el impulsor principal de estas maquinarias modernas está en extinción y su precio sube cada día. Esto ha logrado que de nuevo se mire hacia éste interesante mecanismo, que logra con la fuerza hidráulica del agua, auto-impulsarla y llevarla a más de 100 metros de altura y a distancias horizontales muy distantes. La bomba de ariete hidráulico puede ser la solución para el riego de terrenos cercanos a ríos, arroyos y manantiales, los cuales no pueden irrigarse por gravedad, por estar en un nivel más alto que la fuente de agua. El costo de la bomba de ariete hidráulico además de ser mucho más económico que la bomba, sea ésta de motor ó eléctrica, tiene la ventaja que una vez instalado no presenta fallas en su funcionamiento por mucho tiempo, además de que no requiere de combustible de ninguna especie. La bomba de ariete hidráulico puede ser la solución a la falta de agua de los ganaderos, de los productores agrícolas y de la población rural, que necesitan de éste apreciado líquido, para múltiples necesidades siendo la más importante la preservación de la vida humana (Agricultura de las Américas, 1964)

La bomba de ariete hidráulico ha tenido poco uso en nuestro país y se debe fomentar y estimular su utilización, por varias razones en primer lugar su bajo costo, su fácil manejo, su auto-propulsión de energía para realizar su trabajo. También su mínimo gasto en reparaciones y calibraciones y por último la facilidad con que los operarios del campo, aprenden a realizar las reparaciones que se deben efectuar después de cierto tiempo de uso (Vera, 2007).

La Región Amazonas tiene una geografía accidentada en buena parte de su territorio, lo que impide el cultivo o el mantenimiento constante de la producción en terrenos con pendiente, los que únicamente prosperan en épocas de lluvia, que son de diciembre hasta abril. El resto del año no son cultivados o los pastos instalados padecen por la sequía, debido a que no hay forma de irrigarlos conduciendo agua por canales, a causa de lo accidentado del terreno. La única solución factible es bombear agua hasta un reservorio que se instale en la parte más alta del terreno, desde donde se podrá regar las parcelas empleando riego tecnificado como el goteo o la aspersión, para optimizar el uso del agua. Lo ideal será entonces reducir los costos de bombeo de agua, para que no represente una carga económica para los agricultores y ganaderos, de manera que su producción sea sostenible en el tiempo.

Con todas esas consideraciones, el objetivo principal de este trabajo de investigación fue: la implementación de un sistema de riego tecnificado abastecido por bomba de doble ariete hidráulico, con la finalidad de brindar una alternativa de bombeo de agua eficiente y al alcance de la economía de los pobladores de las zonas rurales.

1.1. Bomba de ariete hidráulico

La bomba de ariete o ariete hidráulico es un motor hidráulico que utiliza la energía de una cantidad de líquido (comúnmente agua) situada a una altura mayor (el desnivel de un río, presa, acequia u otro depósito o caudal), con el objetivo de elevar una porción de esa cantidad de líquido hasta una altura mayor que la inicial, mediante el empleo del fenómeno físico conocido como golpe de ariete. El equipo bombea un flujo continuo y funciona ininterrumpidamente sin necesidad de otra fuente de energía (Fox, 1984)

El ariete hidráulico, se conoce desde 1775, cuando John Whitehurst a través de la asociación de ingenieros en Londres, mostró un ariete de operación manual. En 1776, Joseph Montgolfier, coinventor del globo aerostático de aire caliente, construyó un ariete de operación automática, cuya patente le fue entregada en 1797. Por su importancia, esta invención se extendió a distintas partes del mundo. Considerado el ariete una máquina de gran importancia, se comienza a explotar en distintas ramas de la economía, fundamentalmente de la agricultura, en el riego a plantaciones y en el abasto de agua a pequeñas poblaciones, etc. (Moreno, 2004).

Para que la bomba de ariete hidráulico funcione, debe haber un desnivel mínimo de 0,5 metro de altura entre la toma de agua y la entrada del ariete. Cuando hay una caída natural de agua es muy simple la instalación. Su ventaja frente a otro tipo de bombas hidráulicas radica en que la bomba de ariete hidráulico, no necesita de ningún tipo de suministro de combustible, ni energía eléctrica para su funcionamiento, solo requiere de un arroyo de agua con flujo constante y de un terreno conveniente. Además, su trabajo es automático y continuo (Vicente, 2009).

1.1.1. Golpe de Ariete

Es el aumento brusco de la presión de agua que se produce dentro de la tubería de suministro de agua cuando una válvula se cierra rápidamente. El agua viene a velocidad por la tubería y cierra la válvula de impulso, este cierre genera el golpe de ariete, el agua circulante golpea a la válvula cerrada y rebota como una onda (Figura 1, izquierda). Este rebote continúa hasta que el agua golpea y abre la válvula que da pase al agua hacia el tanque donde comprime al aire (Figura 1,

derecha). El ritmo de golpes por segundo suele ser de uno o dos. El contrapeso abre la válvula de impulso y el ciclo se repite (Aguilar, 2008).

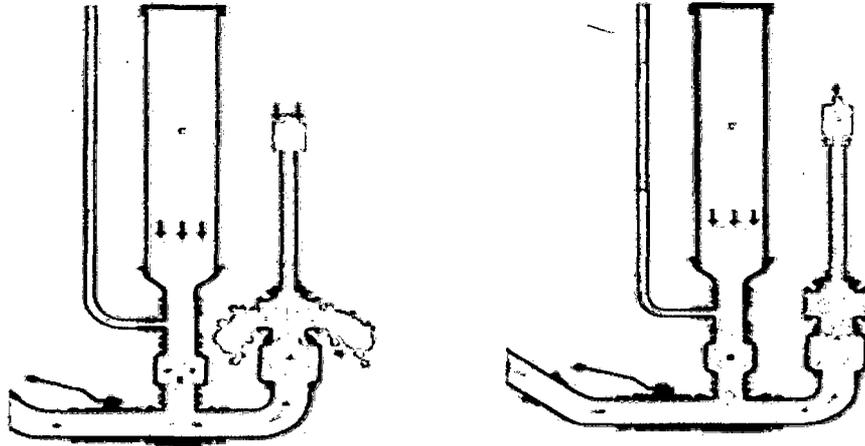


Figura 1. Momentos del golpe de ariete.

1.3. Selección del sitio de ubicación de la bomba de ariete hidráulico

El sitio para la instalación de las bombas de ariete hidráulico debe cumplir con las siguientes características (Aguilar, 2008):

- a) La fuente de captación de agua debe poseer un caudal mínimo de tres litros por minuto, ya que no existen bombas de ariete que puedan trabajar con un caudal menor al señalado.
- b) El terreno debe poseer ventajas topográficas para la construcción de un embalse de captación del agua, para conectar a este embalse la tubería de alimentación de la bomba de ariete.

- c) La mínima altura de caída desde el embalse hasta el sitio donde se instale la bomba de ariete hidráulico debe ser 0,5 m, ya que alturas menores a ésta impiden su funcionamiento.
- d) Es recomendable que el largo de la tubería de alimentación del ariete, sea mayor a cuatro veces la altura de caída (h). Debe haber un ángulo entre el suelo horizontal y esta tubería en el punto de conexión al ariete, menor a 45°.
- e) El terreno debe permitir la construcción de un dado de concreto para anclaje de la bomba de ariete, protegido de la acción erosiva del caudal de la fuente de agua. También debe ser posible la conexión de la tubería de alimentación de manera que quede perfectamente rectilínea y rígida desde la bomba de ariete hasta el embalse. Junto al dado de concreto se debe hacer un canal que conduzca el caudal desechado por el cierre de la válvula de impulso, hacia el curso descendente de la fuente de agua; de manera que el agua no bombeada se retorne a la fuente y siga su curso.

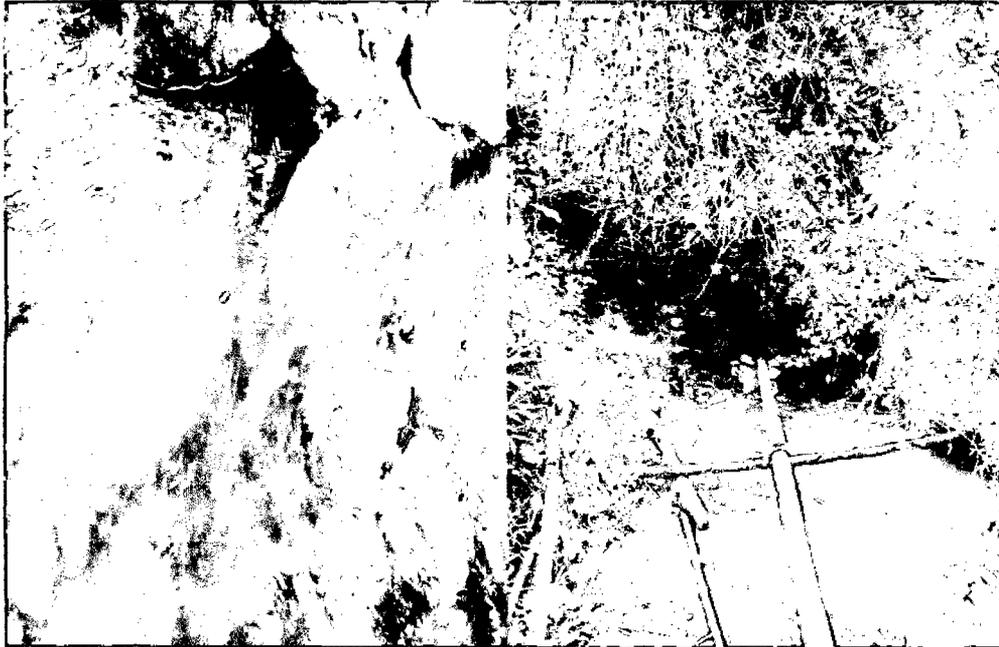
II. MATERIAL Y METODOS

2.1. Instalación del sistema de bombeo de agua con bomba de ariete hidráulico

Para la instalación del sistema de bombeo de agua con la bomba de ariete hidráulico de doble válvula se tuvo en cuenta la Sección 1.3 del presente trabajo de investigación. La instalación se realizó en el Anexo Huascazala del distrito de Molinopampa, provincia de Chachapoyas, Región Amazonas; cuyos componentes fueron los siguientes:

2.1.1. Embalse de captación

En la quebrada Gallocucho, sector Cedrohuayco del Anexo Huascazala, que tiene un caudal permanente durante todo el año, se ubicó un punto estratégico para hacer el embalse de captación del agua para alimentar la bomba de ariete. Para el embalse se hizo un muro con piedras grandes, en el que se fijó un tubo de PVC de 4,5” de diámetro x 5 m de largo, sumergido en el agua. A este tubo se acopló una tubería de conducción de 3” para llevar el agua hasta el tanque de alimentación. La entrada del agua a la tubería de alimentación se protegió con una malla de filtración, para evitar el ingreso de partículas y objetos en suspensión. Esta malla quedó 30 cm por debajo del nivel del agua y a 10 cm sobre el fondo del embalse, para evitar la succión de sedimentos acumulados.



Fotografía 1. Entrada del agua a la tubería que va desde el embalse al tanque de alimentación.

2.1.2. Tanque de alimentación

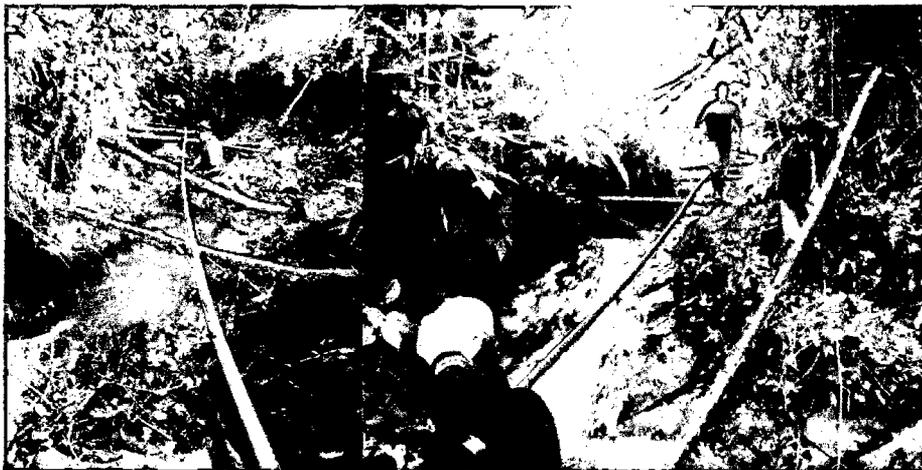
Se hizo un tanque de concreto de 1 m x 1 m x 1 m, a 60 m del embalse y a 1 m de desnivel con respecto al embalse. A 20 cm del borde superior se colocó un tubo de PVC de 2" para rebose. En una de las caras de tanque y a 50 cm del fondo entra el tubo de PVC de 3" que trae el agua del embalse. En la cara del tanque frente a la entrada de agua, se ubicó el tubo de salida de agua de PVC de 2" con una llave de compuerta para alimentar a la bomba de ariete.



Fotografía 2. Tanque de alimentación de concreto de 1 m³.

2.1.3. Tubería de alimentación a la bomba de ariete hidráulico

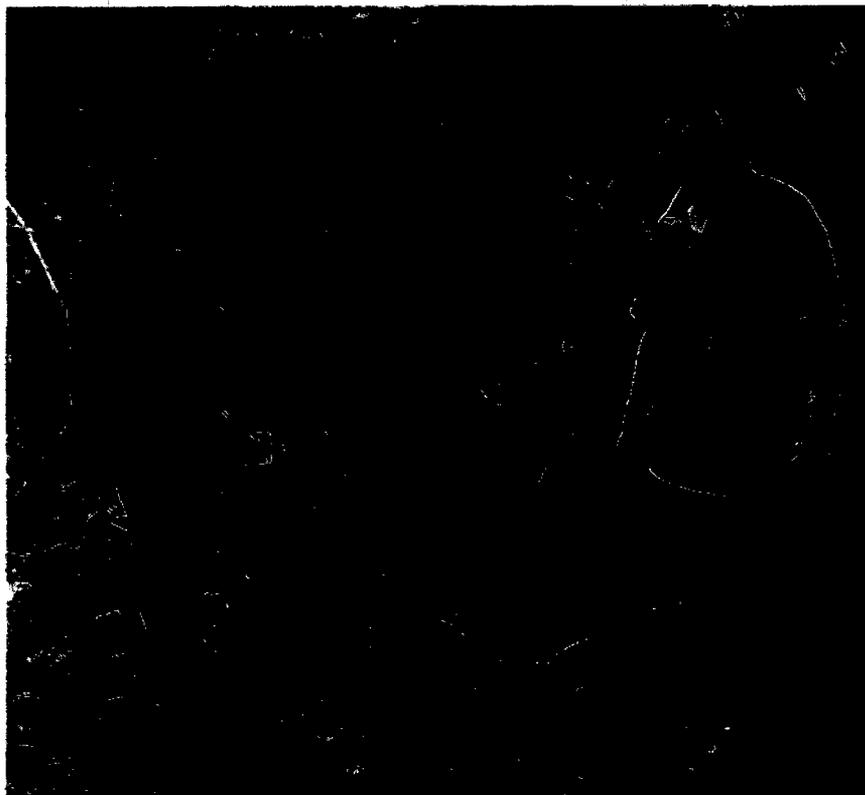
Estuvo constituida por tubos de PVC pesado de 2" para agua, unidos con pegamento. Se ancló firmemente en toda su longitud en troncos fijados en las orillas y a una altura adecuada del nivel de la quebrada.



Fotografía 3. Tubería de alimentación de la bomba de ariete hidráulico.

2.1.4. Bomba de ariete hidráulico

Se ha empleado los planos del prototipo de bomba de ariete hidráulico de dos válvulas de cierre con resorte, Prototipo INDES 111, cuyos planos se muestran en el Anexo 1. Su ensamble se realizó en un taller de torno con accesorios de tubería de fierro galvanizado de 2", ambas válvulas de cierre o impulso que abren hacia abajo, con un resorte en cada válvula para mejorar su desempeño con alturas de bombeo mayores, estas válvulas se hicieron en torno a partir de tubo de fierro de alta presión. La bomba tiene una descarga de 1", una cámara para compresión de aire de 10 L, en cuya base se encuentra una válvula check que abre hacia arriba, hecha de empaquetadura de jebe y lona con un disco de fierro de 2" de diámetro, sujetado con un perno central en su parte superior para ayudarle a cerrar junto con la cabeza hidráulica, que se generará por el paso del agua a través de esta válvula hacia el tanque de compresión de aire y de allí hacia la tubería de descarga. y la secuencia fotográfica de su ensamble en el Anexo 2. A 3,8 m de diferencia de altura con respecto al tanque de concreto de alimentación, en un dado de concreto de 50 cm x 50 cm x 50 cm, se ha anclado la bomba de ariete con cuatro pernos con tuerca, con el objetivo de instalarla nivelada y para que resista la vibración causada por el golpe de cierre de las dos válvulas de impulso de agua.



Fotografía 4. Bomba de ariete hidráulico de 2" con dos válvulas, con resorte.

Prototipo INDES 111.

2.1.5. Tubería de conducción del agua bombeada

Esta tubería fue de PVC de 1" para agua, se instaló tendida sobre el suelo en dirección hacia la parte más alta del terreno donde se ubicó un tanque para almacenar el agua que se bombeará. A lo largo de esta trayectoria, que se mantuvo casi recta, se fijó la tubería a estacas para evitar su deslizamiento en zonas más empinadas.



Fotografía 5. Tubería de conducción del agua bombeada hacia el reservorio.

2.1.6. Tanque de almacenamiento del agua bombeada

Servirá para almacenar al agua bombeada por el ariete hidráulico en su diseño se consideró que debe tener tubo de desagüe, de rebose y de distribución hacia el sistema de riego. Debido a la falta de recursos no se construyó el reservorio excavado en el suelo e impermeabilizado con geomembrana de PVC como se había propuesto. En vez de ello se empleó un cilindro de fierro de 200 litros, en cuya base se soldó un tubo de fierro de $\frac{1}{2}$ " , al que se conectó una manguera de de PVC reforzada de $\frac{5}{8}$ " , en cuyo otro extremo se conectó un aspersor fijado a 50 cm del suelo sobre una estaca. Se ubicó a 45 m de diferencia de altura con respecto a la bomba de ariete.



Fotografía 6. Cilindro de 200 L para almacenar el agua bombeada, ubicado a 45 m de diferencia de altura con respecto a la bomba de ariete.

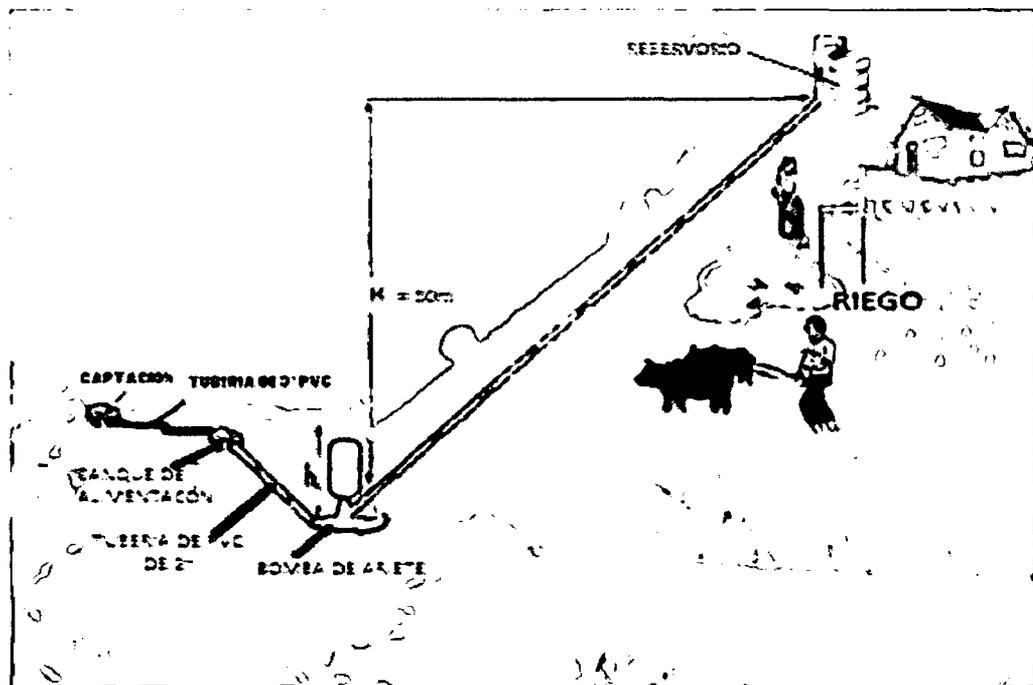


Figura 2. Diagrama de instalación del sistema de bombeo.

2.2. Evaluación de la bomba de ariete hidráulico de doble válvula de cierre

Para esta evaluación se instaló el sistema de bombeo como se indicó en la Sección 2.1 del presente trabajo de investigación. Los valores de los parámetros que permitieron caracterizar a la bomba de ariete hidráulico y determinar su eficiencia se describen a continuación.

El rendimiento (R) de la bomba de ariete hidráulico representa el porcentaje de agua que se puede bombear en relación al total de la canalizada hacia esta bomba, y varía en función del cociente H/h (Sección 2.2.1 y 2.2.2 del presente trabajo de investigación). Al aumentar el valor de dicho cociente, el rendimiento disminuye. En la Figura 3 puede verse la variación del rendimiento en función del H/h.

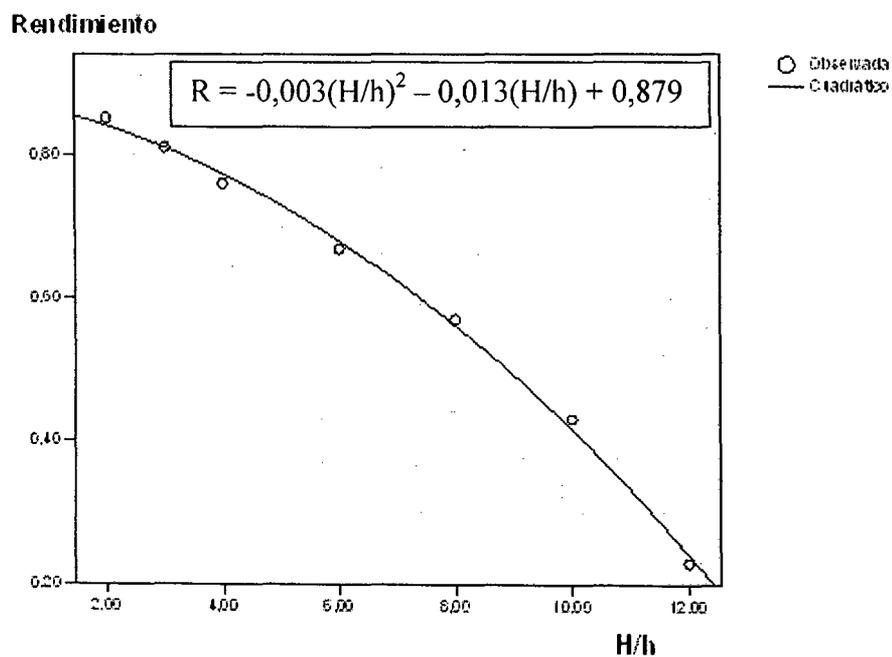


Figura 3. Rendimiento energético de una bomba de ariete hidráulico en función de H/h.

Fuente: Izquierdo y Velásquez, 1992.

2.2.1. Altura de elevación (H)

Esta no debe superar más de 12 veces el desnivel de trabajo (h), ya que a partir de esta altura, el rendimiento de la bomba de ariete disminuye.

2.2.2. La altura de alimentación (h)

De ella dependerá la altura hasta la que bombeará el agua la bomba de ariete, para hacerla llegar hasta el tanque de almacenamiento final. Debe tener una caída mínima de 1 metro de altura para que la bomba pueda elevar el agua. Por cada metro de desnivel, el ariete elevará el agua a 10 metros de altura (Tabla 1).

Tabla 1. Altura de bombeo del agua en función a la altura de alimentación.

Altura de alimentación (m)	Altura de bombeo de Agua (m)
1,0	10
1,5	15
2,0	20
2,5	25
3,0	30

Fuente: Izquierdo y Velásquez, 1992.

2.2.3. Caudal elevado (Qt)

Depende del rendimiento (R), del caudal de alimentación (Q_a), la altura de alimentación (h) y la altura de elevación (H). La ecuación por la que se relacionan es la siguiente:

$$Q_t = \frac{(R \cdot Q_a \cdot h)}{H} : \frac{L}{s} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

R = Rendimiento

Q_a = Caudal de alimentación (L/s)

h = Altura de alimentación o desnivel de trabajo (m)

H = Altura de elevación (m)

2.2.4. Caudal de alimentación (Q_a)

El ángulo de inclinación (α) del tubo de alimentación será de 45° con la horizontal. El caudal de alimentación de la bomba de ariete dependerá del diámetro del tubo de alimentación. En la Tabla 3 se muestra la relación entre estos parámetros, para tubería de hierro galvanizado, que es la más recomendable para alimentar las bombas de ariete hidráulico.

Tabla 2. Diámetros de tubería en función al caudal de alimentación (Q_a) mínimo necesario para accionar la bomba de ariete.

Caudal de Alimentación (L/min)	5	15	22	30	40	90	120
Diámetro del tubo (pulg)	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	3	4

Fuente: Izquierdo y Velásquez, 1992.

2.2.5. Caudal desechado (Qd)

Es el caudal de agua desechado en la etapa de cierre de las válvulas de impulso, en consecuencia no es elevada por la bomba y retornará al cauce de la fuente de agua en su curso descendente.

2.2.6. Eficiencia de la bomba de ariete hidráulico (η)

Es el cociente entre el caudal elevado o bombeado y el caudal alimentado a la bomba de ariete. Se calculó con la siguiente fórmula: $\eta = Q_e/Q_a$

2.2.7. Frecuencia de cierre de las válvulas de impulso

Se contó la cantidad de golpes producidos por el cierre de las válvulas en una unidad de tiempo, para cada condición de trabajo. La unidad de medida utilizada será los golpes por minuto (golpe/min).

III. RESULTADOS

Se instaló el sistema de bombeo como se indicó en la Sección 2.1 del presente trabajo de investigación. Desde el embalse se condujo el agua mediante una tubería de PVC de 3", hacia el tanque de concreto que alimentará a la bomba de ariete hidráulico; esta tubería tuvo una longitud de 60 m y se trabajó con una diferencia de altura de 1 m, entre el embalse y el tanque mencionado, llegando con un caudal de 160 L/min.

Una vez que este tanque estuvo lleno de agua, se abrió la llave de compuerta para conducir el agua hacia la bomba de ariete ubicada a 3,8 m abajo del nivel de este tanque, mediante una tubería de PVC de 2" pesada de 20 m de longitud.

El agua llegó a velocidad a la bomba de ariete anclada nivelada en un dado de concreto. La fuerza del agua causó el cierre de las dos válvulas y la compresión de su resorte, el cual le ayudó a cada una a abrir de inmediato, iniciando de esta manera su funcionamiento automático y el consiguiente bombeo de una parte del agua alimentada a la bomba.

3.1. Operación de la bomba de ariete hidráulico

El agua procedente del tanque de concreto de alimentación desciende por gravedad por la tubería de alimentación bajo la acción de la diferencia de nivel, derramándose por las válvulas de impulso, hasta adquirir una velocidad suficiente para que la presión sea capaz de cerrarlas, contrarrestando su peso, contrapesos y comprime los resortes. El cierre rápido de ambas válvulas de impulso, produce el efecto conocido como golpe de ariete o choque hidráulico, originando una sobrepresión en la tubería de alimentación. La válvula de descarga (check) que se abre hacia arriba por el efecto de dicha

sobrepresión, deja pasar cierta cantidad de agua hacia la cámara de aire, comprimiendo el aire existente, y cierta cantidad de agua fluye por la tubería de descarga. El retroceso del agua en la tubería de alimentación, produce una ligera succión en el cuerpo de la bomba de ariete, creando una caída de presión que produce junto con la descompresión de los resortes, la apertura de las válvulas de impulso y el cierre de la válvula de descarga. De esta forma, se crean las condiciones para que se repita el ciclo de operaciones pero ya de manera automática. El aire comprimido continúa impulsando el líquido almacenado en ella por la tubería de descarga, entre ciclos de operaciones; lográndose una entrega de agua casi uniforme hacia el tanque de almacenamiento. La secuencia fotográfica de la instalación y funcionamiento de la bomba se muestra en el Anexo 3.

3.2. Eficiencia de la bomba de ariete hidráulico

Para determinar la eficiencia del abastecimiento de agua por la bomba de doble ariete en el sistema de riego instalado, se tomó datos experimentales a diferentes alturas, con respecto a la ubicación de la bomba de: 10 m, 15 m, 20 m, 25 m, 30 m, 35 m, 40 m, 45 m y 50 m; con los cuales para cada altura se midió el caudal de agua elevado y la eficiencia de la bomba.

Para medir el caudal de agua se midió el tiempo en que se llenó un balde de plástico de 8 L, este procedimiento se repitió tres veces y se reportó el valor promedio. Al tanque de concreto desde donde se alimentará la bomba de ariete, llegó un caudal de agua del embalse (Q_{em}) de 160 L/min. Este tanque tiene 1 m x 1 m x 1 m, cuando esta

abasteciendo al ariete y pierde agua por el rebose, el nivel de agua baja a 89 cm, con lo cual se mantiene constante un volumen de agua de 0,89 m³.

Por el rebose del tanque se perdió un caudal de agua (Qr) de 90,39 L/min, el cual retornó al cauce de la quebrada. Por tanto, el caudal alimentado (Qa) a la bomba de ariete será: $Q_a = Q_{em} - Q_r$. Obteniéndose que $Q_a = 160 \text{ L/min} - 90,39 \text{ L/min}$; entonces, $Q_a = 69,61 \text{ L/min}$.

Tabla 3. Datos experimentales tomados en campo.

Altura de alimentación: h (m)	Altura de elevación: H (m)	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal elevado: Qr (L/min)	Cierre de válvulas (cierre/min)
3,8	10	8	8,37	57,35	32
3,8	15	8	11,68	41,09	32
3,8	20	8	13,22	36,31	32
3,8	25	8	16,01	29,98	32
3,8	30	8	17,21	27,89	32
3,8	35	8	21,03	22,82	32
3,8	40	8	23,21	20,68	32
3,8	45	8	28,23	17,00	32
3,8	50	8	59,91	8,01	32

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Diferencia entre el caudal real elevado y el caudal teórico elevado por la bomba de ariete de 2" con $h = 3,8$ m; con dos válvulas de cierre con resorte. $Q_a = 69,61$ L/min.

Altura de elevación: H (m)	H/h	Rendimiento (Figura 3)	Caudal elevado teórico: Q_t (L/min)	Caudal elevado real: Q_r (L/min)	Diferencia de caudal ($Q_r - Q_t$)	Incremento de caudal bombeado (%)
10	2,63	0,82	21,70	57,35	35,65	164,29
15	3,95	0,78	13,75	41,09	27,34	198,84
20	5,26	0,73	9,66	36,31	26,65	275,88
25	6,58	0,66	6,98	29,98	23,00	329,51
30	7,89	0,59	5,21	27,89	22,68	435,32
35	9,21	0,50	3,78	22,82	19,04	503,70
40	10,53	0,41	2,71	20,68	17,97	663,09
45	11,84	0,31	1,82	17,00	15,18	834,07
50	13,16	0,19	1,01	8,01	7,00	693,07

Fuente: Elaboración propia

Como puede observarse en la Tabla 4, la bomba de ariete ha bombeado entre 1,6 a 14,1 veces más caudal de lo teóricamente esperado. En la Figura 4 se muestra la variación del caudal bombeado por la bomba de ariete hidráulico de 2" con dos válvulas con resorte, en función de la altura de descarga.

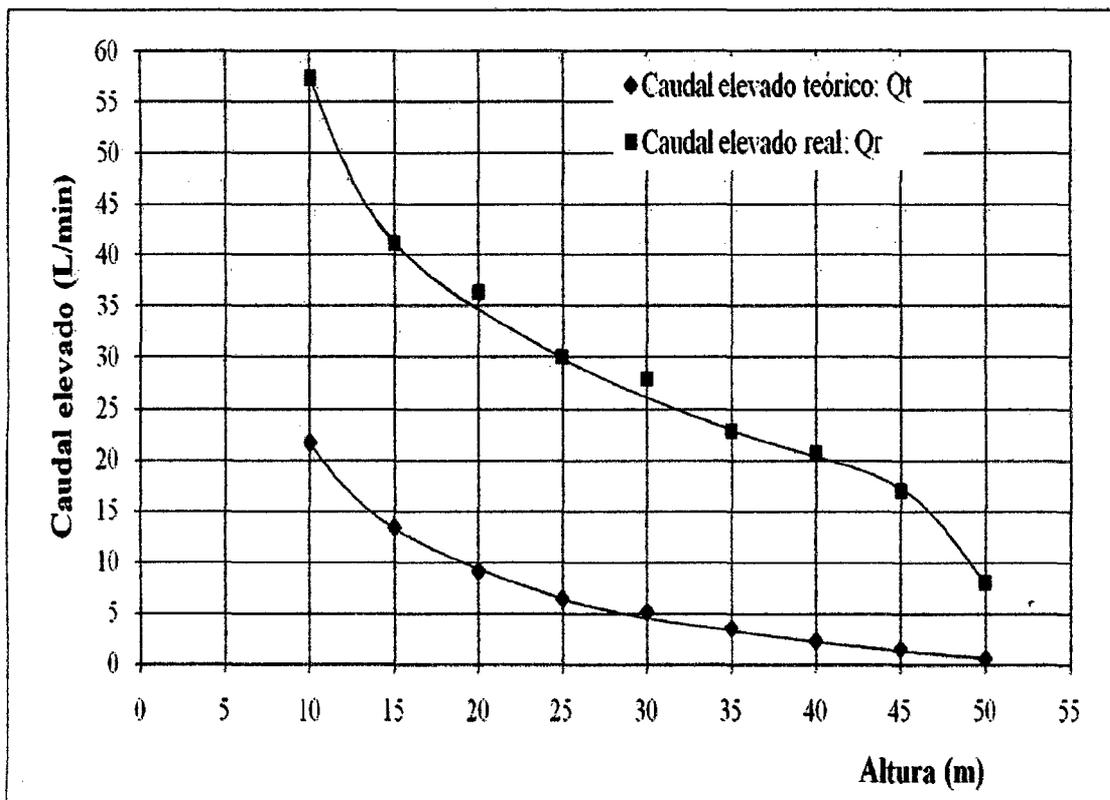


Figura 4. Variación del caudal bombeado por la bomba de ariete hidráulico de 2" con dos válvulas con resorte, en función de la altura de descarga.

3.2.1. Análisis de regresión curvilínea con el SPSS (Caudal elevado vs Altura)

Con el "Statistical Package for the Social Sciences" (SPSS) se ha determinado la curva correspondiente a varios modelos de regresión curvilínea, en base a ello se ha seleccionado como el más representativo al modelo de regresión cúbica, cuyo análisis estadístico se muestra en las Tablas 5, 6 y 7; la gráfica correspondiente se muestra en la Figura 5.

Tabla 5. Resumen del modelo de regresión cúbica (Caudal elevado vs Altura).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,996	0,993	0,988	1,569

Fuente: Elaboración SPSS. La variable independiente es Altura.

Tabla 6. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica (Caudal elevado vs Altura).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	1685,200	3	561,733	228,126	0,000
Residual	12,312	5	2,462		
Total	1697,512	8			

Fuente: Elaboración SPSS. La variable independiente es Altura.

Tabla 7. Coeficientes de la ecuación cúbica (Caudal elevado vs Altura).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Altura	-5,994	0,829	-5,634	-7,231	0,001
Altura ** 2	0,168	0,030	9,662	5,586	0,003
Altura ** 3	-0,002	0,000	-5,101	-5,155	0,004
(Constante)	101,255	6,712		15,086	0,000

Fuente: Elaboración SPSS.

La ecuación de la línea cúbica del caudal elevado (y) vs altura (x), para el funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico con dos válvulas, con resorte, Prototipo INDES 111 será de la forma:

$$y = -0,002x^3 + 0,168x^2 - 5,994x + 101,255$$

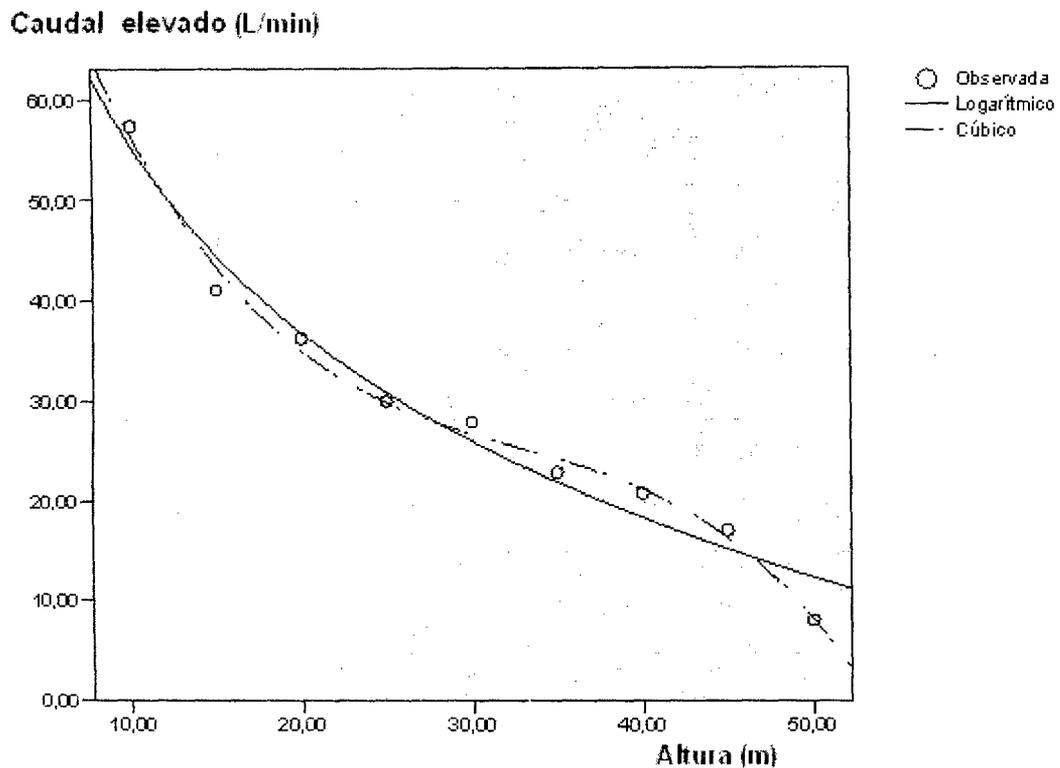


Figura 5. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea cúbica (- -) generada por el SPSS para el caudal elevado vs altura. Bomba con dos válvulas con resorte (Prototipo INDES 111).

En la Tabla 8 se muestra la eficiencia de la bomba de ariete en función de la altura de descarga. La casa del propietario del terreno se ubica a 50 m de diferencia de altura desde donde se encuentra la bomba de ariete. A pesar que el

caudal bombeado disminuye con el incremento de la altura de descarga; a 50 m de altura habrá bombeado 1 m^3 en 2,08 horas, con lo cual tendrán agua suficiente para las necesidades del día. El reservorio de agua de 10 m^3 de capacidad, para riego del terreno se instalará a 45 m de altura con respecto a la ubicación de la bomba de ariete, entonces, esta bomba lo llenará en 9,80 horas (Tabla 12), con una eficiencia de 24,42% (Tabla 8). Si se hace funcionar la bomba durante la noche, se podrá regar el pasto de día empleado aspersores para optimizar el uso del agua.

Tabla 8. Eficiencia de la bomba de ariete de 2" con $h = 3,8 \text{ m}$ con dos válvulas de cierre con resorte. $Q_a = 69,61 \text{ L/min}$.

Altura de elevación: H (m)	Caudal elevado real: Q_r (L/min)	Caudal desechado: Q_d (L/min)	Eficiencia: η (%)
10	57,35	12,26	82,39
15	41,09	28,52	59,03
20	36,31	33,30	52,16
25	29,98	39,63	43,07
30	27,89	41,72	40,07
35	22,82	46,79	32,78
40	20,68	48,93	29,71
45	17,00	52,61	24,42
50	8,01	61,60	11,51

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Análisis de regresión curvilínea con el SPSS (Eficiencia vs Altura)

Con el SPSS se ha determinado la curva correspondiente a varios modelos de regresión curvilínea, en base a ello se ha seleccionado como el más representativo al modelo de regresión cúbica, cuyo análisis estadístico se muestra en las Tablas 8, 9 y 10; la gráfica correspondiente se muestra en la Figura 6.

Tabla 9. Resumen del modelo de regresión cúbica (Eficiencia vs Altura).

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
0,996	0,993	0,988	2,255

Fuente: Elaboración SPSS. La variable independiente es Altura.

Tabla 10. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión cúbica (Eficiencia vs Altura).

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	3477,891	3	1159,297	228,054	0,000
Residual	25,417	5	5,083		
Total	3503,309	8			

Fuente: Elaboración SPSS. La variable independiente es Altura.

Tabla 11. Coeficientes de la ecuación cúbica (Eficiencia vs Altura).

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta	B	Error típico
Altura	-8,610	1,191	-5,634	-7,230	0,001
Altura ** 2	0,242	0,043	9,661	5,584	0,003
Altura ** 3	-0,002	0,000	-5,100	-5,153	0,004
(Constante)	145,462	9,643		15,084	0,000

Fuente: Elaboración SPSS.

La ecuación de la línea cúbica de la eficiencia (y) vs altura (x), para el funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico con dos válvulas, con resorte, Prototipo INDES 111, será de la forma:

$$y = -0,002x^3 + 0,242x^2 - 8,610x + 145,462$$

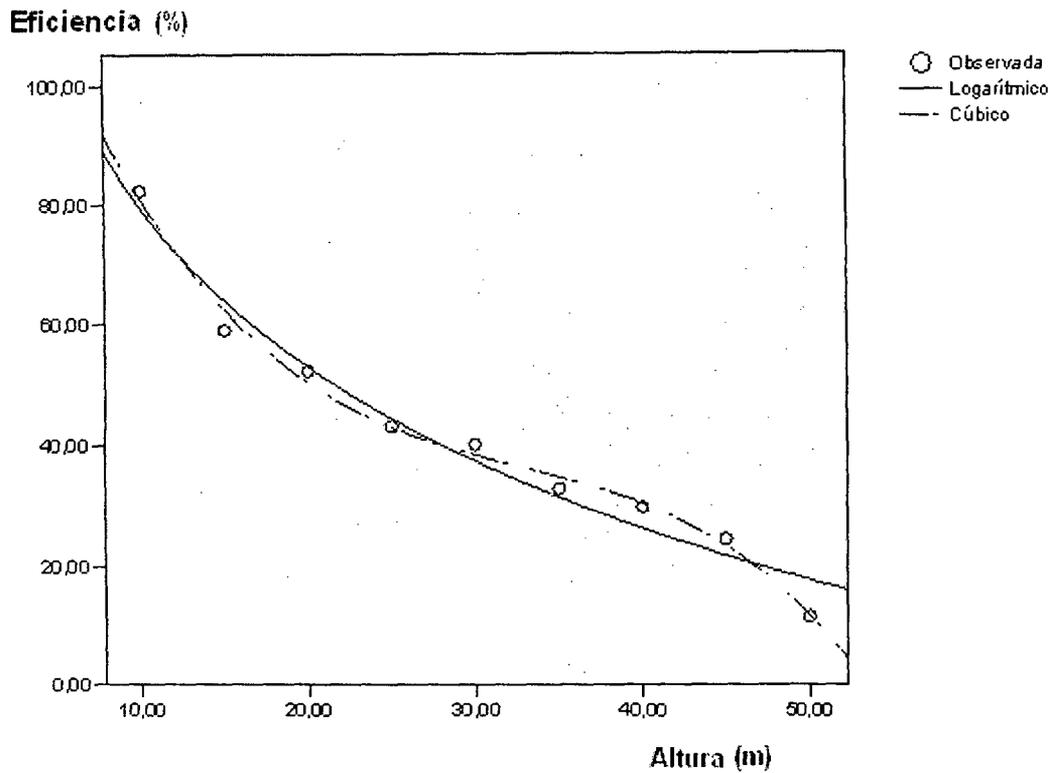


Figura 6. Representación de los datos experimentales (0) y de la línea cúbica (- -) generada por el SPSS para la eficiencia vs altura. Bomba con dos válvulas con resorte (Prototipo INDES 111).

Para tener una forma de comparación de los resultados experimentales, se calculó el tiempo necesario para que la bomba de ariete hidráulico de 2" con dos válvulas con resorte, llene 1 m³ de agua, y el reservorio de 10 m³ si se lo instala a esa altura; lo cual se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Tiempo de llenado de 1 m³ y del reservorio de 10 m³ con el caudal bombeado (Qr), a diferentes alturas (H).

Altura de elevación: H (m)	Caudal real bombeado: Qr (L/min)	Tiempo de llenado de 1 m ³ (min)	Tiempo de llenado del reservorio de 10 m ³ (h)
10	57,35	17,44	2,91
15	41,09	24,34	4,06
20	36,31	27,54	4,59
25	29,98	33,36	5,56
30	27,89	35,86	5,98
35	22,82	43,82	7,30
40	20,68	48,36	8,06
45	17,00	58,82	9,80
50	8,01	124,84	20,81

Fuente: elaboración propia

Tabla 13. Presupuesto para la construcción del reservorio de 10 m³ de capacidad.

Materiales	Unidad	Cantidad	Costo (S/.)
Geomembrana de PVC	m ²	28	640,64
Mano de obra	Unidad	30	720,00
Geotextil	m ²	28	640,64
Pegamento g y f	Lata	1	50,00
Llave de paso de 1"	Unidad	2	30,00
TOTAL			2081,28

Fuente: elaboración propia

Tabla 14. Presupuesto de instalación de la bomba de doble ariete.

Materiales	Unidad	Cantidad	Costo (S/.)
Bomba de ariete	Unidad	1	600,00
Tubería de 1"	Unidad	20	140,00
Tubería de 2"	Unidad	6	154,00
Tubería de 3"	Unidad	16	144,00
Reservorio de concreto	Unidad	1	102,00
Cilindro de 200 L	Unidad	1	40,00
Aspersor	Unidad	1	12,00
Manguera	Unidad	1	8,00
TOTAL			1200,00

Fuente: elaboración propia

3.3. Mantenimiento de la bomba de ariete hidráulico

Si la bomba de ariete está bien fabricada y bien instalada, requerirá de un mínimo mantenimiento. Sus partes móviles son las dos válvulas de cierre o de impulso y la válvula de descarga, por lo que su desgaste es muy poco. Entre los mantenimientos a hacer tenemos:

- ✓ Cada mes se debe inspeccionar la bomba de ariete, pintar las partes oxidadas, limpiar los filtros o mallas de la boca de entrada de la tubería que viene del embalse, ajustar tuercas flojas y reponer el aire de la cámara.
- ✓ Después de un prolongado tiempo de uso, el aire de la cámara, por mezclarse con el agua, poco a poco se consume. Esta situación se hace notar cuando la

bomba de ariete trabaja de manera brusca, con ruido metálico intenso y con una eficiencia cada vez menor. Por esta razón, cada cierto tiempo resulta necesario renovar con aire fresco la cámara.

- ✓ Las piezas móviles de la bomba de ariete, correspondientes a las válvulas de cierre, pueden superar fácilmente los 10 años de funcionamiento continuo, pero se recomienda que al cabo de este tiempo, realizar una revisión de estas válvulas, por posibles desgastes. Es posible que la empaquetadura de jebe y lona de la válvula de descarga (check) dure menos tiempo, por lo que es recomendable tener una o dos disponibles para el cambio.
- ✓ En general, se contempla como vida útil de una bomba de ariete hidráulico, un lapso de 50 años como mínimo.

IV. DISCUSIÓN

Se instaló una bomba de ariete hidráulico de 2" con dos válvulas de cierre con resorte en cada una de ellas, denominada Prototipo INDES 111, en el Anexo Huascazala, distrito de Molinopampa de la región Amazonas; con la finalidad de abastecer un sistema de riego tecnificado para parcelas de pastos, las cuales no pueden ser regadas por gravedad debido a la pendiente del terreno. La producción de pastos en esas parcelas es mayor en temporada de lluvias y decae en veranos prolongados, por esta razón se hace necesario implementar un sistema de riego de bajo costo para mantener durante todo el año una producción constante de pasto.

Dentro de la propiedad y en el curso de la quebrada Gallocucho, se ubicó un punto para hacer el embalse y conducir parte del agua hacia un tanque de concreto, desde donde se abastecerá a la bomba de ariete. El caudal conducido hacia dicho tanque fue de 160 L/min, el cual supera ampliamente el requerimiento mínimo de 3 L/min necesario para que funcione una bomba de ariete hidráulico (Aguilar, 2008).

Teóricamente, por cada metro de diferencia de altura entre la fuente de abastecimiento de agua y la bomba de ariete, ésta debe elevar el agua 10 m (Izquierdo y Velásquez, 1992). Desde donde se ubicó el tanque de concreto hasta la ubicación de la bomba de ariete hidráulico, se tuvo una diferencia de altura de 3,8 m; por tanto, esta bomba debería elevar el agua hasta un máximo de 38 m. Sin embargo, se alimentó un caudal de 69,61 L/min a la bomba de ariete de doble válvula de cierre y con resortes en ellas y ha elevado el agua hasta 50 m, haciendo llegar un caudal de 8,01 L/min con una eficiencia de 11,51%.

Para abastecer de agua a la casa del propietario que se encuentra a 50 m de altura con respecto a la ubicación de la bomba de ariete, se empleará 2,08 h para llenar 1 m³ de agua, lo cual será suficiente para atender las necesidades diarias de agua de la familia.

Si se construye a 45 m de altura, con respecto a la ubicación de la bomba de ariete, el reservorio planificado de 10 m³, desde el cual se abastecerá con agua a presión a los aspersores para realizar el riego tecnificado de las parcelas de pasto, la bomba de ariete hidráulico de 2" elevará el agua desde la quebrada Gallocucho con un caudal de 17,0 L/min, con una eficiencia de 24,42% y le demandará 9,80 h para llenarlo. Si se hace operar la bomba durante la noche, se tendrá agua suficiente para regar las parcelas de pasto durante el día, cambiando de posición los aspersores cada hora.

El caudal real elevado por la bomba de ariete evaluada, descendió desde 57,35 L/min a 10 m de altura de descarga hasta 8,01 L/min a 50 m. El procesamiento de los resultados experimentales del caudal real elevado frente a la altura de descarga, con el software SPSS ha permitido determinar que la tendencia es bien representada por una ecuación cúbica de la forma: $y = -0,002x^3 + 0,168x^2 - 5,994x + 101,255$; cuyo ajuste (R^2) con respecto a los datos experimentales fue de 0,993.

La eficiencia de la bomba de ariete hidráulico evaluada, descendió desde 82,39% a 10 m de altura de descarga o bombeo hasta 11,51% a 50 m. El procesamiento de los resultados experimentales de la eficiencia frente a la altura de descarga, con el software SPSS ha permitido determinar que la tendencia es bien representada por una ecuación cúbica de la forma: $y = -0,002x^3 + 0,242x^2 - 8,610x + 145,462$; cuyo ajuste (R^2) con respecto a los datos experimentales fue de 0,993.

Las ecuaciones cúbicas obtenidas en el presente trabajo de investigación tanto para el caudal real elevado como para la eficiencia en función de la altura de descarga, para la bomba de ariete evaluada, pueden emplearse para modelar su operación, de manera que se pueda determinar hasta que altura puede elevar el agua, aunque sea un caudal mínimo, esta bomba. También servirán para determinar a cualquier altura, el caudal elevado y la eficiencia de esta bomba de ariete.

El caudal real elevado por la bomba de ariete hidráulico con dos válvulas y con resortes en ellas, supera en 1,6 veces al caudal teórico esperado a 10 m de altura; y es 8,3 veces mayor al esperado a 45 m de altura de descarga.

Por todo lo anterior podemos manifestar que la bomba de ariete hidráulico de 2", con dos válvulas de cierre y con resortes en ellas, denominada Prototipo INDES 111, ha superado ampliamente los valores teóricos esperados y permitirá abastecer el sistema de riego tecnificado para incrementar la producción de pastos del propietario. Constituye además una demostración que es factible el empleo de energías renovables para no contaminar el medio ambiente y a la vez, reducir considerablemente los costos comparado con un sistema de bombeo de agua convencional con motobomba eléctrica o que emplee gasolina o petróleo.

V. CONCLUSIONES

- 1- Mediante un embalse se captó 160 L/min de agua de la quebrada Gallocucho, el cual supera ampliamente el requerimiento mínimo de 3 L/min para que funcione una bomba de ariete hidráulico.
- 2- Con una diferencia de altura entre el tanque de abastecimiento de agua hasta la bomba de ariete de 3,8 m, se alimentó un caudal de 69,61 L/min a la bomba de ariete de doble válvula de cierre y con resortes en ellas y ha elevado el agua hasta 50 m, haciendo llegar un caudal de 8,01 L/min con una eficiencia de 11,51%.
- 3- Para abastecer con 1 m³ de agua a la casa del propietario se empleará 2,08 h de funcionamiento de la bomba de ariete evaluada.
- 4- El reservorio de 10 m³ a 45 m de altura, con respecto a la ubicación de la bomba de ariete, para el riego tecnificado de las parcelas de pasto, será llenado por esta bomba en 9,80 h con una eficiencia de 24,42%.
- 5- La tendencia de variación del caudal real elevado frente a la altura de descarga, es representada por la ecuación cúbica: $y = -0,002x^3 + 0,168x^2 - 5,994x + 101,255$; cuyo ajuste (R^2) con respecto a los datos experimentales fue de 0,993.
- 6- La tendencia de variación de la eficiencia frente a la altura de descarga, es representada por la ecuación cúbica: $y = -0,002x^3 + 0,242x^2 - 8,610x + 145,462$; cuyo ajuste (R^2) con respecto a los datos experimentales fue de 0,993.
- 7- El sistema de bombeo de agua con energías renovables evaluado, permite abastecer un sistema de riego tecnificado para incrementar la producción de pastos.

VI. RECOMENDACIONES

- 1- Difundir las bondades de esta tecnología que emplea energía renovable para el bombeo de agua.
- 2- Instalar otra bomba similar junto a la evaluada para incrementar el caudal elevado. El tanque de concreto tiene un volumen de agua suficiente para abastecer dos bombas.
- 3- Masificar el uso de esta tecnología en la Región Amazonas por que la inversión para implementar el sistema de riego descrito en el presente trabajo de investigación se recuperará en corto tiempo, debido a que no emplea ninguna otra fuente de energía.
- 4- Emplear las ecuaciones cúbicas obtenidas en el presente trabajo de investigación tanto para el caudal real elevado como para la eficiencia en función de la altura de descarga, para la bomba de ariete evaluada, para modelar su operación, de manera que se pueda determinar hasta que altura puede elevar el agua, aunque sea un caudal mínimo. También servirán para determinar a cualquier altura, el caudal elevado y la eficiencia de esta bomba de ariete.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

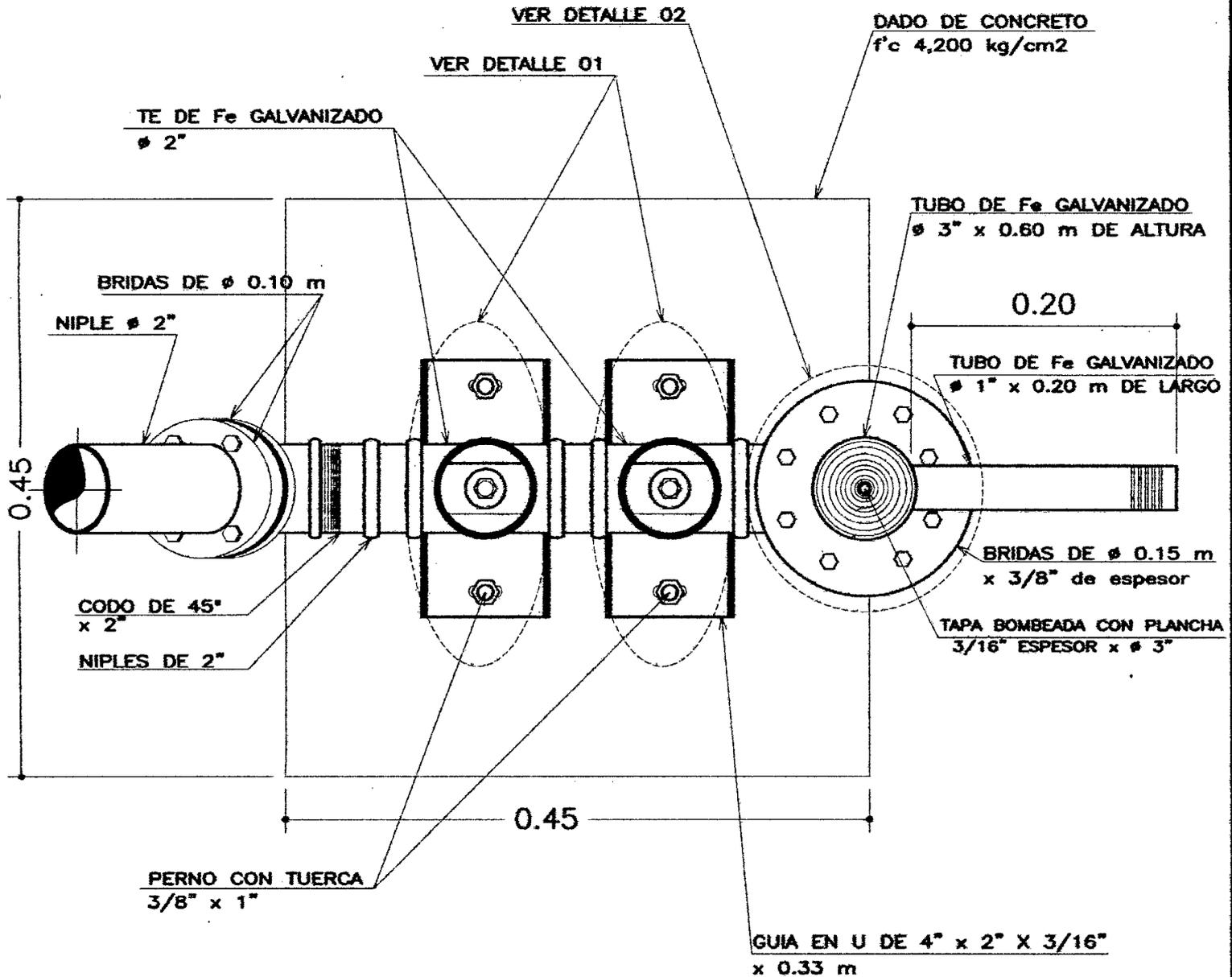
- 7.1. AGRICULTURA DE LAS AMERICAS. 1964. Bomba sin motor... El ariete hidráulico. Mayo. pp. 46-48 y 62-64.
- 7.2. Aguilar P. “La energía hidráulica”, Centro Integral de Tecnología del Agua (CITA), Cuba. 2008.
- 7.3. Fox Kenneth, R. 1984. Manual sobre diseño, construcción, instalación y mantenimiento de arietes hidráulicos. PREDESUR, Publicación N° 50. Ecuador.48 p.
- 7.4. Izquierdo M. y A. Velásquez. Ariete Hidráulico, Diseño, construcción y explotación. Publicaciones internas, ISMM, Cuba. 1992.
- 7.5. Márquez C. 2009. Proyecto de implementación de las BAH en el Perú. Disponible en: <http://revistas.pucp.edu.pe/willay/node/338>. Acceso el 04 de Octubre de 2010.
- 7.6. Moreno J. 2004. Ariete Hidráulico. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_de_ariete. Acceso el 23 de Septiembre de 2010.
- 7.7. Rodríguez P. “Aplicación de Energías Renovables”, Ecosol Solar, CUBAENERGIA, Cuba. 2006.
- 7.8. Velásquez J. 2009. Bomba Ariete Hidráulico. Disponible en:<http://revistas.pucp.edu.pe/willay/node/338>. Acceso el 27 de septiembre de 2010.
- 7.9. Vera C. 2007. Historia de la Bomba de ariete. Disponible en: http://www.industriaselpauji.com/index.php?option=com_content&view=article&id=50:bomba-de-ariete-hidraulico&catid=1:latest-news&Itemid=55. Acceso el 20 de septiembre de 2010.
- 7.10. Vicente A: Optimización de diversos tipos de Arietes hidráulicos y su aprovechamiento para riego de pequeñas parcelas en centro Loja. Ecuador. 2009.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

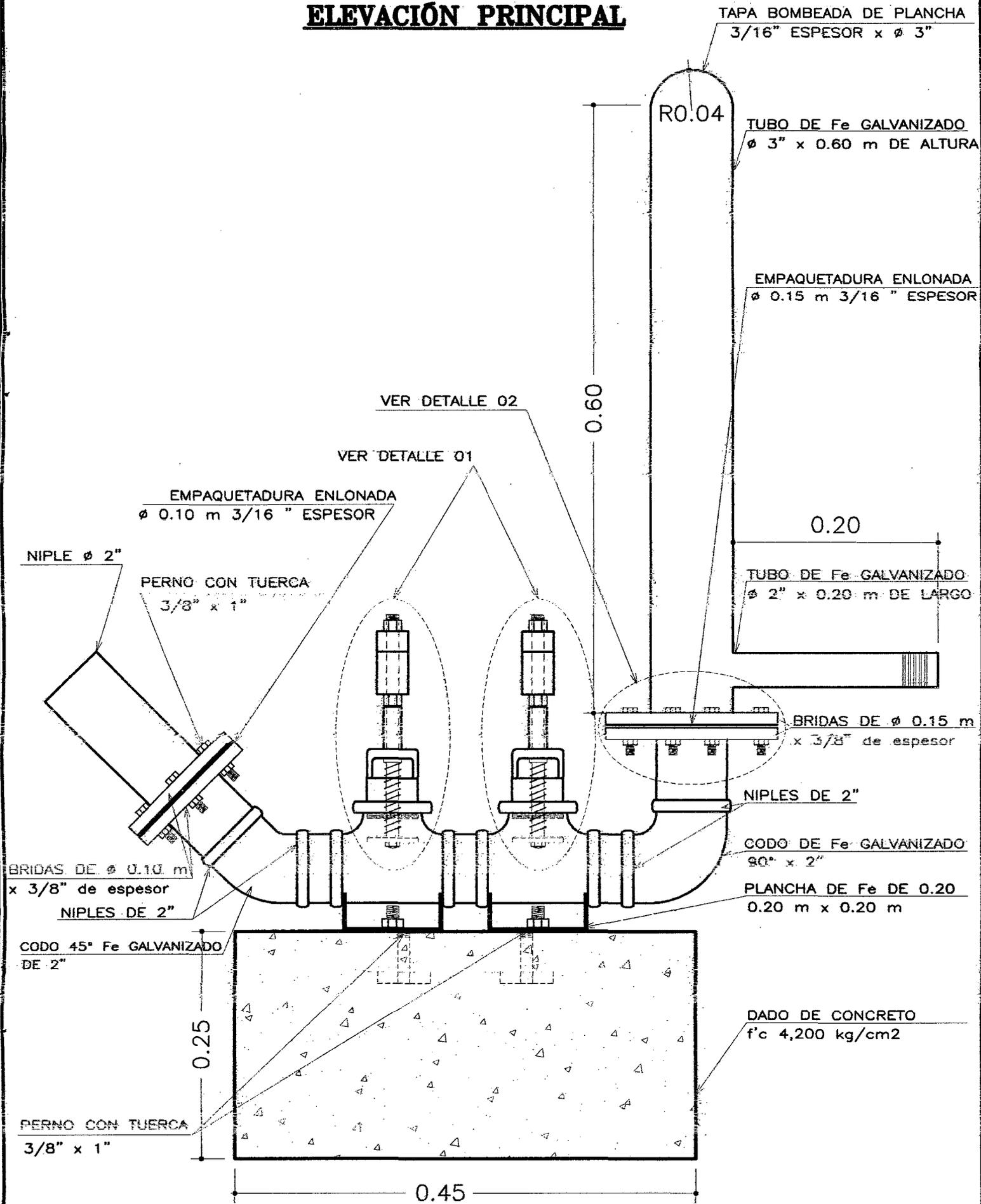
PLANOS DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO DE 2" DE DOS VALVULAS CON RESORTE PROTOTIPO INDES 111

PLANTA



PROYECTO: BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO DE 2"						
UBICACION: ANEXO: HUASCAZALA		PLANTA			LAMINA: P-01	
DISTRITO: MOLINOPAMPA	PROVINCIA: CHACHAPOYAS	REGION: AMAZONAS	DES: Barrena, Mori y López.	PAGINA: 39	FECHA: ABRIL-2011	

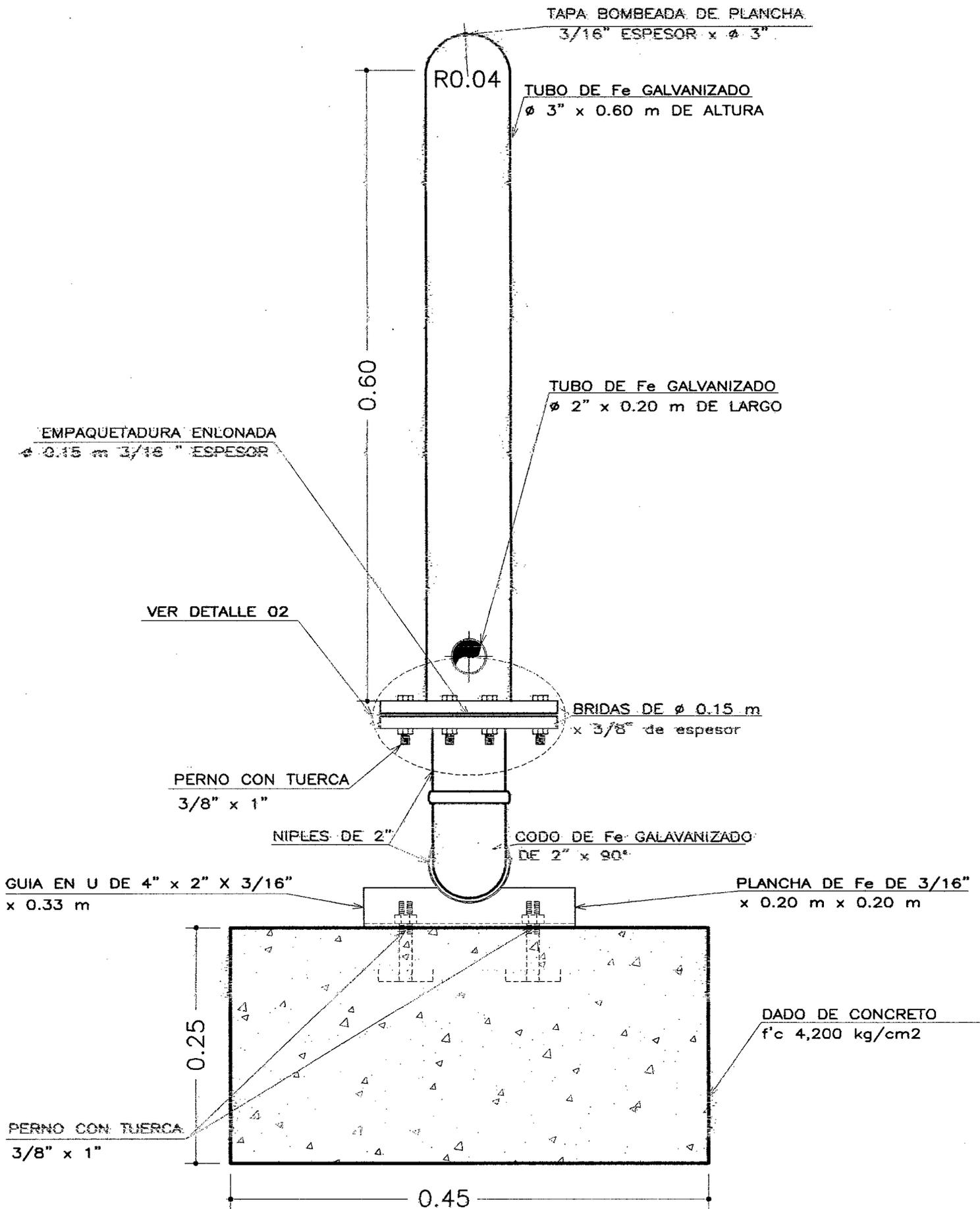
ELEVACIÓN PRINCIPAL



BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO DE 2"

UBICACION: ANEXO: HUASCAZALA		PLANO: ELEVACIÓN PRINCIPAL			LAMINA: E-01
DISTRITO: MOLINOPAMPA	PROVINCIA: CHACHAPOYAS	REGION: AMAZONAS	DIS: Barrena, Mori y López.	PAGINA: 40	FECHA: ABRIL-2011

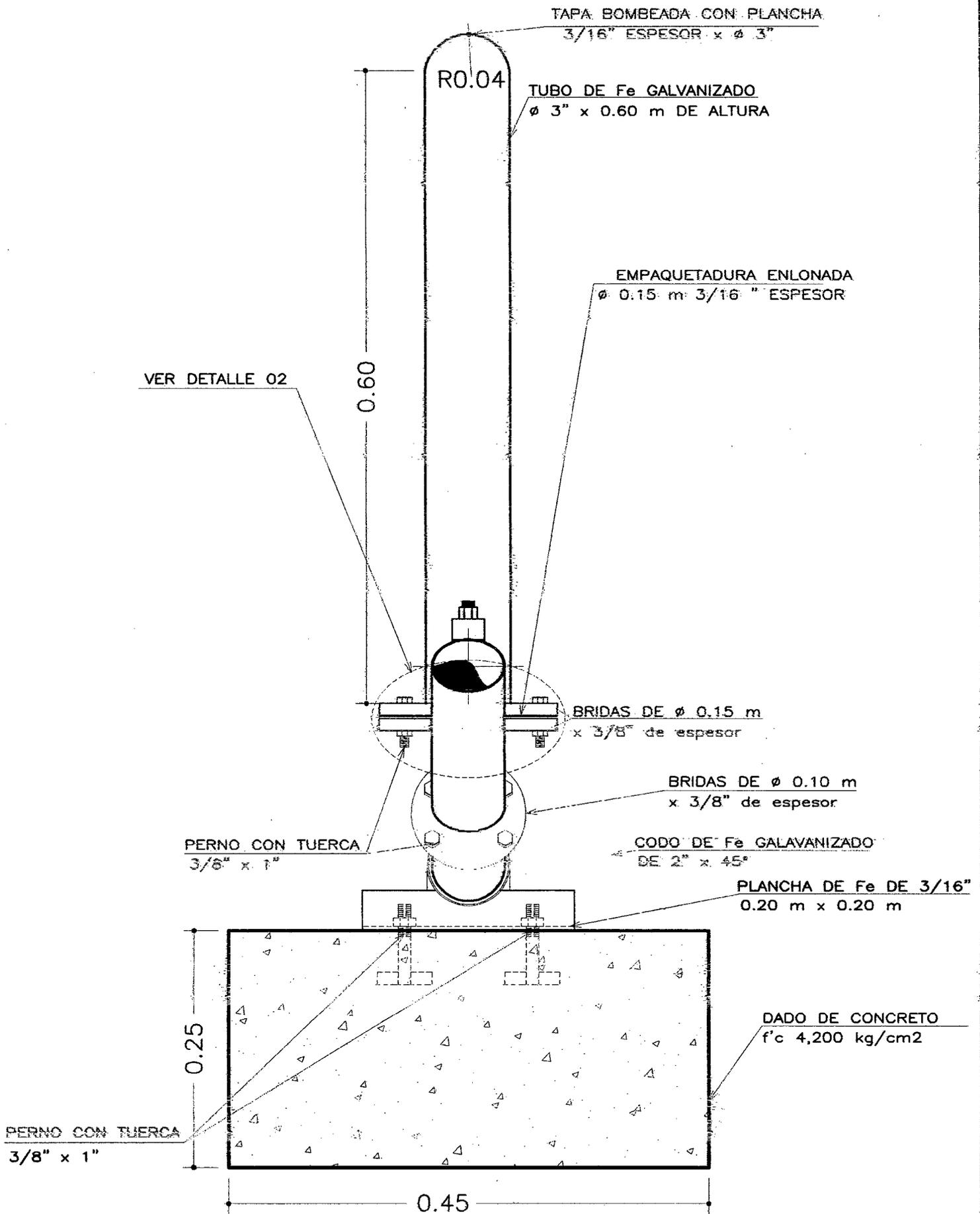
ELEVACIÓN LATERAL DERECHA



BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO DE 2^{da}

UBICACIÓN:		ANEXO:		PLANO:		LAMINA:	
MOLINOPAMPA		HUASCAZALA		ELEVACIÓN LATERAL DERECHA		E-02	
DISTRITO:	PROVINCIA:	REGION:	DIS:	PAGINA:	FECHA:		
MOLINOPAMPA	CHACHAPOYAS	AMAZONAS	Barena, Mori y López.	41	ABRIL-2011		

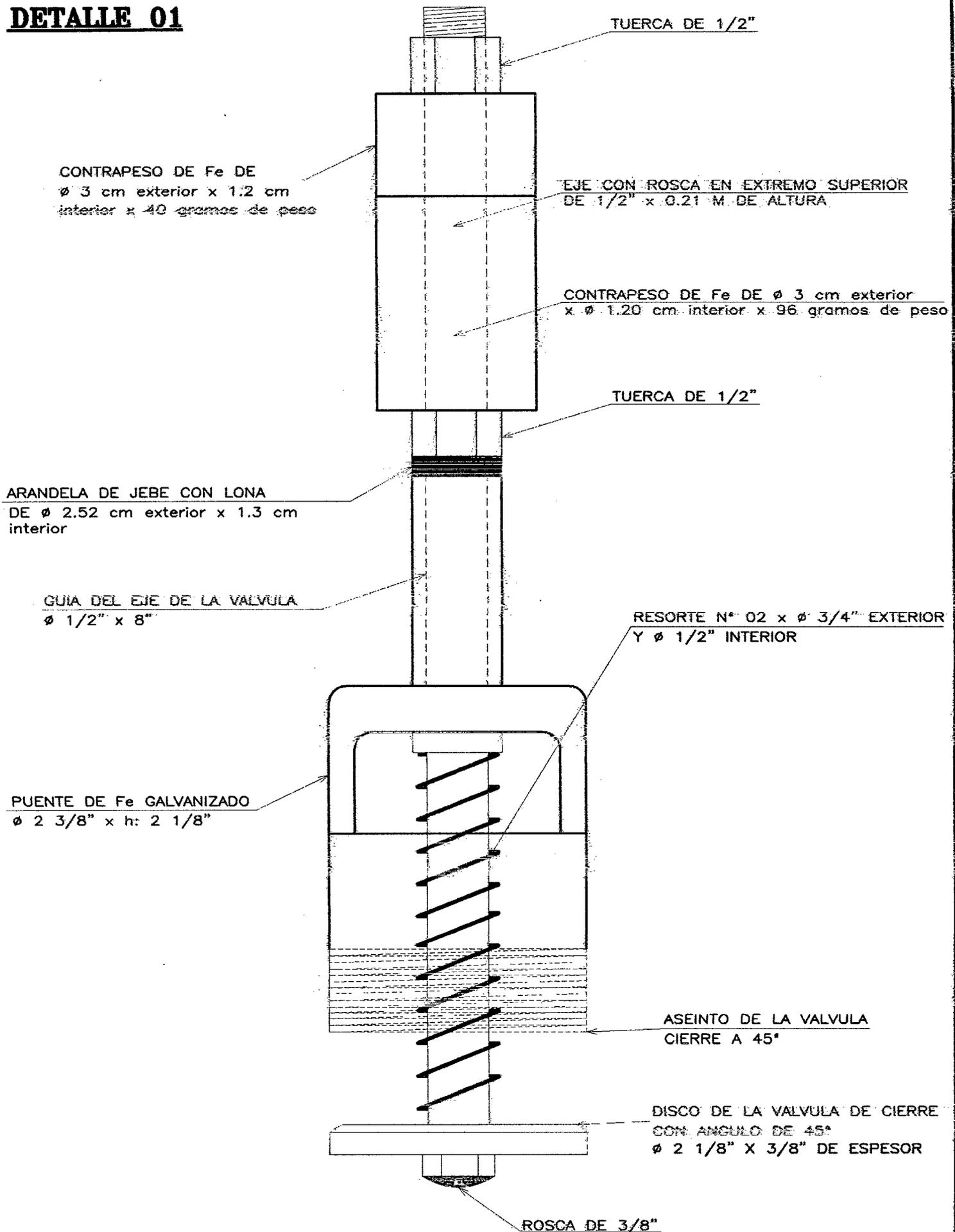
ELEVACIÓN LATERAL IZQUIERDA



BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO DE 2"

UBICACION:		ANEXO:		PLANO:		LAMINA:	
MOLINOPAMPA		HUASCAZALA		ELEVACIÓN LATERAL IZQUIERDA		E-03	
DISTRITO:	PROVINCIA:	REGION:	DIS:	PAGINA:	FECHA:		
MOLINOPAMPA	CHACHAPOYAS	AMAZONAS	Barrena, Mori y López.	42	ABRIL-2011		

DETALLE 01



BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO DE 2"

UBICACION:		ANEXO:		PLANO:		LAMINA:	
MOLINOPAMPA		HUASCAZALA		DETALLE 01		D-01	
DISTRITO:	PROVINCIA:	REGION:	DIS:	PAGINA:	FECHA:		
MOLINOPAMPA	CHACHAPOYAS	AMAZONAS	Barrena, Morí y López.	43	ABRIL-2011		

DETALLE 02

0.04

TAPA BOMBADA CON PLANCHA
3/16" ESPESOR x ϕ 3"

TUBO DE Fe GALVANIZADO
 ϕ 3" x 0.60 m DE ALTURA

TUBO DE Fe GALVANIZADO
 ϕ 2" x 0.20 m DE LARGO

VER DETALLE 03

BRIDAS DE ϕ 0.15 m
x 3/8" de espesor.

PERNO CON TUERCA
3/8" x 1"

NIPLE DE Fe
GALVANIZADO DE
2" x 2"

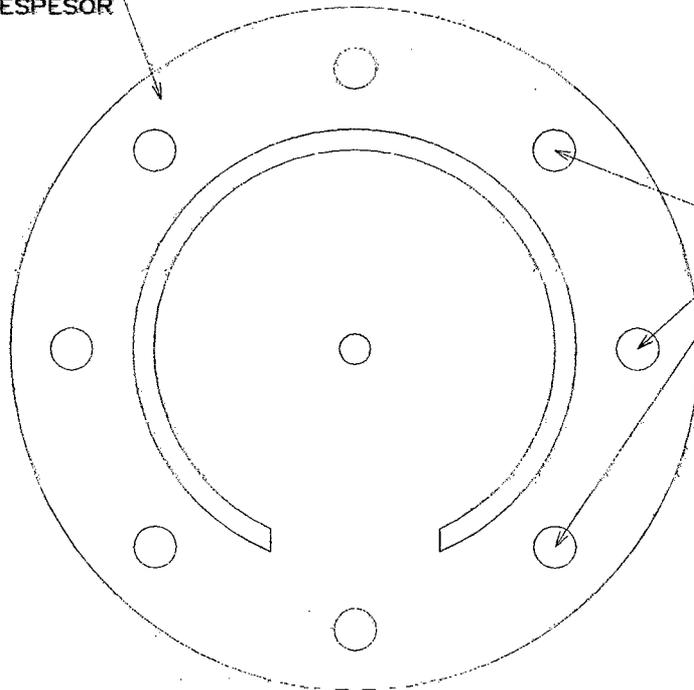
CODO DE Fe GALVANIZADO
90° x 2"

BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO DE 2"

UBICACION:		ANEXO:		PLANO :		LAMINA:	
MOLINOPAMPA		HUASCAZALA		DETALLE 02		D-02	
DISTRITO:	PROVINCIA:	REGION:	DIS:	PAGINA:	FECHA :		
MOLINOPAMPA	CHACHAPOYAS	AMAZONAS	Barrena, Mori y López.	44	ABRIL-2011		

DETALLE 03

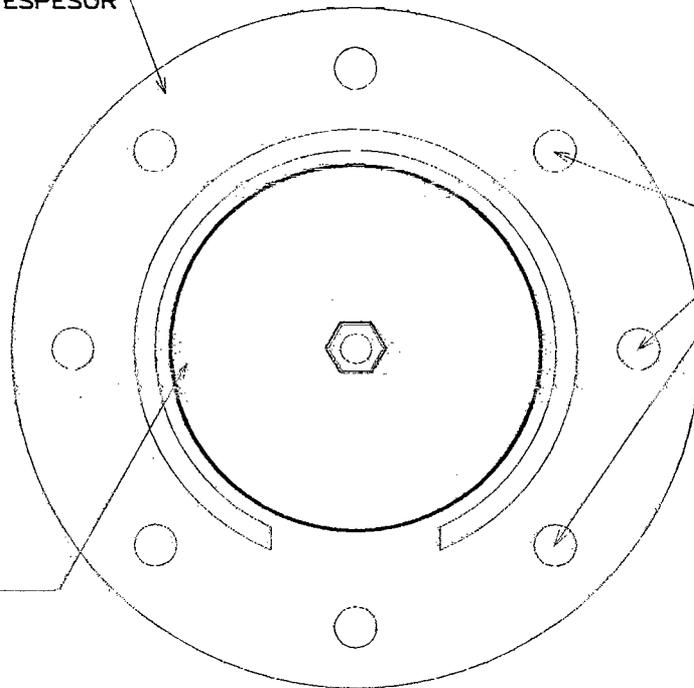
EMPAQUETADURA ENLONADA
 ϕ 0.15 m 3/16 " ESPESOR



AGUJEROS DE ϕ 3/8"
x 3/8" de espesor

**FORMA DE LA EMPAQUETADURA DE JEFE Y LONA PARA CERRAR
LA ENTRADA DE AGUA AL TANQUE DE COMPRESION DE AIRE**

EMPAQUETADURA ENLONADA
 ϕ 0.15 m 3/16 " ESPESOR



AGUJEROS DE ϕ 3/8"
x 3/8" de espesor

DISCO DE FIERRO DE
 ϕ 2 1/2"

**VISTA SUPERIOR DE LA EMPAQUETADURA DE JEBE Y LONA QUE SIRVE
PARA SELLAR LA ENTRADA DE AGUA AL TANQUE DE COMPRESION DEL AIRE
TIENE EMPERNADO UN DISCO DE METAL QUE AYUDA A SU CIERRE.**

BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO DE 2^{da}

UBICACION:		ANEXO:		PLANO:			LAMINA:
		HUASCAZALA		EMPAQUETADURA ENLONADA			D-03
DISTRITO:	PROVINCIA:	REGION:	DIS:	PAGINA:	FECHA:		
MOLINOPAMPA	CHACHAPOYAS	AMAZONAS	Dis: Barrena, Mori y López.	45	ABRIL-2011		

ANEXO 2

Secuencia fotográfica del ensamble de la bomba de ariete hidráulico de 2" con dos válvulas con resorte. Prototipo INDES 111



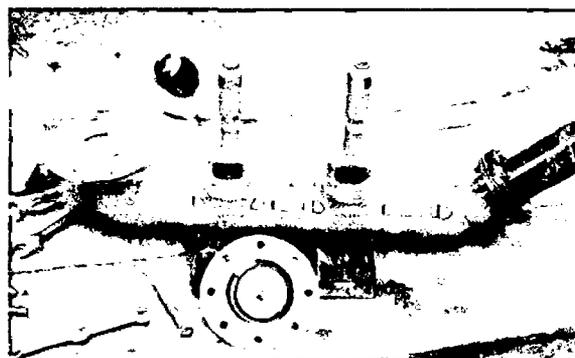
Fotografía 7. Válvula de cierre desmontada.



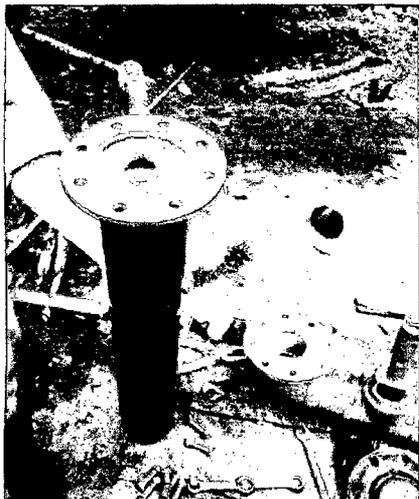
Fotografía 8. Válvula de cierre con resorte.



Fotografía 9. Cuerpo de la bomba de ariete.



Fotografía 10. Válvulas instaladas.



Fotografía 11. Tanque de compresión de aire y tubo de descarga de agua de 1".



Fotografía 12. Empaquetadura de jebe y lona de la válvula de descarga (check), con su contrapeso empernado.



Fotografía 12. Forma en la que abre la válvula de descarga.



Fotografía 13. Bomba de ariete lista para funcionar.

ANEXO 3

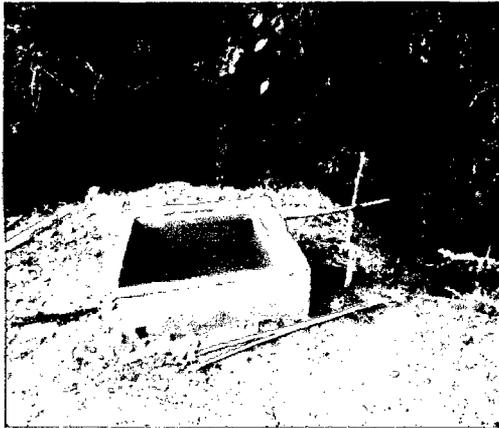
Secuencia fotográfica de la instalación y funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico de 2" de dos válvulas con resorte. Prototipo INDES 111



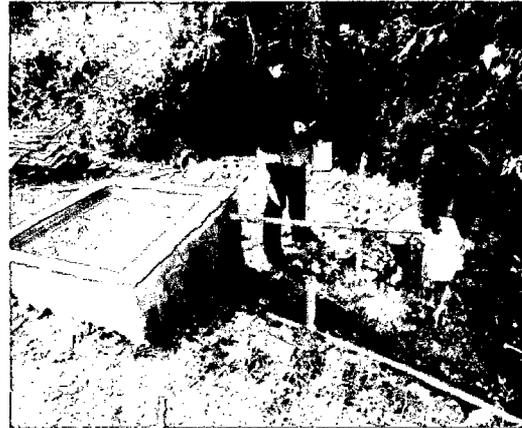
Fotografía 14. Ubicación del embalse y del tanque de alimentación de la bomba.



Fotografía 15. Tubería de PVC de 3" que lleva el agua del embalse al tanque de alimentación.



Fotografía 16. Durante la operación de la bomba, el nivel de agua se mantiene en 89 cm de profundidad ($0,89 \text{ m}^3$).



Fotografía 17. Medición del caudal del rebose que retorna a la quebrada. La llave de compuerta está en la base del tanque.



Fotografía 18. Tubería de alimentación a la bomba de ariete.



Fotografía 19. Bomba de ariete instalada.



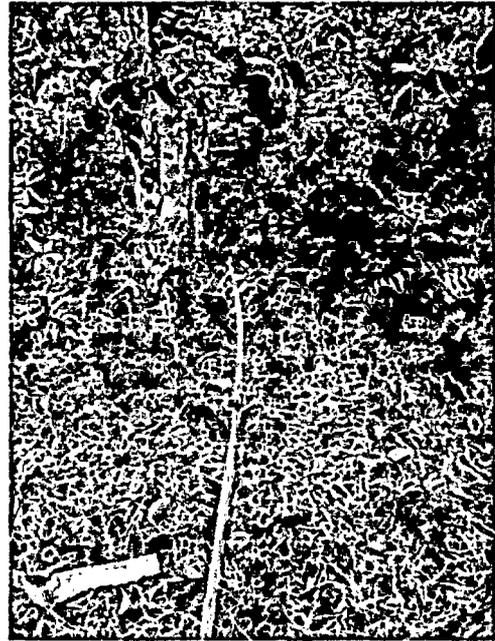
Fotografía 20. Derrame de agua por las válvulas de cierre completamente abiertas.



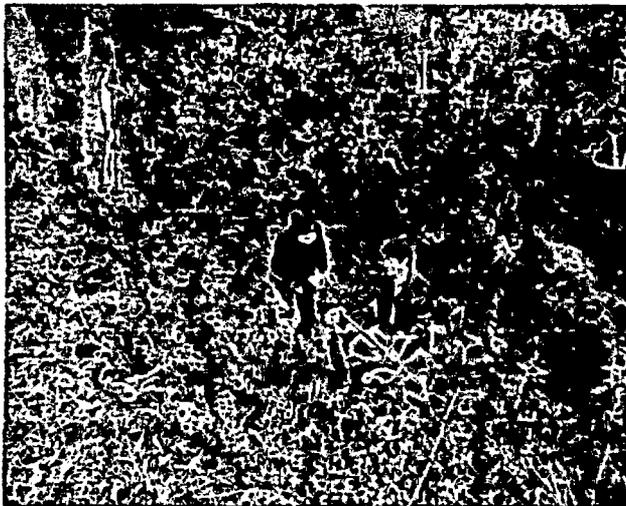
Fotografía 21. Cierre de válvulas de impulso que producen el golpe de ariete.



Fotografía 22. Bomba en funcionamiento.



Fotografía 23. Tubería de descarga de PVC de 1". Al fondo se observa la bomba.



Fotografía 24. Llegada del agua a 10 m de altura.



Fotografía 25. Medición del caudal a 10 m de altura.



Fotografía 26. Cilindro de 200 L donde se almacena el agua para el riego. Se ubica a 45 m de altura con respecto a la bomba de ariete.



Fotografía 27. Aspersor empleado para regar el pasto con el agua bombeada por el ariete hidráulico.