



“Por un Desarrollo  
Agrario  
Integral y Sostenible”

# **UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

## **FACULTAD DE AGRONOMÍA**

### **Trabajo de Tesis**

**Construcción e instalación de una bomba de  
ariete para el abastecimiento del beneficio  
húmedo de café en la finca El Almendro, San  
Rafael del Norte**

**Autor**

**Br. Junior Nazareno Montenegro Pérez**

**Asesor**

**Ing. MSc. Joel Isaías Angulo Rocha**

**Managua, Nicaragua  
marzo 2023**



“Por un Desarrollo  
Agrario  
Integral y Sostenible”

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

## FACULTAD DE AGRONOMÍA

### Trabajo de Tesis

## Construcción e instalación de una bomba de ariete para el abastecimiento del beneficio húmedo de café en la finca El Almendro, San Rafael del Norte

**Autor**

**Br. Junior Nazareno Montenegro Pérez**

**Asesor**

**Ing. MSc. Joel Isaías Angulo Rocha**

Presentado a la consideración del Honorable Comité  
Evaluador como requisito final para optar al grado de  
Ingeniero Agrícola

**Managua, Nicaragua**  
**marzo 2023**



## Hoja de aprobación del Comité Evaluador

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el Honorable Comité Evaluador designado por el Decanato de la Facultad de Agronomía como requisito final para optar al título profesional de:

*Ingeniero Agrícola*

---

Miembros del Comité Evaluador

---

Presidente (Grado académico y nombre)

Secretario (Grado académico y nombre)

Vocal (Grado académico y nombre)

Lugar y Fecha: \_\_\_\_\_

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la vida, salud y las fuerzas que me permitieron culminar esta etapa de mi vida tan importante para mí y mi familia.

A mi madre Francisca del Socorro Pérez Úbeda, a mi padre Isidro Augusto Montenegro Zeledón y mi familia, quienes con mucho amor me guiaron por el camino del bien. Por darme ánimos cuando me sentía destruido, son mi ejemplo a seguir. Por enseñarme a nunca rendirme en ninguna circunstancia, a siempre encontrar una salida.

A mi novia Cinthya Teresa Callejas Rivera, por acompañarme cada paso, por ser un pilar fundamental en mi vida, por animarme a seguir adelante sin esperar nada a cambio.

Amigos y seres queridos, con quienes he vivido experiencias únicas que los hace muy importantes en mi vida y a quienes aprecio mucho.

*Br. Junior Nazareno Montenegro Pérez.*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios nuestro señor, que con amor me ha dado la vida y me conduce por el camino de bien.

A mis padres, Francisca del Socorro Pérez Úbeda e Isidro Augusto Montenegro Zeledón por su apoyo incondicional, quienes son mi motor para superar cada obstáculo que se me presente. Con esfuerzo y sacrificio me han llevado a cumplir mis sueños, Inculcándome valores y principios.

A Fray Damián Muratori, proyecto Hermanas Guerrisi y todo el personal que labora en el santuario Tepeyac por el apoyo que me fue brindado mientras termine mis estudios secundarios y universitarios.

A mi novia, Cinthya Teresa Callejas Rivera, quien con su apoyo y amor me anima ser mejor persona, ella es mi motor para concretar nuestros sueños.

A mi asesor, ing. Joel Isaías Angulo Rocha, por su apoyo, su ayuda y su loable labor de enseñar.

Al señor Tomas Rivera por confiar en que podíamos solucionar el problema de escasez de agua en el beneficio para lavar café.

*Br. Junior Nazareno Montenegro Pérez.*

## INDICE DE CONTENIDO

<b>SECCIÓN</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>DEDICATORIA</b>	i
<b>AGRADECIMIENTO</b>	ii
<b>INDICE DE CUADROS</b>	iii
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	iv
<b>INDICE DE ANEXOS</b>	v
<b>RESUMEN</b>	vi
<b>ABSTRACT</b>	vii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>II. OBJETIVOS</b>	2
<b>2.1. Objetivo general</b>	2
<b>2.2. Objetivos específicos</b>	2
<b>III. MARCO DE REFERENCIA</b>	3
3.1. Abastecimiento de agua en San Rafael del Norte dirigida a pequeños productores	3
3.1.1. Demanda de agua en beneficios húmedos de café	3
3.2. Golpe de ariete	4
3.2.1. Descripción del fenómeno en abastecimiento por gravedad	4
3.3. Bomba de Ariete	5
3.3.1. Períodos del modelo de Krol	6
3.3.2. Tipos de arietes	8
3.4. Ventajas del ariete	9
<b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	10
<b>4.1. Ubicación del estudio</b>	10
4.1.1. Ubicación de la finca	11
<b>4.2. Diseño metodológico</b>	11
4.2.1. Tipo de investigación	11
4.2.2. Selección del lugar de instalación	12
4.2.3. Levantamiento Topográfico	12
4.2.4. Pruebas de Aforo	14
4.2.5. Cálculo de parámetros para el diseño del ariete	16

4.2.6.	Cálculo de parámetros para la evaluación del funcionamiento del ariete	18
4.2.7.	Programas Informáticos para el procesamiento y análisis de datos	22
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>23</b>
5.1.	Levantamiento Topográfico	23
5.1.1.	Ángulo de inclinación de la tubería de alimentación	23
5.2.	Parámetros para el diseño del ariete hidráulico	24
5.2.1.	Diámetro de la tubería de suministro y descarga	24
5.2.2.	Longitud de la recámara de aire	24
5.3.	Evaluación del funcionamiento del ariete hidráulico	24
5.3.1.	Caudal de alimentación, caudal de desecho y caudal de descarga	24
5.3.2.	Potencia del ariete	25
5.3.3.	Rendimiento Volumétrico	25
5.3.4.	Eficiencia del ariete	25
5.3.5.	Presión dinámica medidas con manómetros	25
5.3.6.	Velocidad media del flujo	26
5.3.7.	Pulsaciones y tiempo de cierre de la válvula de trabajo	26
5.3.8.	Celeridad y periodo del golpe de ariete	26
5.3.9.	Sobrepresión en el ariete hidráulico	26
5.3.10.	Perdidas de carga en la tubería de descarga y carga dinámica total	27
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>28</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>29</b>
<b>VIII.</b>	<b>LITERATURA CITADA</b>	<b>30</b>
<b>IX.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>33</b>

## INDICE DE CUADROS

CUANDRO	PÁGINA
1. Cuadro ventajas y desventajas del ariete hidráulico.	9



## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>		<b>PÁGINA</b>
1.	Proceso del golpe de ariete en una tubería	5
2.	Funcionamiento de la bomba ariete	8
3.	Ubicación de San Rafael del Norte	10
4.	Etapas de la metodología empleada	12
5.	Perfil altimétrico de la tubería de descarga	23

## INDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO</b>		<b>PÁGINA</b>
1.	Cuadro de levantamiento altimétrico	33
2.	Cuadro de distancias y elevaciones de descarga	33
3.	Cuadro de pruebas de aforos en la fuente de alimentación	33
4.	Cuadro de pruebas de aforos en la descarga	34
5.	Cuadro de pulsaciones	34
6.	Cuadro de caudal de descarga	34
7.	Cuadro de especificaciones de la tubería de alimentación	34
8.	Cuadro de especificaciones de la tubería de descarga	35
9.	Reconocimiento del terreno y levantamiento altimétrico	35
10.	Aforo en la fuente de alimentación e instalación de la bomba de ariete	36
11.	Puesta en funcionamiento del ariete y aforo en la descarga	36
12.	Presupuesto del proyecto	37

## RESUMEN

La presente investigación realizada en el año 2022 orientada al diseño, construcción y evaluación del funcionamiento de la bomba de ariete instalada bajo una sola condición topográfica, para suplir las necesidades hídricas en el beneficio húmedo del café en la finca El Almendro, propiedad del señor Tomas Rivera en el municipio de San Rafael del Norte, Jinotega, a partir de la metodología de Krol (1976). Se seleccionó el lugar según topografía del trayecto desde la fuente de agua hasta el beneficio de la finca que presentara mejores condiciones de instalación para garantizar el funcionamiento adecuado del ariete, con el fin garantizar un suministro de agua sin interrupción durante el funcionamiento hidráulico del mismo, para esto se realizó un levantamiento topográfico para determinar la altura de suministro, la altura de descarga, longitud de alimentación y longitud de descarga. Con los datos topográficos se calculó el diámetro de alimentación, diámetro de descarga y cámara de aire. El rendimiento volumétrico calculado fue del 1.85 %, una potencia útil de 3 watt, una eficiencia de 4.2 % y un caudal bombeado de 257.4 litros por hora.

**Palabras clave:** rendimiento volumétrico, eficiencia, potencia útil, caudal bombeado.

## ABSTRACT

The present investigation carried out in the year 2022 oriented the design, construction and evaluation of the operation of the ram pump installed under a single topographic condition, to meet the water needs in the wet benefit of coffee on the El Almendro farm, owned by Mr. Tomas Rivera in the municipality of San Rafael del Norte, Jinotega, based on the methodology of Krol (1976). The place was selected according to the topography of the route from the water source to the benefit of the farm that will present better installation conditions to guarantee the proper functioning of the ram, in order to guarantee a supply of water without interruption during the hydraulic operation of the ram. Likewise, for this a topographical survey was carried out to determine the supply height, discharge height, feeding length and discharge length. With the topographic data, the feeding diameter, discharge diameter and air chamber were calculated. The calculated volumetric efficiency was 1.85%, a useful power of 3 watts, an efficiency of 4.2% and a pumped flow of 257.4 liters per hour.

**Keywords:** volumetric efficiency, efficiency, useful power, pumped flow.

## I. INTRODUCCIÓN

La agricultura se ha visto afectado por situaciones adversas causadas principalmente por el cambio climático, siendo la sequía un problema cada vez más frecuente. La necesidad de beneficiar el café representa para el productor una inversión en equipos de bombeo que anualmente requieren mantenimientos y consumo de una fuente de energía para su funcionamiento, infraestructuras para el almacenamiento del agua. Siendo la bomba de ariete una tecnología de bajo costo, fácil de manejar y que no produce contaminación, usada en zonas rurales para el abastecimiento de pequeñas comunidades que necesitan agua para sus actividades diarias, como también para sus procesos productivos, es una alternativa también para pequeños y medianos productores del sector agrícola, como el sector caficultura.

En la finca el Almendro, el señor Tomas Rivera, años atrás trasportaba el agua para las actividades diarias de su hogar y en los meses de cosecha del café, era lavado en un pequeño rio, la fuente de agua de la finca. En el año 2009 adquirió una bomba de motor a gasolina de 6 hp, el cual ya venció su vida útil presentando desperfectos mecánicos, así fue posible la realización de esta investigación en esta finca.

Entre muchos investigadores del principio de funcionamiento de ariete, Krol en 1976 es quien ha logrado aproximarse más hidráulicamente para describir el fenómeno y los parámetros de diseño, formuló una metodología que toma parámetros como volumen interno de la tubería de alimentación e igualarlos en la recamara de aire; se pueden encontrar diversas investigaciones de bombas de ariete que utilizan la metodología de Krol y han llegado a obtener muy buenos rendimientos.

El propósito de la presente investigación fue evaluar el funcionamiento hidráulico de la bomba de ariete diseñada para transportar agua desde la fuente hasta el beneficio húmedo de café donde es almacenada, a fin de garantizar un abastecimiento permanente en la temporada de cosecha de café.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Construir una bomba de ariete hidráulico para el suministro de agua en la finca El Almendro, San Rafael del Norte.

### **2.2. Objetivos específicos**

Determinar los parámetros de diseño de un ariete hidráulico monopulsor según la metodología del investigador Kroll en 1976.

Estimar parámetros hidráulicos que caracterizan el funcionamiento de la bomba de ariete.

### **III. MARCO DE REFERENCIA**

#### **3.1. Abastecimiento de agua en San Rafael del Norte dirigida a pequeños productores**

El municipio de San Rafael del Norte está conformado por 53 comunidades, de las cuales 46 de estas tienen sistemas de agua para diferentes usos distribuidos de la siguiente manera: 26 Mini Acueductos por Gravedad (MAG) que dan agua a 34 comunidades, siete Mini Acueducto por Bombeo Eléctrico (MABE) que abastecen siete comunidades, dos sistemas combinados M.A.G - M.A.B.E. los cuales abastecen dos comunidades, tres sistemas de pozo perforados con bombas de mecate en tres comunidades (Pineda, 2017).

La crisis del abastecimiento de agua supone caminar a diario largas distancias o hacer inversiones en tecnologías que su funcionamiento se debe al uso de hidrocarburos, aumentando así los costos para obtener agua suficiente, limpia o no, únicamente para salir adelante, para otros, implica sufrir desnutrición o padecer enfermedades causadas por las sequías, las inundaciones o por un sistema de saneamiento inadecuado. También hay quienes la viven como una falta de fondos, instituciones o conocimientos para resolver los problemas locales del uso y distribución del agua (Serrano, 2012).

##### **3.1.1. Demanda de agua en beneficios húmedos de café**

Históricamente el agua ha sido uno de los principales problemas para el sector productivo del café, tanto en temas de contaminación como en temas de uso irracional del recurso hídrico. Los beneficios húmedos han utilizado grandes cantidades de agua en diversas etapas de su proceso. Según estudios, se consumen entre 2.24 m<sup>3</sup> a 4 m<sup>3</sup> por quintal de café oro procesado (Gutiérrez, 2008).

La finca El Almendro produce de 1.5 a 2 quintales por día de café listo para lavar cuando el café presenta mayor maduración debido a la extensión territorial destinada a este rubro en esta finca (2.5 mz ó 1.8 Ha). Al trabajar esta finca con un modelo ecológico, dando así que

la finca en cantidad de agua demanda según la necesidad de agua por quintal de café pergamino, aproximadamente 5.5 m<sup>3</sup> por día.

La falta de infraestructura adecuada (el uso de beneficios artesanales viejos y maquinaria obsoleta), aumento de los hidrocarburos, el limitado acceso a la tecnología apropiada y los microcréditos además de los intereses elevados dificultan la adquisición de infraestructura adecuada, hacen que la calidad del café se deteriore gran parte por el uso de aguas poco aptas y en bajas cantidades para el beneficiado y que potencialmente se contaminen las fuentes de agua. En general los productores realizan el beneficiado con una despulpadora instalada en un poste de madera, en tolvas y cajones de madera, condiciones que no les permitía desarrollar un proceso continuo y eficiente para obtener máximos rendimientos y una calidad excelente del café (Gutiérrez, 2008).

### **3.2. Golpe de ariete**

Es un choque hidráulico que genera fluctuaciones de presión debido a un incremento o disminución repentina de la velocidad del flujo en un sistema (Figuera, 2020). El cambio de presión provoca deformaciones elásticas en el líquido y en las paredes de la tubería. Este fenómeno se considera indeseable porque causa frecuentes roturas en las redes hidráulicas de las ciudades y en las instalaciones intradomiciliarias, y también es causante de los sonidos característicos que escuchamos en las tuberías cuando abrimos un grifo bruscamente en nuestras casas.

#### **3.2.1. Descripción del fenómeno en abastecimiento por gravedad**

Sánchez (2020). Expresa que, si el paso del agua con una velocidad determinada se corta en su totalidad, la cantidad de agua más próxima a la válvula se detendrá y será empujada por la masa de agua que viene detrás y así sucede con el resto de la cantidad del fluido hasta que este se detenga. Esta compresión genera una onda máxima que va desde las proximidades de la válvula hasta el origen, haciendo que la energía cinética del agua se convierta en energía de compresión, cuando el agua se detiene, ha agotado su energía cinética y se inicia la



descompresión en el origen de la conducción trasladándose hacia la válvula, y por la ley pendular esta descompresión no se detiene en el valor de equilibrio, sino que lo sobrepasa para repetir el ciclo. Esta descompresión supone una depresión, que retrocede hasta la válvula para volver a transformarse en compresión, repitiendo el ciclo y originando en el conducto unas variaciones ondulatorias de presión que constituyen el golpe de ariete.

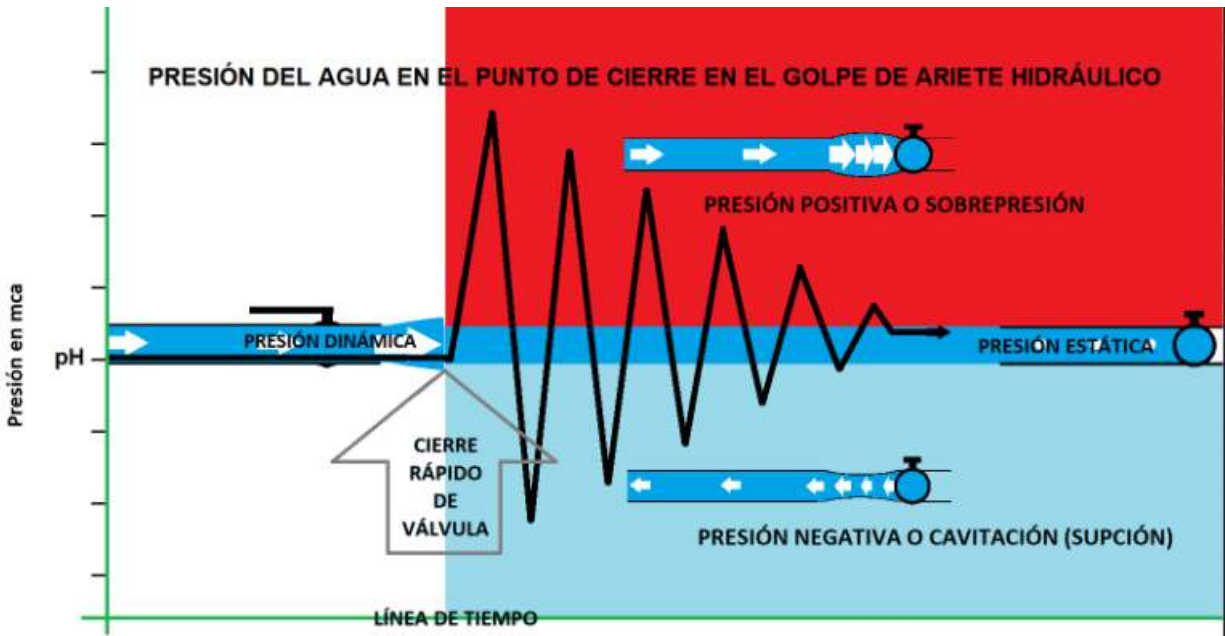


Figura 1. Proceso del golpe de ariete en una tubería.

Fuente: Pérez (2018).

### 3.3. Bomba de Ariete

Ortega (2013), expresa que la primera bomba de ariete conocida se atribuye al inglés John Whitehurst en 1772. Este ilustre personaje experimentaba con el agua que fluía rápidamente por los tubos, y en su cervecería, ubicada en el condado de Cheshire, inventó una máquina muy rudimentaria, la cual era accionada manualmente. Este hydram, al que denominó “pulser pump” estaba accionado por un grifo en una tubería conectada a un tanque de abasto, en un nivel superior, para provocar el fenómeno físico conocido como golpe de ariete, el cual le permitió elevar el líquido a un tanque de almacenamiento colocado a 4.9 metros de altura.

Unos años después, en 1776, la sagacidad humana añadió elementos al invento de John Whitehurst y se fabricó el primer ariete hidráulico autoactivante de la mano de los hermanos Montgolfier, cuya mejora consistía en que ya no se necesitaba de ninguna fuerza externa para abrir la válvula de impulso, sino que era la propia fuerza inherente del agua la que se encargaba de realizar esa tarea, a este nuevo prototipo le denominó “belier hydraulique.

El choque de ariete que se produce involuntariamente puede provocar daños importantes en las tuberías. Sobre todo, en las turbinas de agua con caída desde grandes alturas se intenta evitar que este choque de ariete no provoque daños colocando equipos de protección para reducir el efecto destructivo de este fenómeno. Por tal razón, con frecuencia se diseñan válvulas de efecto retardado o se instalan dispositivos de seguridad (Gerätebau, 1998).

Este fenómeno se expresa mediante un fuerte golpeteo en toda la tubería y por ende un aumento en la presión dentro de la misma, el cual es aprovechado por la bomba para elevar parte del caudal de entrada (López, 2010).

Krol (1976). Realizó el modelamiento del ariete, dividiendo el ciclo de operación de éste en 7 periodos, pero no tienen en cuenta las pérdidas presentes en la válvula de impulso por fuerzas de arrastre y pérdidas por efecto tobera.

### **3.3.1. Períodos del modelo de Krol**

Los investigadores Campaña & Guamán (2011). Expresan en su investigación que el análisis realizado por Krol en 1976 divide el ciclo completo de funcionamiento del ariete en siete períodos, para un ciclo permanente; basándose en su equipo experimental.

**PERÍODO 1.** Este período también es conocido como de aceleración ya que la masa de agua se desperdicia hasta adquirir una energía cinética suficiente para iniciar el cierre de la válvula. Se inicia el período en un instante del ciclo en el que, por efectos del ciclo anterior, el agua ha retornado hacia el reservorio una distancia “y”.

**PERÍODO 2.** La válvula de impulso permanece abierta y el agua continúa acelerándose, a medida que se incrementa la velocidad de la corriente de la columna de agua, aumenta la fuerza de arrastre, hasta llegar a desequilibrar la carga del resorte.

**PERÍODO 3.** Usando la segunda ley de Newton, Krol (1976), plantea que, para el tiempo del cierre de la válvula de impulso, en función de los siguientes parámetros: La altura del reservorio (H), longitud y diámetro del tubo de impulso, carrera y diámetro en la válvula de impulso, masa total en la válvula de impulso, densidad, gravedad y los coeficientes de pérdida de carga. La velocidad es tal que la fuerza de arrastre que actúa en el asiento de la válvula de impulso es mayor que la carga elástica, por lo que ésta se empieza a cerrar.

**PERÍODO 4.** Corresponde al golpe de ariete. Permite un cierre brusco de la válvula al final del período, golpeando en el asiento gracias a la elasticidad del agua y de las paredes del tubo de alimentación. Considerando la inercia de las válvulas, con la condición anterior esto toma un poco de tiempo hasta que el momento dinámico creado por el golpe de ariete se traslade desde la válvula de impulso hasta la válvula de servicio, en un tiempo  $2L/c$ .

**PERÍODO 5.** Este período corresponde al bombeo, la válvula de servicio se encuentra totalmente abierta. La energía cinética proveniente de la columna de agua en movimiento es transformada en energía hidráulica. Entonces se promueve el ingreso del agua a la cámara de aire. La masa de agua que cumple con las condiciones de presión es bombeada.

**PERÍODO 6.** Después que el agua es bombeada, se cierra la válvula de servicio. Este período comprende el intervalo de tiempo desde que se cierra la válvula de servicio hasta el inicio de apertura de la de impulso por la inercia de las válvulas.

**PERÍODO 7.** Al generarse la presión negativa, la válvula de impulso se abre, por la acción del resorte. Al final del período 6, el agua en el tubo de impulso tiene una velocidad negativa y la columna de agua retrocede una distancia “y”.

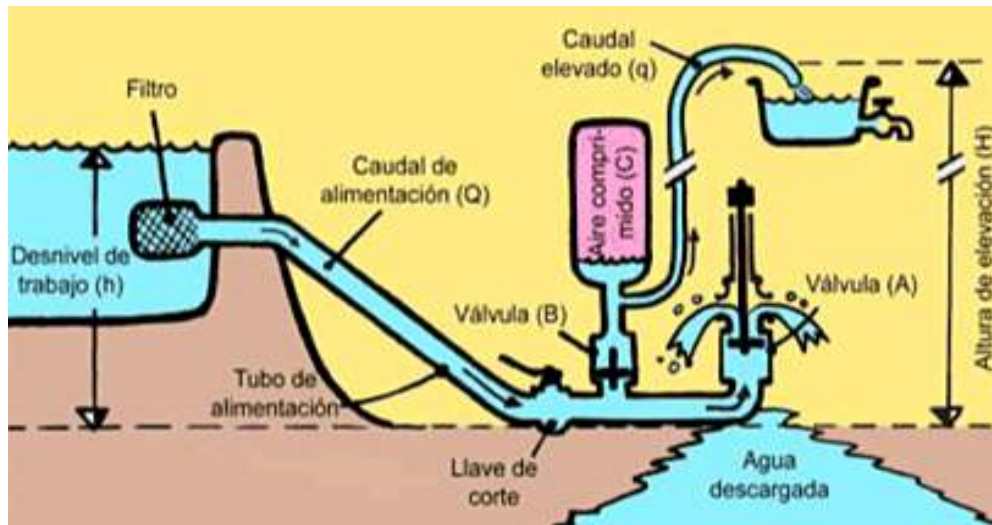


Figura 2. Funcionamiento de la bomba ariete.

Fuente: Ramírez (2005).

### 3.3.2. Tipos de arietes

**Bomba de ariete hidráulico con cámara de aire.** Consta de un recipiente a presión el cual contiene aire que amortigua el choque de la presión hidráulica cuando la válvula de servicio se cierra, el uso de la cámara de aire mejora la eficiencia del bombeo al permitir un flujo más constante a través de la tubería de descarga. Aunque, en teoría, la bomba podría funcionar sin él, el rendimiento disminuiría drásticamente y la bomba estaría sometida a tensiones extraordinarias que podrían acortar considerablemente su vida útil (Pérez 2018).

**Bomba de ariete hidráulico sin cámara de aire.** La función de absorber los impactos de los golpes de ariete y convertir el caudal de agua pulsante en caudal de agua continuo se consigue con una tubería flexible de goma, silicona o caucho sustituyendo así la función de la recámara de aire. La longitud de la tubería flexible estará entre 0.5 m y 1 m dependiendo de la elasticidad, el diámetro mínimo será igual a la tubería de elevación (Pérez 2018).

**Bomba de ariete hidráulico monopulsor y multipulsor.** Lo normal es que tengan una válvula de impacto (monopulsor) o válvula de servicio la cual causa el golpe, pero se pueden poner varias válvulas de ariete y se denominan ariete hidráulico multipulsor (Acitores, 2012).

**Bombas de ariete en serie y en paralelo.** Cuando la fuente de agua que se dispone es grande y caudalosa, puede encontrarse varias bombas de ariete trabajando a la vez, unidas a la misma tubería de elevación. Es lo que se conoce como una instalación de bombas de ariete conectadas en paralelo.

De la misma forma, si se busca elevar agua a alturas muy elevadas (más de los 100 metros), puede resultar de utilidad que el agua elevada por una primera bomba de ariete sirva de alimentación para una segunda bomba de ariete, que eleve parte de esa agua a una altura aún mayor, lo cual presentaría un montaje en serie (Acitores, 2012).

### 3.4. Ventajas del ariete

Cuadro 1. Cuadro ventajas y desventajas del ariete hidráulico.

	Ventajas	Desventajas
Bomba de ariete	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajos costos de adquisición.</li> <li>• Poco mantenimiento.</li> <li>• No utiliza fuente de energía externa.</li> <li>• Larga vida útil.</li> <li>• Ecológicamente viable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poco caudal en comparación con otro tipo de bombas.</li> <li>• Bajas presiones en la descarga lo cual limita su uso a solo almacenar agua.</li> </ul>
Bomba de combustión interna	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Genera altas presiones.</li> <li>• Transporta grandes caudales.</li> <li>• Amplio uso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altos costos de adquisición.</li> <li>• Están limitadas al consumo de combustibles fósiles.</li> <li>• Altos costos de operación.</li> <li>• Mantenimientos costosos y periódicos.</li> <li>• Genera gases nocivos.</li> </ul>
Bomba eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Succiona a grandes profundidades.</li> <li>• Bombea grandes volúmenes de agua con altas presiones.</li> <li>• Amplio uso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altos costos de adquisición.</li> <li>• Limitada al uso en regiones donde esté presente el servicio de energía eléctrica o paneles solares.</li> <li>• Mantenimientos costosos y periódicos.</li> </ul>



#### **4.1.1. Ubicación de la finca**

##### **Finca El Almendro**

Propiedad del Sr. Tomas Rivera, esta finca cuenta con una extensión total de 3.54 ha (5 mz) aproximadamente, enfocada a la producción de café y granos básicos desde el año 2010, está ubicada a 20 km del casco urbano (parque central) de San Rafael del Norte, carretera que conduce al norte del municipio, ubicada en la comunidad Cerro Grande, su altitud ronda los 1,200 msnm.

#### **4.2. Diseño metodológico**

##### **4.2.1. Tipo de investigación**

La investigación no experimental es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables, es decir no se varían intencionalmente las variables solo se observa el fenómeno como tal y como se da en su contexto natural, para después ser interpretados (Sampieri, 2010).

La presente investigación es no experimental, transversal, cuantitativa, prospectiva, las variables fueron medidas una sola vez, dicha investigación está dirigida al diseño, construcción y evaluación de una bomba de ariete bajo una sola condición de instalación en la finca El Almendro con el fin de dar solución a la escasez de agua para el beneficiado húmedo del café (lavado del grano).

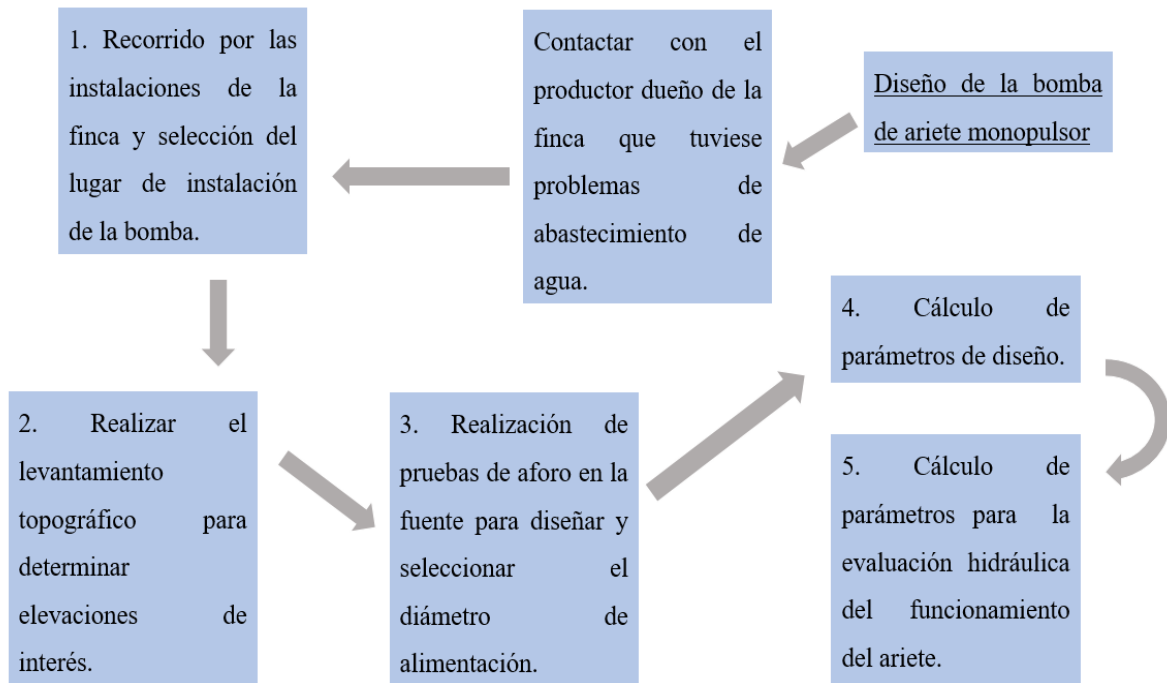


Figura 4. Etapas de la metodología empleada.

#### 4.2.2. Selección del lugar de instalación

Se realizó un recorrido por las instalaciones de la finca desde el beneficio húmedo hasta los posibles lugares de instalación de la bomba en el río, se seleccionó el punto en la fuente que presentara mejores condiciones de instalación.

#### 4.2.3. Levantamiento Topográfico

Los materiales que se utilizaron para llevar a cabo el levantamiento altimétrico en la finca fueron, el nivel de precisión, estadia doble milimetrada y fichas. Se realizó el levantamiento topográfico empleando el método de nivelación diferencial desde el lugar de instalación del ariete hasta el beneficio húmedo. Para iniciar el levantamiento altimétrico se asignó un banco de nivel (BN) cuya elevación se conoce.

Para calcular las elevaciones se utilizó las siguientes ecuaciones.



$$H_i = V_a + BN$$

$$H_i = V_a + Elv$$

$H_i$  = Altura del instrumento en m.

$BN$  = Banco de nivel en m, (o banco maestro, es un punto permanente natural o artificial en el terreno cuya elevación es conocida o puede ser asignada arbitrariamente. Se seleccionó un punto al cual se le asignó una elevación arbitraria para llevar a cabo el levantamiento).

$V_a$  = Vista atrás en m, (es la primera lectura que se hace al  $BN$  para determinar la altura del instrumento).

$Elv$  = Elevaciones calculadas del terreno en m.

$$Elv = H_i - L_i$$

$$Elv = H_i - V_f$$

$H_i$  = Altura del instrumento en m.

$V_f$  = Vista de frente en m. (última lectura que se hace al terminar el levantamiento o al cambiar de posición el instrumento)

$Elv$  = Elevaciones calculadas del terreno en m.

$L_i$  = Lectura intermedia en m, (lectura que se hace a cada punto o estación al cual se desea conocer su elevación).

### **Altura de suministro (H)**

El desnivel que hay entre el cuerpo de la bomba de ariete monopulsor y el nivel de la fuente de alimentación, necesario determinar parámetros de diseño de la bomba de ariete, utilizando el equipo topográfico para la recolección de datos y el método diferencial para determinar las elevaciones.

### **Altura de descarga (h)**

El desnivel que hay entre el cuerpo de la bomba de ariete monopulsor y el beneficio húmedo de café donde es almacenada, se calculó con los datos obtenidos mediante el uso del equipo topográfico de precisión, empleando el método diferencial.

### **Longitud real de suministro (L)**

Es la distancia que recorre la tubería de alimentación para transportar el agua desde la fuente hasta el cuerpo del ariete monopulsor, se midió mediante el uso de la cinta métrica para realizar los estudios pertinentes.

### **Longitud de descarga (l)**

Distancia que recorre la tubería de descarga para transportar el agua bombeada por el ariete hidráulico, desde el cuerpo del ariete hasta el beneficio húmedo donde el agua es almacenada, se midió con cinta métrica dividida en estaciones para facilitar el levantamiento tanto altimétrico como longitudinal.

### **Ángulo de inclinación de la tubería de alimentación**

Se calculó el ángulo de inclinación de la tubería de alimentación con datos obtenidos del levantamiento altimétrico, garantizando las condiciones de diseño, dado por la diferencia entre la altura de suministro, la ubicación de la bomba y la longitud de suministro, se empleó la siguiente fórmula.

$$\text{Sen}\alpha = \frac{H}{L}$$

Sen = Función seno.

$\alpha$  = Angulo de inclinación en grados.

H = Altura de suministro en m.

L = Longitud de suministro en m.

#### **4.2.4. Pruebas de Aforo**

### **Caudal de alimentación (Q)**

Se realizó pruebas de aforo en el mes de abril del año 2021 cuando el caudal de río es mínimo. Para estimar el volumen de agua a descarga libre se utilizó el método volumétrico, “este método se basa en medir el tiempo que demora en llenarse un balde o una probeta de un

volumen conocido. Al dividir la capacidad del balde (litros) por el tiempo empleado (segundos) se obtiene el caudal en l/s.” (Núñez Leonardo, et al, 2015).

Los materiales que se utilizaron para realizar las pruebas de aforo fueron: balde de 20 L, probeta de plástico con capacidad de 1000 ml y se utilizó cronometro, para determinar el caudal a descarga libre se utilizó el método volumétrico, se empleó la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Q = Caudal en  $m^3 \cdot s^{-1}$ .

V = Volumen de agua captado en el balde en  $m^3$ .

t = Tiempo que demora el agua en ocupar el volumen en el balde en s.

Se realizaron tres repeticiones, calculamos la media de los caudales obtenidos en cada una de las repeticiones

$$Q_m = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3}$$

$Q_m$  = Caudal medio en  $m^3 \cdot s^{-1}$ .

$Q_1$  = Caudal medido en la primera repetición en  $m^3 \cdot s^{-1}$ .

$Q_2$  = Caudal medido en la segunda repetición en  $m^3 \cdot s^{-1}$ .

$Q_3$  = Caudal medido en la tercera repetición en  $m^3 \cdot s^{-1}$ .

Dividido por el número total de repeticiones.

### **Caudal bombeado (q)**

Este caudal se aforó a descarga libre al final de la tubería de conducción en las construcciones de almacenamiento de agua, se utilizó la probeta plástica de 1000 mililitros y el cronometro para medir el tiempo que toma en ser llenada la probeta, utilizamos la siguiente formula:

$$q = \frac{V}{t}$$

q = Caudal bombeado en  $m^3 \cdot s^{-1}$ .

V = Volumen de agua captado en la probeta en  $m^3$ .

t = Tiempo que demora en ser llenada la probeta en s.

#### 4.2.5. Cálculo de parámetros para el diseño del ariete

##### **Diámetro de la tubería de suministro**

Se utilizó la relación propuesta por los investigadores Calvert (1957), Watt (1975) y Silver (1977) entre la longitud y el diámetro de la tubería para establecer el valor más recomendado del diámetro medida la longitud de alimentación. Las medidas, tanto de la longitud como del diámetro de la tubería de suministro son factores importantes para garantizar el buen funcionamiento del ariete hidráulico, ya que conduce el agua desde la toma de agua hasta el ariete y retiene la onda de presión producida por el golpe de ariete. Según Watt (1975), en su publicación menciona la siguiente relación como la más recomendada, siendo:

$$150 < L/D < 1000$$

D = Diámetro interno de la tubería de alimentación en m.

L = Longitud de la tubería de suministro en m.

Fuera de este rango la operación del ariete hidráulico puede verse afectado notoriamente.

“La longitud de la tubería de impulsión es una de las variables que influye de gran manera en el valor de la sobrepresión y eficiencia de funcionamiento del ariete hidráulico monopulsor, la misma que se puede calcular en función del diámetro de la tubería de entrada y altura de caída H”. (Oti, 2017).

##### **Diámetro de la tubería de descarga**

Derivada de la condición por los investigadores Calvert (1957), Watt (1975) y Silver (1977) que determina el diámetro interno de la tubería de suministro, se aplicó la siguiente condición para escoger el diámetro de la tubería de conducción o descarga propuesta por los mismos.

$$D_d = \frac{D_s}{2}$$

D<sub>d</sub> = Diámetro de la tubería de polipropileno para conducción o descarga en m.

D<sub>s</sub> = Diámetro de la tubería de suministro en m.

### Longitud y diámetro de la recámara de aire

Para estimar la longitud de la recámara de aire con diámetro interno de 0.1016 m. Se calculó el volumen ocupado dentro de la tubería de suministro con diámetro interno de 0.045 m. con las siguientes formulas, ya que será el mismo volumen que deberá tener la recámara de aire.

$$A_{tsum} = \frac{\pi D^2}{4} \text{ y } V_{tsum} = L_{tsum} \cdot A_{tsum}$$

$A_{tsum}$  = Area de la tubería de suministro en  $m^2$ .

$D$  = Diámetro interno de la tubería de alimentación en m.

$V_{tsum}$  = Volumen interno de la tubería de suministro en  $m^3$ .

$L_{tsum}$  = Longitud de la tubería de suministro en m.

Una vez calculado el volumen interno de la tubería de alimentación, estimamos el valor la longitud de la recámara de aire con un diámetro interno de 0.1016 m.

Condición.

$$V_{tsum} = V_{recamara}$$

$V_{tsum}$  = Volumen interno de la tubería de suministro en  $m^3$ .

$V_{recamara}$  = Volumen interno de la recámara de aire en  $m^3$ .

$$A_{recamara} = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$V_{tsum} = L_{recamara} \cdot A_{recamara}$$

De esta fórmula despejamos  $L_{recamara}$  y obtenemos.

$$L_{recamara} = \frac{V_{tsum}}{A_{recamara}}$$

$L_{recamara}$  = Longitud de la recámara de aire en m.

$V_{tsum}$  = Volumen interno de la tubería de suministro en  $m^3$ .

$A_{recamara}$  = Área de la recámara de aire en  $m^2$ .

#### 4.2.6. Cálculo de parámetros para la evaluación del funcionamiento del ariete

##### Caudal de desecho o caudal perdido

Fue determinado mediante las pruebas de aforo realizadas a la entrada de la bomba y la descarga en el beneficio de café.

$$Qd = Q - q$$

$Qd$  = Caudal de desecho o caudal perdido en  $m^3.s^{-1}$ .

$q$  = Caudal bombeado en  $m^3.s^{-1}$ .

$Q$  = Caudal de alimentación en  $m^3.s^{-1}$ .

##### Potencia del ariete

Calculada con la formula general de la potencia.

$$p = y \cdot q \cdot h$$

$p$  = Potencia en watt.

$y$  = Peso específico del agua en  $\frac{N}{m^3}$

$q$  = Caudal bombeado en  $m^3.s^{-1}$ .

$h$  = Altura de bombeo en m.

##### Rendimiento Volumétrico

Es la relación que existe entre el caudal de bombeo y el caudal de suministro.

$$n_v = \frac{q}{Q} \cdot 100$$

$n_v$  = Rendimiento Volumétrico.

$q$  = Caudal bombeado en  $m^3.s^{-1}$ .

$Q$  = Caudal de alimentación en  $m^3.s^{-1}$ .

### **Eficiencia del ariete**

La eficiencia se define como la relación del caudal de alimentación (Q) a una altura de suministro (H) y el caudal bombeado (q) a una altura de descarga (h), Schiller (1986).

$$n = \frac{q \cdot h}{Q \cdot H} \cdot 100$$

$n$  = Eficiencia del ariete.

$q$  = Caudal bombeado en  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

$h$  = Altura de descarga en m.

$Q$  = Caudal de alimentación en  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

$H$  = Altura de suministro en m.

### **Presión dinámica**

Se determinó mediante el uso de dos manómetros con escala de 0 – 42.185 mca (0 – 60 psi) con baño de glicerina, instalados a la entrada del ariete, próxima a la válvula de golpe y un segundo manómetro en la tubería de descarga, así se pudo apreciar las presiones a las cuales están sometida la bomba de ariete

### **Velocidad media del flujo**

Fue determinada mediante la ecuación fundamental del gasto:

$$V = \frac{Q}{A}$$

$V$  = Velocidad media del flujo en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

$Q$  = Caudal de suministro en  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

$A$  = Área de la sección transversal de la tubería en  $\text{m}^2$ .

### **Pulsaciones**

Se midieron con ayuda del cronometro, contamos el número de pulsaciones por unidad de tiempo para ser expresada en pulsaciones por minuto.

### Tiempo de cierre de la válvula de trabajo

Con el respectivo análisis hecho a las lecturas de pulsaciones determinadas en campo, se procedió a calcular el tiempo de cierre y de abertura que presento la válvula de trabajo con la siguiente fórmula:

$$T_{puls} = \frac{t \text{ medios}}{\text{puls medias}}$$

Siendo

$T_{puls}$  = tiempo de cada pulsación

$t \text{ medios}$  = media del tiempo ocupado en dar una pulsación en s.

$\text{puls medias}$  = media de las pulsaciones

Sabiendo que una pulsación está compuesta por la abertura y cierre de la válvula de trabajo, el tiempo que tarda en abrir y cerrar la válvula es la mitad del tiempo que se toma la pulsación.

$$tc = ta$$

$$tc = \frac{T_{puls}}{2}$$

$tc$  = Tiempo de cierre de la válvula de trabajo en s.

$ta$  = Tiempo de apertura de la válvula de trabajo en s.

### Cálculo de la celeridad

Se utilizó la fórmula del investigador francés Allievi (1903), basada en la teoría elástica y las propiedades del fluido, por la forma geométrica del ducto y de las propiedades elásticas del ducto.

$$C = \frac{9,900}{\sqrt{48.3 + K \frac{d}{e}}}$$

$C$  = Celeridad en  $m.s^{-1}$ .

$K$  = Coeficiente función del modulo de elasticidad de la tubería de pvc

$e$  = Espesor de la tubería de pvc en mm.



$d$  = Diámetro interno de la tubería de pvc en mm.

### **Cálculo del periodo del golpe de ariete**

Se determinó el tiempo de propagación en el tubo de alimentación de polietileno con la siguiente formula.

$$T = \frac{2L}{C}$$

$T$  = Periodo del golpe de ariete en s.

$L$  = Longitud de la tubería de suministro en m.

$C$  = Celeridad en  $m \cdot s^{-1}$ .

### **Sobrepresión en el ariete hidráulico**

Se determinó la sobrepresión en el cuerpo del ariete y a lo largo de la tubería con la fórmula de Michaud.

$$\Delta H = \frac{2LV}{g t_c}$$

$\Delta H$  = Sobrepresión generada en el ariete en m.

$L$  = Longitud de la tubería de suministro en m.

$V$  = Velocidad del flujo en  $m \cdot s^{-1}$ .

$g$  = Aceleración de la gravedad en  $m/s^{-2}$

$t_c$  = Tiempo de cierre de la válvula de trabajo en s.

### **Perdidas de carga o de energía en la tubería de descarga**

Se estimó las pérdidas hidráulicas de carga por fricción en la tubería de descarga mediante la fórmula de Hazen – Williams. En este caso no hay accesorios.

$$hf_{[m]} = 10.67 \cdot \left( \frac{Q_{[m^3/s]}}{C} \right)^{1.852} \cdot \left( \frac{l_{[m]}}{D_{[m]}^{4.87}} \right)$$

$hf$  = Pérdidas de carga por fricción en la tubería de descarga en m.

$Q$  = Caudal bombeado en  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

$C$  = Coeficiente de rugosidad de la tubería.

$l$  = Longitud de la tubería de descarga en m.

$D$  = Diámetro de la tubería de descarga en m.

### **Carga dinámica total**

Se determinó mediante la suma de las pérdidas de carga por fricción en la tubería determinadas por Hazen – Williams, y en desnivel topográfico existente entre las cotas del ariete y descarga del sistema.

$$CDT = \sum hf + h$$

$CDT$  = Carga dinámica total en mca.

$\sum hf$  = pérdidas de carga por fricción en la tubería de descarga en m.

$h$  = Altura de descarga en m.

#### **4.2.7. Programas Informáticos para el procesamiento y análisis de datos**

##### **Programa EXCEL 2016**

En Microsoft Excel, un libro es el archivo en que se trabaja y almacenan los datos matemáticos e hidráulicos, fueron procesados los datos obtenidos en el levantamiento altimétrico para determinar las cotas, resultados de aforos y otras variables estudiadas.

##### **Programa AUTOCAD**

Es un software de diseño asistido por computadora utilizado para dibujo 2D y modelado 3D, en el cual fue diseñado el plano de instalación de la bomba de ariete reflejando las cotas y distancias del terreno representadas en el plano generado.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Levantamiento Topográfico

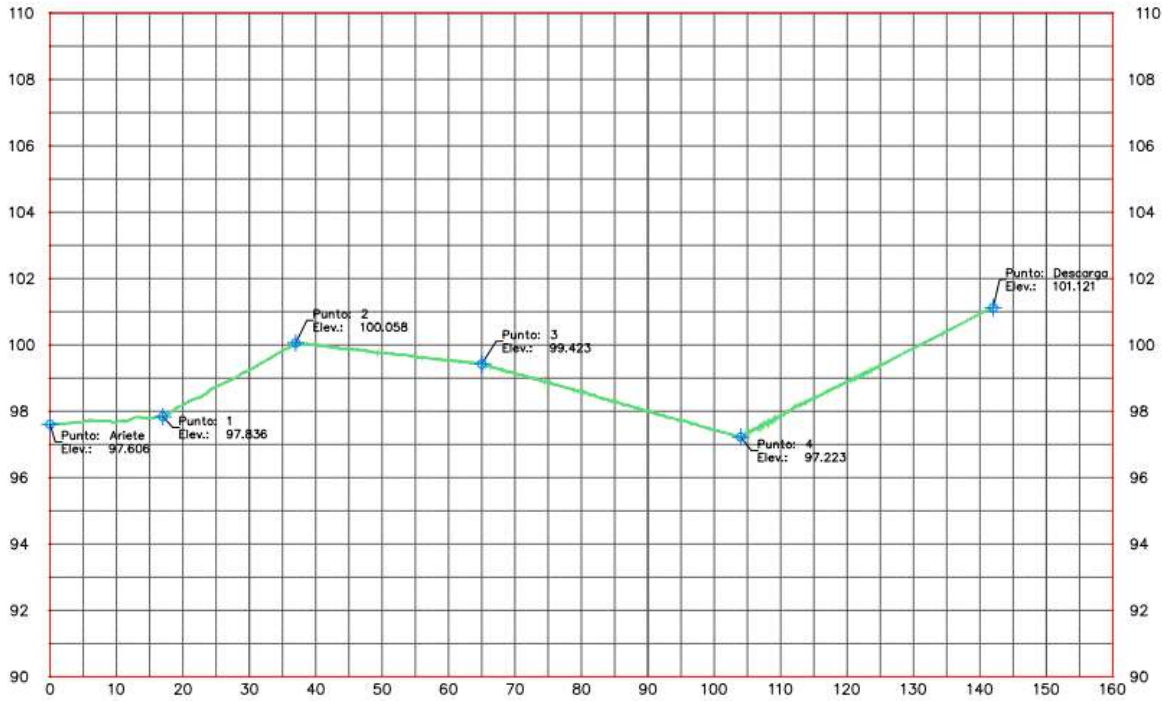


Figura 5. Perfil altimétrico de la tubería de descarga.

Se realizó un levantamiento topográfico desde la fuente de abastecimiento del ariete hasta el beneficio húmedo de café. La longitud de la tubería de suministro fue de 7.8 m la altura de suministro 1.89 m, la longitud de descarga medida fue de 142 m, la altura de descarga desde el ariete hasta la obra de almacenamiento de agua fue de 3.515 m.

#### 5.1.1. Ángulo de inclinación de la tubería de alimentación

Según las condiciones topográficas del lugar de instalación se determinó que el ángulo de inclinación es  $16^{\circ}38'25.36''$ . Romero & Lorenzo (2014), aconsejan que el ángulo de inclinación de la tubería de alimentación deba estar comprendido entre los  $10^{\circ}$  y los  $45^{\circ}$  con respecto a la horizontal.

## **5.2. Parámetros para el diseño del ariete hidráulico**

### **5.2.1. Diámetro de la tubería de suministro y descarga**

La relación existente entre la longitud de 7.8 m y diámetro de 0.0381 m (1.5 pulg) de la tubería de alimentación para el ariete es 204.7, cumple con la recomendación de instalación de los investigadores Calvert (1957), Silver (1977) y Watt (1975) que estimaron la relación entre la longitud y el diámetro de la tubería de suministro para su óptimo funcionamiento debe estar entre 150 y 1,000. También recomiendan que el diámetro de descarga para la instalación del ariete debe de ser la mitad del diámetro de alimentación, por lo tanto, el diámetro de la tubería de descarga es de 0.019 m (0.75 pulg).

### **5.2.2. Longitud de la recamara de aire**

El volumen ocupado dentro de la tubería de alimentación es de  $0.0124 \text{ m}^3$ , por lo tanto, la longitud de la recamara de aire para un diámetro de 0.1016 m (4 pulg) que se calculó es de 1.5 m. Los investigadores Rivadeneira & Silva (2013), en su diseño de un ariete mediante un software determinaron una longitud para la recamara de aire de 0.59 m, para un diámetro de 0.0508 m (2 pulg), con las siguientes dimensiones de suministro: diámetro interno de la tubería de suministro de 0.016 m (0.5 pulg) y una longitud de alimentación de 6 m.

## **5.3. Evaluación del funcionamiento del ariete hidráulico**

### **5.3.1. Caudal de alimentación, caudal de desecho y caudal de descarga**

Se aforó la fuente de agua en la época seca donde el caudal de la fuente es el mínimo durante el año, dicha fuente atraviesa la propiedad donde se instaló tubería de 0.0381 m (1.5 pulg) de diámetro, a la cual estará conectado el ariete hidráulico. El caudal aforado fue de  $0.00385 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a descarga libre, debido a que el aforo resulta ser a descarga libre se encontró un volumen grande de agua que pasa por unidad de tiempo en la tubería, así que esto afecta directamente variables tales como rendimiento y eficiencia, siendo también alterado el caudal calculado que la bomba pierde mediante su funcionamiento siendo de  $0.003778 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (siendo aproximadamente del 98.15 % del caudal que entra a la bomba), el caudal de descarga

hasta el beneficio húmedo de café fue de  $0.0000715 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Oti (2017), obtuvo un caudal de descarga de  $0.000075 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , con un caudal de alimentación de  $0.000587 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , una altura de alimentación de 1.15 m, y una longitud de alimentación de 6.5 m. con una bomba de hierro monopulsor instalada en un río con diámetro de alimentación de 0.0381 m, (1.5 pulg).

### **5.3.2. Potencia del ariete**

Con caudal de descarga de  $0.0000715 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a una altura de 4.235 m, se calculó que la potencia que genera el ariete hidráulico resultando la potencia útil de 3 watt. Callata (2021), determinó que su ariete genera 18.59 watt de potencia bombeando  $0.000094778 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a una altura de 20 m.

### **5.3.3. Rendimiento Volumétrico**

Se obtuvo un rendimiento del 1.85 %, con caudal de alimentación de  $0.00385 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  y el caudal que descarga en el beneficio húmedo de  $0.0000715 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Escobar (2016), instaló un ariete el cual obtuvo un rendimiento volumétrico de 2.13 %, alimentado por un caudal de  $0.008958 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  con altura de 5 m., bombeando  $0.000191 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a una altura de 16.4 m.

### **5.3.4. Eficiencia del ariete**

Se obtuvo una eficiencia de 4.2 % para un ariete de pvc monopulsor alimentado por una fuente de  $0.00385 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , con una altura de suministro de 1.89 m y un caudal aforado de  $0.0000715 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a 4.235 m de descarga. Callata (2021), instaló un ariete monopulsor estimando una eficiencia de 11.05 %, alimentado por un caudal de  $0.000858057 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a 2 m. de altura, bombeando  $0.000094778 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a una altura de 20 m.

### **5.3.5. Presión dinámica medidas con manómetros**

Se determinó que la presión manométrica cerca a la válvula de servicio en el cuerpo del ariete fue aproximadamente de 2.81 mca y de 1.76 a 2.11 mca en la tubería de descarga cerca a la recámara de aire, estando está sometida al rebote del golpe dentro de la recámara y la presión que genera el fluido hacia el cuerpo del ariete.

### **5.3.6. Velocidad media del flujo**

Con diámetro de la tubería de suministro de 0.0381 m (1.5 pulg) y un caudal de alimentación de  $0.00385 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , se determinó que la velocidad del fluido fue de  $3.377 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Gallego & Rengifo (2016), evaluaron un ariete monopulsor de pvc, el cual para un diámetro de alimentación de 0.0254 m y un caudal de suministro de  $0.001648 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  determinaron una velocidad de  $4.94 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

### **5.3.7. Pulsaciones y tiempo de cierre de la válvula de trabajo**

El tiempo que demora la válvula de servicio en cerrar y abrir es de 0.9472 s, es decir este es el tiempo que demora entre una pulsación y otra, así el tiempo de cierre resultó en 0.4736 s. Oti (2017), determinó que para un ariete construido de hierro con diámetro de 0.0381 m y longitud de alimentación de 6.5 m, calculó un tiempo de cierre para la válvula de servicio de 0.32 s, con una frecuencia de pulsaciones de 1.55 pulsaciones por segundo.

### **5.3.8. Celeridad y periodo del golpe de ariete**

Con espesor de 2 mm y un diámetro de 38.1 mm en la tubería de alimentación se calculó que el valor de la celeridad es de  $378.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  y el periodo del golpe de ariete con longitud de alimentación de 7.8 m resultando a 0.04 s. en esta investigación. Chero (2018), bajo condiciones controladas de laboratorio y un ariete multipulsor de hierro, con caudal de alimentación de  $0.01524 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  obtuvo un valor de celeridad de  $356.45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , con tubería de suministro de 0.1016 m (4 pulg) de diámetro en pvc, un periodo del golpe de ariete de 0.1403 s y una velocidad del fluido de  $2.24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

### **5.3.9. Sobrepresión en el ariete hidráulico**

Con una velocidad de  $3.377 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , una longitud de alimentación de 7.8 m, la altura de suministro de 1.89 m y diámetro de 0.0381 m (1.5 pulg) se determinó la sobrepresión generada en el cuerpo del ariete es de 7.3 mca. Chero (2018), encontró que para su ariete con tubería de alimentación de pvc de diámetro 0.1016 m (4 pulg), con una celeridad de 356.45

$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  bajo condiciones controladas de laboratorio y con velocidad del fluido de  $2.24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  la sobrepresión generada en el cuerpo del ariete fue de 82.12 mca.

#### **5.3.10. Pérdidas de carga en la tubería de descarga y carga dinámica total**

Las pérdidas de carga encontradas en la tubería de descarga fueron de 0.72 m para una longitud de descarga de 142 m, diámetro de 0.019 m ( 0.75 pulg), sin el uso de accesorios y con altura de descarga de 3.515 m se determinó así que la carga dinámica total que la bomba vence es de 4.235 m para descargar  $0.0000715 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  en el beneficio húmedo.

## VI. CONCLUSIONES

Según la metodología de Krol (1976) utilizada en esta investigación, se determinó para el diseño del ariete, el diámetro de las válvulas check y de la tubería de alimentación de 0.0381 m (1.5 pulg), diámetro de descarga de 0.019 m (0.75 pulg), la longitud de la recámara de aire es 1.3 m, para un diámetro de 0.1016 m (4 pulg).

La bomba de ariete instalada en la finca El Almendro obtuvo un rendimiento volumétrico del 1.85 %, una potencia útil de 3 watt y una eficiencia de 4.2 %

La finca El Almendro demanda 5.5 m<sup>3</sup> por día para el beneficiado del café, el volumen de agua que la bomba transporta es 6.1776 m<sup>3</sup> por día.



## **VII. RECOMENDACIONES**

Probar otras condiciones de instalación para analizar el comportamiento de las variables hidráulicas calculadas anteriormente, cambiando el diámetro y longitud de suministro, como también la altura de descarga.

Aforar el caudal de desperdicio, así es más preciso conocer el caudal que llega a la bomba en pleno funcionamiento.

Si el productor piensa agrandar su unidad productiva, probar la instalación de otra bomba de ariete u otra tecnología.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Acitores, F. J. (2012). Estudio Teórico y Experimental de la Bomba de Ariete. Universidad Carlos III de Madrid. <https://Core.Ac.Uk/Download/Pdf/30046069.Pdf>
- Allievi, L. (1903). *Teoría générale del moto perturbado dell'aqua nei tubi in pressione*. Ann. Soc. Ing. Arch. Italiana. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/118597/2676-7908-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bustamante. O. A. & Quezada C. M. (2009). *Estudio de los parámetros de funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico multimpulsor A&M 1.0*. Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/822?locale=es>
- Calvert, N. G. (1957). *The hydraulic ram*. [http://lejpt.academicdirect.org/A11/059\\_070.htm](http://lejpt.academicdirect.org/A11/059_070.htm)
- Callata, J. B. (2021). *Diseño de una bomba de ariete hidráulico monopulsor para el aprovechamiento de aguas del manantial, anexo Anucariri Puno*. Universidad Cesar Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/58228>
- Campaña. C. N. & Guamán. D. A. (2011). *Diseño y Construcción de una Bomba de Ariete Hidráulico*. Escuela Politécnica Nacional. <https://Bibdigital.Epn.Edu.Ec/Bitstream/15000/4020/1/Cd-3778.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. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3903>
- Escobar, S. J. (2016). *Diseño Paramétrico de Arietes Hidráulicos*. Universidad Tecnológica Equinoccial. [http://192.188.51.77/bitstream/123456789/20073/1/9042\\_1.pdf](http://192.188.51.77/bitstream/123456789/20073/1/9042_1.pdf)
- Figuera, M. (2018). Evaluaciones hidrodinámicas en sistemas de tuberías. *C&F Engineering*. <http://cyf-eng.com/pdf/boletines/CF-BT-TUB-001.pdf>
- Gerätebau G. (1998). *Manual de experimentos, aparato de Líneas de Flujo (original publicado en 1998)*. Alemania
- Gutiérrez, M. (2008). Construcción de pequeños beneficios húmedos, para el mejoramiento del proceso y calidad del café, en la zona norte de Nicaragua. [https://archivo.ecodes.org/web/documentos/cooperacion/PM\\_octubre\\_2008.pdf](https://archivo.ecodes.org/web/documentos/cooperacion/PM_octubre_2008.pdf)
- Krol, J. (1976). The automatic hydraulic ram: Its theory and design. Paper N° 76-JE-17. ASME.
- Lopez C, J. (2010). *Arietes Hidraulicos en Nicaragua*. [http://simas.org.ni/media/Arietes\\_Hidraulicos\\_%20Nicaragua.pdf](http://simas.org.ni/media/Arietes_Hidraulicos_%20Nicaragua.pdf)

- Nuñez Leonardo, A., Rosales Rivera, Á., Caro Díaz, R., Gamarra Alegre, L. M., & Hurtado Mena, E. P. (2015). *Manual N° 5 Medición de Agua*. Lima - Perú: Ministerio de Agricultura y Riego. <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual5.pdf>
- Ortega N. J. (2013). *Construcción, caracterización hidráulica y estudio de aplicación de una bomba de ariete para el riego de una finca agrícola* [Proyecto Fin de Carrera, Universidad de Zaragoza]. <https://core.ac.uk/download/pdf/289973505.pdf>
- Otí I. P. (2017) *Ariete Hidráulico Para Riego. Diseño, Construcción Y Montaje (Hydraulic Ram For Irrigation. Design, Construction And Mounting)* [Ingeniero Industrial]. Universidad De Cantabria <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/11460/395118.pdf?sequence=1>
- Pérez, M. (2018). Bomba de ariete hidraulico. *Blogspot*. <https://bombariete.blogspot.com/2018/02/que-es-el-golpe-de-ariete-o-golpe-de.html>
- Pérez, M. (2018). Bomba de ariete hidráulico. *blogspot*. <https://bombariete.blogspot.com/2018/01/bomba-de-ariete-hidraulico-sin-camara.html>
- Pérez, M. (2018). Bomba de ariete hidráulico. *blogspot*. <https://bombariete.blogspot.com/2018/04/bomba-de-ariete-hidraulico-con-camara.html>
- Pineda González A. C. (2017). *Proyecto a nivel de perfil del diseño de sistema de abastecimiento de agua potable para la comunidad los potrerillos, municipio de San Rafael del norte, departamento de Jinotega*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de ingeniería]. Repositorio Institucional UN. <http://ribuni.uni.edu.ni/1669/1/JM0006.pdf>
- Piña O. A. (2021). *Evaluación de un sistema de bombeo tipo ariete hidráulico para el abastecimiento de agua, sector Punta de Doña – Moyobamba*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario, Universidad Nacional De San Martín - Tarapoto]. <https://tesis.unsm.edu.pe/handle/11458/4118?show=full>
- Ramírez. J. (2005). *Fabríquelo usted mismo: el ariete hidráulico*. *News Soliclima*. <https://news.soliclima.com/divulgacion/eficiencia-energetica/fabriquelo-usted-mismo-el-ariete-hidraulico>
- Rengifo H. J. & Gallego. J. C. (2016). *Diseño Y Construcción De Un Sistema De Ariete Hidraulico Para El Aprovechamiento De Aguas Lluvias*. Universidad Tecnológica De Pereira. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/983c95b9-eee0-45f2-a4ca-4341a436a08f/content>

- Rivadeneira C. S. & Silva E. L. (2013). *Diseño y Construcción de una Bomba de Ariete Hidráulico con el Desarrollo de un Software para su Dimensionamiento*. [Tesis Previa a la Obtención del Título de Ingeniero Mecánico, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5989/1/UPS-KT00770.pdf>
- Romero J. M. & Lorenzo L. G. (2014). *El Ariete Hidráulico. Proyecto e Instalación en Ntongui (Angola)*. Universidad Politécnica de Madrid. <http://polired.upm.es/index.php/distecd/article/download/2512/2590>
- Sampieri, Collado. L. (2010). *Metodología de la Investigación*. Quinta Edición. ME. DF. ISBN: 978-607-15-0291-9
- Sánchez. K. G. (2020). “*Viabilidad Técnica Económica para la Instalación de un Sistema de Bombeo Con Golpe de Ariete en el Distrito de Suyo-Piura*”. Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo”. [https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8759/S%c3%a1nchez\\_Piscoya\\_Kevin\\_Gonzalo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8759/S%c3%a1nchez_Piscoya_Kevin_Gonzalo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Schiller, E. J. (1985). *Development of a Locally Made Hydraulic Ram Pump*. <https://idlibnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/55526/IDL-55526.pdf>
- Serrano Alonso J. (2012). *Proyecto de un sistema de abastecimiento de agua potable en Togo* [Tesis de Pregrado, Universidad Carlos III]. Repositorio Institucional UN. [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/5469/PFC\\_Jesus\\_Serrano\\_Alonso.pdf](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/5469/PFC_Jesus_Serrano_Alonso.pdf)
- Silver, M. (1977). *Use of Hydraulic Rams in Nepal: A Guide to Manufacturing and Installation*. <https://es.ircwash.org/sites/default/files/232.5-77US.pdf>
- Watt, S. (1975). *A manual on the hydraulic ram for pumping water*. <https://www.slideshare.net/Fatin62c/a-manual-on-the-hydraulic-ram-for-pumping-vvater-by-s-b-watt>

## IX. ANEXOS

Anexo 1. Cuadro de levantamiento altimétrico.

Estación	VA	HI	LI	VF	Elevación en m.
BM	2.456	102.456			100
Toma			2.96		99.496
Ariete			4.85		97.606
1	4	101.836		4.62	97.836
2	3.345	103.403		1.778	100.058
3	2.45	101.873		3.98	99.423
4	4.648	101.871		4.65	97.223
Descarga				0.75	101.121

Anexo 2. Cuadro de distancias y elevaciones de descarga.

Distancias en m.	Elevaciones en m.
0	97.606
17	97.836
37	100.058
65	99.423
104	97.223
142	101.121

Anexo 3. Cuadro de pruebas de aforos en la fuente de alimentación.

Pruebas de aforo en la fuente de agua		
Repeticiones	Tiempo en s.	Volumen en L
1	1.5	6.11
2	1.49	5.16
3	1.35	5.44
Medias	1.446666667	5.57

Anexo 4. Cuadro de pruebas de aforos en la descarga.

Pruebas de aforo en la descarga		
Repeticiones	Tiempo en s.	Volumen en L
1	13.86	1
2	13.66	1
3	14.15	1
4	13.76	1
5	14.56	1
Medias	13.998	1

Anexo 5. Cuadro de pulsaciones.

Pulsaciones		
Repeticiones	Numero de pulsaciones	Tiempo en s.
1	10	9.55
2	10	9.75
3	10	9.37
4	10	9.32
5	10	9.37
Medias	10	9.472

Anexo 6. Cuadro de caudal de descarga.

Caudales de descarga			
litros por segundo	litros por minuto	litros por hora	litros por día
0.0715	4.29	257.4	6,177.6

Anexo 7. Cuadro de especificaciones de la tubería de alimentación.

Especificaciones de la Tubería de Alimentación de pvc	
Diámetro comercial	1.5 pulg
Diámetro interno	45 mm
Diámetro externo	48 mm
Espesor	3 mm

Anexo 8. Cuadro de especificaciones de la tubería de descarga.

Especificaciones de la Tubería de Descarga de polipropileno	
Diámetro comercial	0.75 pulg
Diámetro interno	22.5 mm
Diámetro externo	24 mm
Espesor	3 mm

Anexo 9. Reconocimiento del terreno y levantamiento alimétrico.





Anexo 10. Aforo en la fuente de alimentación e instalación de la bomba de ariete.



Anexo 11. Puesta en funcionamiento del ariete y aforo en la descarga.





Anexo 12. Presupuesto del proyecto.

ITEM	Descripción	Precio Unitario (C\$)	Cantidad Total	Total, C\$
	Materiales para la construcción e instalación de la bomba de ariete hidráulico			
1	Válvula check 1 1/2 pulg.	500	2	1,000
2	Tee de pvc de 1 1/2 pulg.	95	2	190
3	Codos de 45° de 1 1/2 pulg.	35	3	105
4	Reductor de pvc de 1 1/2 a 3/4 pulg.	40	1	40
5	Tapón de pvc de 4 pulg.	40	1	40
6	Reducción de 4 pulg. A 1 1/2 pulg.	95	1	95
7	Conectores hembra - macho hilo de 1 1/2 pulg.	30	3	90
8	Cinta teflón.	35	1	35
9	Pega pvc pequeña	100	1	100
10	Tubo pvc sdr-41 de 1 1/2 pulg.	443	1	443
11	Tubo pvc sdr-17 de 3/4 pulg.	30	1 m	30
12	Tubo pvc de 4 pulg.	65	1 m	65
13	Reducción de 1 1/2 pulg. a 3/4 pulg.	45	1	45
14	Manguera negra 3/4 pulg	630	2	1260
Total				3,538 C\$