



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**EVOLUCIÓN Y APROBACIÓN DEL ARIETE HIDRÁULICO  
PVC - A2**

**DANILO ESTUARDO HERRERA ESCOBAR  
ASESORADO POR ING. OSCAR ENRIQUE FLORES SANDOVAL**

**GUATEMALA, JULIO DE 2004**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVOLUCIÓN Y APROBACIÓN DEL ARIETE HIDRÁULICO  
PVC - A2**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

DANILO ESTUARDO HERRERA ESCOBAR  
ASESORADO POR ING. OSCAR ENRIQUE FLORES SANDOVAL  
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL  
GUATEMALA, JULIO DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Bar. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Bar. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXÁMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Montenegro Paiz
EXAMINADOR	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
EXAMINADOR	Ing. José Eduardo Ramirez Saravia
SECRETARIA	Ing. Gilda Marina Castellanos de Illescas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **EVOLUCIÓN Y APROBACIÓN DEL ARIETE HIDRÁULICO PVC-A2**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 4 de marzo de 1997.

**DANILO ESTUARDO HERRERA ESCOBAR**

## ACTO QUE DEDICO

A:

MI ESPOSA

Elsa Leticia Cortez Beltrán

MIS HIJOS

Danilo José Herrera Cortez

Jennifer Daniela Herrera Cortez

MIS PADRES

Adalberto Augusto Herrera Palacios

Rosa Arminda Escobar de Herrera

MIS SUEGROS

José Luis Cortez Quevedo

Alicia Beltrán de Cortez

MIS HERMANOS

MIS FAMILIARES

MIS AMIGOS

LA FACULTAD DE INGENIERÍA

## AGRADECIMIENTO

A Dios, "por ser mi guía y protector en todo momento".

Al ingeniero Oscar Enrique Flores Sandoval, expreso mi más sincero agradecimiento, por su asesoría y dedicación para la realización de este trabajo de graduación.

A todas las personas que con su valiosa colaboración hicieron posible la realización de este trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	VIII
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES TÉCNICOS	
1.1 Ariete tipo HG - A1	1
1.2 Ariete tipo HG - A2	2
1.3 Ariete tipo PVC - A1	3
2. DISEÑO, CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN DEL ARIETE TIPO PVC - A2	
2.1 Descripción básica de qué es el ariete tipo PVC - A2	5
2.2 Descripción de componentes estructurales	6
2.3 Descripción de componentes hidráulicos	7
2.3.1 Tubería de carga	7
2.3.2 Válvula de compuerta de entrada	11
2.3.3 Válvula de desperdicio	11
2.3.3.1 Empaque de hule	14
2.3.3.2 Discos de PVC	14
2.3.3.3 Discos de hule	16

2.3.3.4 Marco de hierro	18
2.3.3.5 Pesos	18
2.3.3.6 Tee conductora de agua de desperdicio	20
2.3.4 Válvula de liberación	22
2.3.4.1 Disco PVC perforado	26
2.3.4.2 Empaque circular de hule	26
2.3.4.3 Rectángulo de aluminio	28
2.3.5 Válvula de aire	28
2.3.6 Cámara de aire	31
2.3.6.1 Cámara No. 1	31
2.3.6.2 Cámara No. 2	32
2.3.6.3 Cámara transparente	32
2.3.7 Válvula de compuerta de salida	34
2.3.8 Tubería de salida	37
2.4 Descripción de componentes sanitarios	37
2.4.1 Diagrama de flujo del ariete	40
3. INSTALACIÓN Y PRUEBAS AL MODELO EN FUENTE DE AGUA	
3.1 Prueba de aforos en la línea de carga y descarga	41
3.1.1 Aforos en la línea de carga	42
3.1.2 Aforos en la línea de descarga	42
3.2 Prueba de carga fija ( h ) y altura de descarga variable	43
3.3 Prueba de altura de descarga fija y altura de carga variable	44
3.4 Variación de alturas de la cámara de aire	46
3.4.1 Pruebas variando cámaras de aire	47
3.5 Prueba de funcionamiento y duración (mínimo 30 días)	48



4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS BASADOS EN LAS PRUEBAS EFECTUADAS	
4.1 Eficiencia de Rankine	49
4.2 Eficiencia de D´aubuisson	50
4.3 Eficiencia máxima	51
4.4 Comparación de resultados con los arietes ya construidos	51
5. COSTOS DEL ARIETE PVC - A2	
5.1 Costo de fabricación	53
5.1.1 Costo de materiales	53
5.1.2 Costo de mano de obra	56
5.1.3 Costo total de ariete tipo PVC - A2	56
5.2 Costo de instalación	57
5.3 Costo de operación	57
5.4 Costo de mantenimiento	57
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	63
APÉNDICE, FOTOGRAFÍAS TOMADAS AL ARIETE	65

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1	Componentes estructurales del ariete tipo PVC - A2 (ver tabla I, pág. No. 6 )	8
2	Tubería de carga	10
3	Válvula de compuerta de entrada HG diámetro de 1 1/2"	12
4	Válvula de desperdicio	15
5	Discos de PVC	17
6	Disco de hule	17
7	Marco de hierro	19
8	Armado de pesos	21
9	Tee conductora de agua de desperdicio	21
10	Armado por secciones de la válvula de desperdicio	23
11	Válvula de desperdicio ensamblada	24
12	Disco de PVC perforado	27
13	Empaque circular de hule	27
14	Rectángulo de aluminio	27
15	Válvula de liberación por secciones	29
16	Válvula de liberación armada	30
17	Cámara de presión 1 y 2	33

18	Cámara transparente	35
19	Válvula de compuerta de salida HG diámetro de 1"	36
20	Tubería de salida	38
21	Vista general del ariete PVC – A2	65
22	Vista de la estructura del ariete	66
23	Vista de la válvula de entrada (diámetro de 1 1/2) y válvula de salida (diámetro 1")	66
24	Vista de la válvula de desperdicio	67
25	Vista de la válvula de liberación sin armar	68
26	Vista de la válvula de liberación completamente ensamblada	69
27	Vista de la cámara de aire sin armar	70
28	Vista de la cámara No. 1. y cámara transparente	71
29	Vista del depósito de alimentación y balde de rebalse	72
30	Vista general del ariete PVC – A2 en funcionamiento	73
31	Vista del depósito de alimentación, tubería de conducción, ariete PVC – A2 y descarga	74
32	Diagrama de flujo del funcionamiento del ariete	40
33	Diagrama de flujo del circuito cerrado del flujo utilizado en la prueba del ariete	48

## TABLAS

I	Componentes estructurales del ariete tipo PVC – A2	6
II	Componentes de la válvula de desperdicio	13
III	Componentes de la válvula de liberación	25
IV	Aforo en la línea de carga	42
V	Aforo en la línea de descarga	43
VI	Prueba con carga fija (h) y descarga variable	44
VII	Prueba de descarga fija y altura de carga variable	45
VIII	Pruebas variando cámaras y altura de descarga	47
IX	Resultados obtenidos de la eficiencia de Rankine	49
X	Resultados obtenidos de la eficiencia de D´aubuisson	50
XI	Comparación de eficiencias con arietes ya construidos	52
XII	Costo de materiales del ariete PVC – A2	53

## LISTA DE SÍMBOLOS

a	Ancho
C.I.C	Centro de Investigaciones de Ingeniería
E	Espesor
Ea	Eficiencia de D'aubuisson
Er	Eficiencia de Rankine
H	Altura
Hc	Altura de carga
Hd	Altura de descarga
HG	Hierro galvanizado
HP	Caballos de fuerza
L	Longitud
Lc	Longitud de tubería de impulsión
Lts/min	Litros por minuto
m.m	Milímetro
Puls/min	Pulsaciones por minuto
psi	Libras por pulgada cuadrada
PVC	Cloruro de polivinilo
Q	Caudal
Q1	Caudal de abastecimiento
Q2	Caudal de descarga
Q3	Caudal de desperdicio
O	Diámetro
"	Pulgadas

## **GLOSARIO**

<b>Abastecimiento</b>	Suministrar o dar algo que se necesite.
<b>Aforo</b>	Medir la cantidad de agua de una corriente en una unidad de tiempo.
<b>Ariete Hidráulico</b>	Dispositivo sencillo que permite aprovechar la presión dinámica del agua, que escurre bajo una pequeña carga, para elevar una porción de esta misma agua a una altura mayor.
<b>Caudal</b>	Cantidad de agua que lleva un curso fluvial.
<b>Estructura</b>	Conjunto de piezas que sirven de soporte a algo.
<b>Evolución</b>	Desarrollo gradual de algo, en este caso específico sobre los arietes.

<b>Experimentación</b>	Método de investigación que consiste en analizar los hechos concretos que tienen lugar durante el desarrollo de un proyecto y determinar la validez de su teoría.
<b>Flujo</b>	Correr un fluido por algún lugar o brotar algún sitio.
<b>Golpe</b>	Choque violento que se produce sobre las paredes de un conducto forzado, cuando el movimiento del líquido es modificado bruscamente.
<b>Impulsión</b>	Hacer que algo se mueva empujándolo.
<b>Manantial</b>	Corriente de agua que brota de la tierra o la roca de forma natural.
<b>Polivinilo</b>	Es un polímero de múltiples aplicaciones, obtenido a partir del cloruro y del acetato de vinilo.

<b>Presión</b>	Fuerza que ejerce un gas, líquido o sólido sobre cada unidad de superficie de un cuerpo.
<b>Pulsación</b>	Cada impulso en el movimiento rítmico y periódico de un fluido.
<b>Válvula</b>	En algunas máquinas o instrumentos, dispositivo mecánico que mediante su apertura o cierre, permite o impide el paso de un fluido por un conducto.



## **RESUMEN**

El siguiente trabajo de graduación, titulado "EVOLUCIÓN Y APROBACIÓN DE UN ARIETE HIDRÁULICO TIPO PVC-A2", trata de la evolución experimentada en funcionamiento, accesorios y materiales de los arietes hidráulicos construidos en la Facultad de Ingeniería. En este trabajo en especial, se utiliza el PVC como el material principal para su fabricación.

Para la elaboración de este proyecto, se utilizó el método experimental, debido a que se construyó un prototipo mejorado de ariete hidráulico, el cual fue sometido a varias pruebas, según las recomendaciones dadas en los anteriores trabajos de graduación, de las cuales tenemos: aumentar caudales, variación de alturas de carga de abastecimiento, mejoras de accesorios, canalizar y reducir el caudal de desperdicio.

El ariete hidráulico es un mecanismo elevador de agua, que no usa para su funcionamiento la electricidad o combustible, utilizando únicamente la energía misma del agua, para elevar el líquido a sitios que están a un nivel más alto que la fuente de agua, por lo que puede utilizar para abastecer del vital líquido a una población rural de escasos recursos o regadío agrícola

En este trabajo descubrimos nuevas tecnologías más acordes para resolver las necesidades hidráulicas de países en desarrollo como el nuestro.

El ariete hidráulico construido en este trabajo de graduación, también puede utilizarse como un instrumento didáctico, para que los estudiantes de la Facultad de Ingeniería comprendan en una forma teórica y práctica el funcionamiento del ariete y los usos que le puedan dar.

## **OBJETIVOS**

### **GENERALES**

1. Utilizar el ariete hidráulico como alternativa para abastecer de agua a una pequeña población o regadío de bajos recursos económicos, debido que éste es un mecanismo que no utiliza combustible, ni electricidad.
2. Proporcionar, con el modelo de ariete PVC - A2, un instrumento de enseñanza para las áreas de Mecánica de Fluidos e Hidráulica de la Facultad de Ingeniería.
3. Utilizar materiales de PVC y accesorios disponibles en el mercado, con la finalidad de poder fabricar el ariete PVC - A2 en serie y a bajo costo.

### **ESPECÍFICOS**

1. Mejorar los arietes hidráulicos ya construidos en la Facultad de Ingeniería, para aumentar la elevación de los caudales, variando las alturas de abastecimiento de la fuente.

2. Conducir y almacenar el caudal de desperdicio que necesariamente produce el ariete, y así, utilizar este caudal para abastecimiento de otro ariete conectado en serie, o para riego.
3. Contribuir concretamente con una solución hidráulico - mecánica a la problemática de abasto de agua rural, con tecnología apropiada y de bajo costo.
4. Comprobar experimentalmente la eficiencia y aplicabilidad de materiales comunes y accesibles, para la construcción de arietes.

## INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo de graduación titulado "EVOLUCION Y APROBACIÓN DE UN ARIETE HIDRAULICO TIPO PVC-A2", nace de la inquietud del Centro de Investigaciones de Ingeniería, por continuar con los estudios de seguimiento de los trabajos de graduación sobre arietes hidráulicos, elaborados anteriormente en la Facultad de Ingeniería.

El propósito principal de este trabajo de graduación es construir, mejorar y probar un ariete hidráulico utilizando materiales de PVC, tomando como antecedentes técnicos, los arietes hidráulicos construidos anteriormente en la Facultad de Ingeniería.

En un inicio se describe en forma resumida los antecedentes técnicos de arietes construidos en la Facultad de Ingeniería. Luego se presenta la manera de fabricar el ariete, al que luego de haberlo fabricado se le somete a diferentes pruebas, para después de analizar los resultados llegar a las conclusiones.

En este trabajo, conoceremos nueva tecnología aplicada a un ariete hidráulico más acorde a las necesidades de nuestro país, utilizando para una fabricación de bajo costo materiales existentes en el mercado, como el PVC.

Entre las limitaciones encontradas para la realización de este trabajo se encuentra lo financiero en lo que respecta a conseguir los materiales que se usaron en la fabricación del ariete y el lugar donde se realizaron las pruebas, también se dificultó encontrar caudales mayores adecuados para someter el ariete a un máximo esfuerzo.

En la realización del trabajo, contamos con la participación en el asesoramiento del ingeniero Oscar Flores Sandoval de quien nació la idea de este trabajo de graduación y de la cooperación del Centro de Investigaciones de Ingeniería (C.I.I.), sin la cual no sería posible la realización de este trabajo.

# 1. ANTECEDENTES TÉCNICOS

## 1.1 Ariete tipo HG - A1

En este trabajo de graduación, llamaremos ARIETE TIPO HG - A1 al trabajo de graduación elaborado por el ingeniero César Terencio Lacayo Vázquez en el año 1973, dicho trabajo tiene el siguiente título: "ARIETE HIDRÁULICO CONSTRUIDO CON TUBERÍAS Y ACCESORIOS DE HIERRO GALVANIZADO". El ingeniero Lacayo construyó dos modelos con las siguientes características técnicas:

### **Ariete pequeño**

- Tubería de impulsión con tubos de hierro galvanizado (HG) de 1/2 pulgadas de diámetro.
- Cuerpo del ariete fabricado con niples y accesorios de hierro galvanizado (HG) de 3 pulgadas de diámetro.
- Tubería de descarga con tubos de hierro galvanizado (HG) de 1 pulgada de diámetro.

## **Ariete grande**

- Tubería de impulsión con tubos de hierro galvanizado (HG) de 2 pulgadas de diámetro.
- Cuerpo de ariete fabricado con niple y accesorios de hierro galvanizado (HG) de 4 pulgadas de diámetro.
- Tubería de descarga con tubos de hierro galvanizado (HG) de 1 1/2 pulgadas de diámetro.

### **1.2 Ariete tipo HG - A2**

Llamaremos así, al trabajo de graduación elaborado por el ingeniero Víctor Rosales Gómez en el año 1993, cuyo título es: "ANÁLISIS Y CONSTRUCCIÓN DE UN ARIETE HIDRÁULICO DE TUBERÍA Y ACCESORIOS DE HIERRO GALVANIZADO".

El ingeniero Rosales construyó un modelo con las siguientes características técnicas:

- Tubería de impulsión con tubos de hierro galvanizado (HG) de 1 pulgada de diámetro.
- Cuerpo del ariete fabricado con niples y accesorios de hierro galvanizado (HG) de 2 pulgadas de diámetro.



- Tubería de descarga con tubos de hierro galvanizado (HG) de 3/4 de pulgada de diámetro.

### **1.3 Ariete tipo PVC - A1**

Este trabajo es el antecesor a este trabajo de graduación, fue elaborado por el ingeniero Leonel Alberto Paiz Montenegro en el año de 1996, con el título: "ANÁLISIS, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN ARIETE HIDRÁULICO UTILIZANDO TUBERÍA Y ACCESORIOS DE CLORURO DE POLIVINILO (PVC)".

El ingeniero Leonel Paiz, construyó un modelo con las siguientes características técnicas :

- Tubería de impulsión con tubos de PVC de 1 pulgada de diámetro.
- Cuerpo del ariete fabricado con tubería y accesorios de PVC de 2 pulgadas de diámetro.
- Tubería de descarga con tubos de PVC de 3/4 de pulgada de diámetro.



## **2. DISEÑO, CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN DEL ARIETE TIPO PVC - A2**

### **2.1 Descripción básica de qué es el ariete tipo PVC - A2**

El ariete PVC - A2 es una bomba hidráulica, que se utiliza para elevar agua de un punto bajo, hacia otro más alto aprovechando una caída de agua como fuente de energía.

El ariete PVC - A2 es un aparato que se instala a un nivel inferior del manantial o arroyo, en la elevación más baja posible. El agua llega al ariete por medio de una tubería ( PVC) que llamaremos de carga. El agua pasa por el ariete, saliendo por una válvula externa que llamaremos válvula de desperdicio, hasta el momento en que el agua alcanza determinada velocidad alta. En ese instante la válvula de desperdicio se cierra repentinamente, ocasionando una sobre presión que posibilita la elevación del agua, que sale y es conducida por la tubería de descarga ( PVC) , hacia un depósito de almacenamiento situado en un nivel superior del manantial ó arroyo.

## 2.2 Descripción de componentes estructurales

El ariete PVC - A2 se construyó con tubos para agua potable de PVC TIPO I GRADO I PVC 1120 ASTM D 2241 - 93, y accesorios para agua potable CÉDULA 40 ASTM 2466 de un diámetro de tres pulgadas (3") para su estructura principal. Se eligió el PVC porque es un material liviano que ofrece alta resistencia a la tensión y al impacto. Esto nos permite el uso de presiones elevadas para el funcionamiento adecuado del ariete PVC-A2. Además, su baja resistencia al flujo (baja pérdida de carga), nos permite conducir mayores volúmenes de caudal. También, los componentes estructurales del modelo PVC - A2 resistirán una presión de trabajo de 250 psi (17.6 Kg/cm<sup>2</sup>).

**Tabla No. I. Componentes estructurales del ariete tipo PVC - A2**

No. IDENT.	DESCRIPCIÓN	UNID.
1	Reducidor liso de PVC de 1 1/2" x 2"	1
2	Reducidor liso de PVC de 2" x 3"	1
3	Reducidor liso de PVC de 3" x 1"	1
4	Niple (PVC 250 PSI) de L=30 cms. con campana, diámetro de 3"	1
5	Tee lisa PVC, diámetro de 3"	2
6	Codo liso PVC, diámetro de 3"	1
7	Niples (PVC 250 PSI) de L=15 cms, diámetro de 3"	5
8	Adaptador PVC hembra con rosca, diámetro de 3"	1
9	Adaptador PVC macho con rosca, diámetro de 3"	3
10	Abrazaderas metálicas de acero inoxidable, diámetro de 3"	2
11	Base de madera de L = 38", a = 12", h = 2"	1

El orden y ensamble de cada componente, se hace como lo muestra la figura No. 1, utilizando cemento solvente para PVC de agua potable que cumple la norma ASTM 2564, para unir los elementos lisos.

Las abrazaderas metálicas sujetarán todos los componentes ya unidos, fijándose a la base de madera con dos tornillos de 1/4" pulgada de diámetro por 6 centímetros de largo con tuercas.

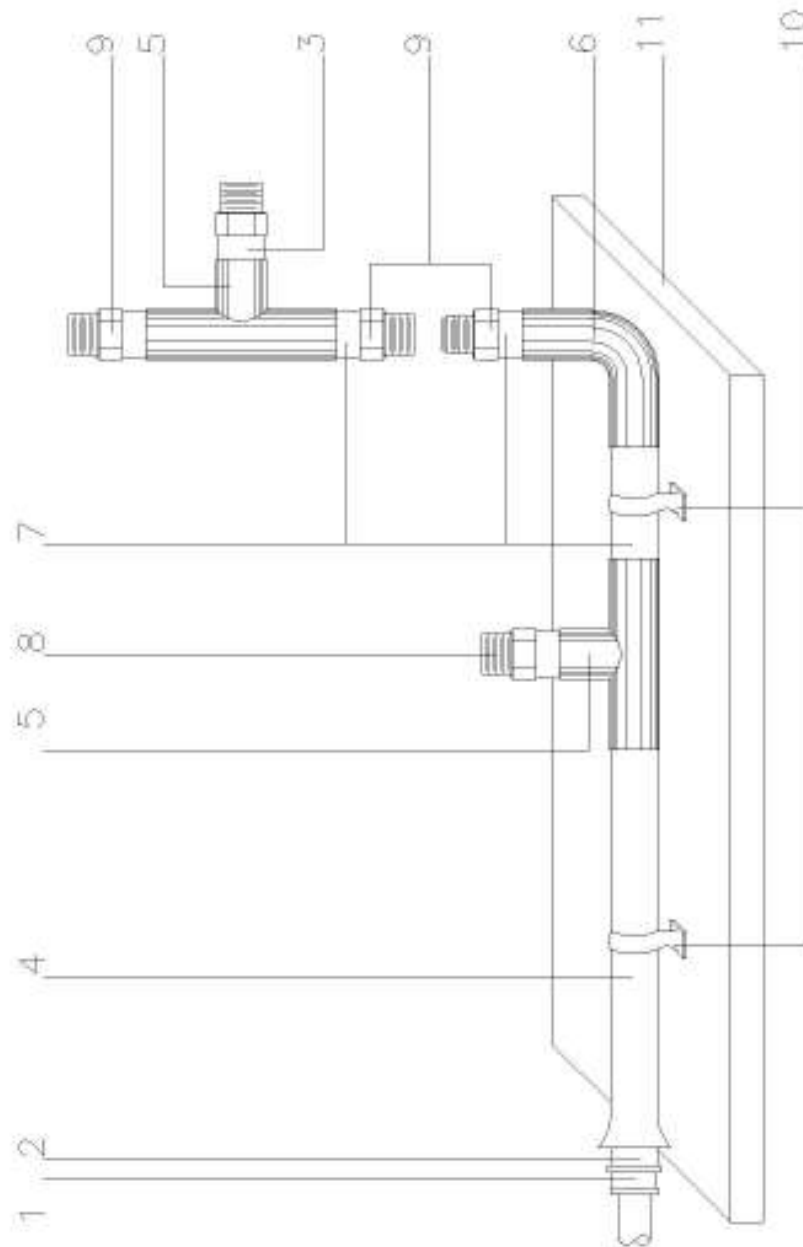
### **2.3 Descripción de componentes hidráulicos**

Los componentes hidráulicos son, los que funcionan por el movimiento o la presión que el agua ejerce sobre cada uno de los elementos, siendo los principales :

#### **2.3.1 Tubería de carga**

Esta tubería es la que lleva el agua impulsora desde el manantial, río o depósito de alimentación hasta el ariete. Para el presente trabajo de graduación, se usa tubería para agua potable de PVC que cumple con la norma ASTM D-2241(160 psi) de 1 1/2" pulgadas de diámetro. Además, siguiendo las recomendaciones dadas por la compañía John Blake, Ltd (fabricante inglés de arietes) y publicadas en el folleto "Diseño y cálculos para abastecimientos de agua por medio de arietes hidráulicos", del Ing. Andres Karp, tenemos que:

**Figura No. 1. Componentes estructurales del ariete tipo PVC – A2**



**Nota: Ver Cuadro No. 1, página No. 6**

La longitud de la tubería de carga tiene que ser mayor de cinco veces la altura de caída ( $h_c$ ) de funcionamiento, y menor de diez veces la altura de caída ( $h_c$ ) de funcionamiento.

La altura mínima de cada ( $h_c$ ) tiene que ser mayor de un metro y menor de trece metros, medida desde la superficie del agua en el depósito de alimentación o fuente, hasta la superficie de la válvula de evacuación de desperdicio.

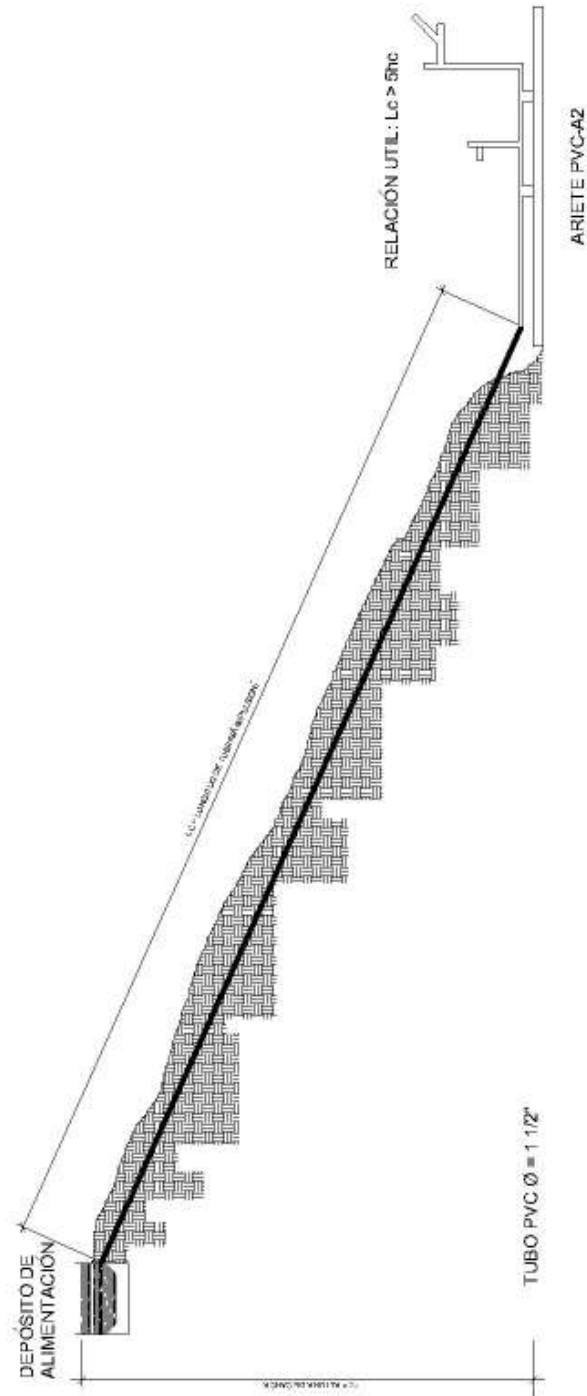
También, la caída ( $h_c$ ) de funcionamiento no debe exceder de un tercio de la altura vertical ( $h_d$ ) a la cual el agua debe de ser elevada encima del ariete.

La boca de la tubería de carga, debe quedar por lo menos sumergida treinta centímetros de la superficie de la fuente o depósito de alimentación y diez centímetros sobre el fondo.

Es importante que la tubería de carga sea colocada en una pendiente plana a través de toda su longitud en forma rectilínea. Donde esto no sea posible, es permitido enterrar la tubería para seguir el contorno del terreno con depresiones, pero bajo ninguna circunstancia deberá ser colocada con subidas, ya que posiblemente no trabajará.

La instalación de la tubería de carga se hará como lo muestra la figura No. 2, uniendo cada tubo con pegamento especial para PVC rígido que cumple con la norma ASTM 2564.

Figura No. 2. Tubería de carga





### **2.3.2 Válvula de compuerta de entrada**

Su función principal es graduar el flujo de agua que viene de la fuente o depósito a través de la tubería de carga. De este modo abriendo la llave, iniciamos el funcionamiento del ariete y cerrándola paramos el trabajo del ariete cuando sea necesario.

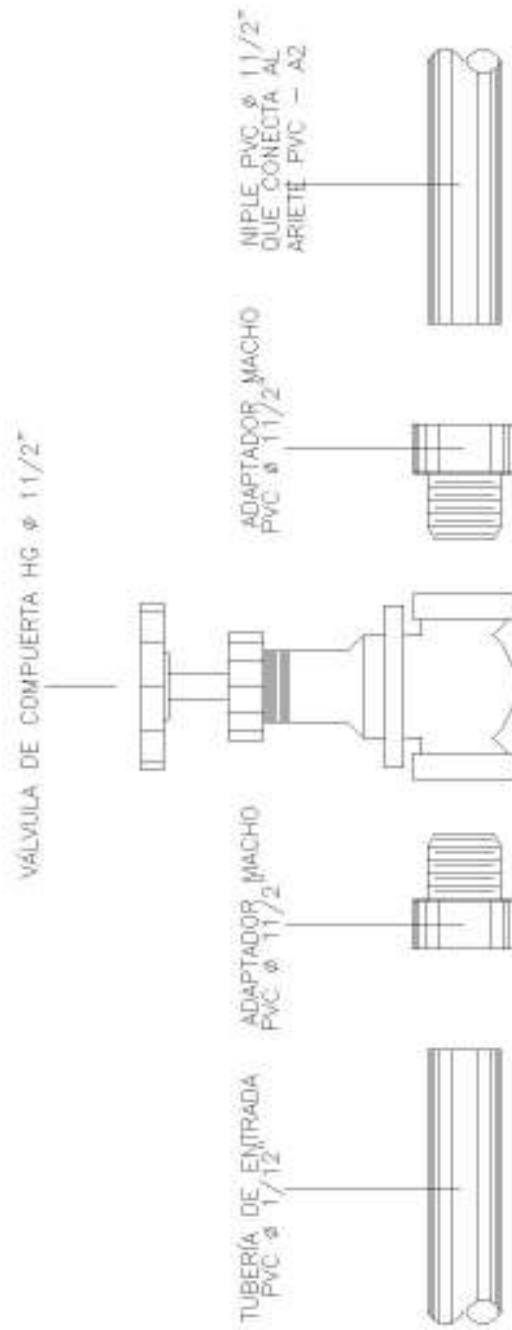
En este trabajo de graduación, se usa una válvula de compuerta de bronce de un diámetro de 1 1/2" pulgadas, la que lleva dos adaptadores macho de PVC con rosca de 1 1/2" de diámetro SCH-40 D-2466 de ambos lados, donde se adaptan la tubería de carga y la estructura principal del ariete por medio de un niple de PVC 1120 (160 psi) ASTM D-2241 de 1 1/2" pulgadas de diámetro y treinta centímetros de largo.

Para instalar la válvula, se usa teflón en las partes roscadas y pegamento especial para PVC (norma ASTM 2564) en las partes lisas, como lo ilustra la figura No. 3.

### **2.3.3 Válvula de desperdicio**

Esta válvula es la que produce el golpe de ariete al cerrarse súbitamente, impulsada hacia arriba por el agua que se está descargando hacia la atmósfera. Se abre nuevamente hacia abajo accionada por la presión atmosférica y la gravedad que se ejerce en los pesos, colocados en un tornillo que sujeta a los pesos y al empaque de cierre.

Figura No. 3. Válvula de compuerta de entrada HG diámetro de 1 1/2"



Para la fabricación de la válvula de desperdicio, se usan distintos materiales como tubería para agua potable para niples PVC 1120 TIPO 1 GRADO 1 ASTM D-2241 (160 psi) y accesorios para agua potable CÉDULA 40 ASTM - 2466, además, hule, hierro, tornillos, roldanas y tuercas.

Los componentes de la válvula de desperdicio son los siguientes :

**Tabla No. II. Componentes de la válvula de desperdicio**

No. IDENT	DESCRIPCIÓN	UNID.
12	Adaptador macho de PVC con rosca, diámetro de 3" pulgadas	1
13	Reducidor liso de PVC de 2" x 3" pulgadas.	1
14	Niples de PVC de L = 6 centímetros y de 2" de diámetro.	2
15	Tee lisa PVC, diámetro de 2".	1
16	Tapón liso PVC, diámetro de 2"	1
17	Tornillo de rosca corrida de L = 90 cms, diámetro de 5/16"	1
18	Tuercas para tornillos de 5/16" de diámetro	4
19	Roldanas para tornillo de 5/16" de diámetro	4
20	Empaque circular de hule de 7 cms. de diámetro y e = 0.5 cms.	1
21	Disco de PVC (250 PSI) de 14 cms. de diám. ext. y 9 cms. diám. int.	1
22	Disco de PVC (250 PSI) de 14 cms. de diám. ext. y 7 cms. diám. int.	1
23	Discos de hule de 14.5 diám. ext. y 9 cms. diám. interior. e = 0.5 cms.	2
24	Tornillos con tuerca de 1/4" de diám. y de L = 4 cms.	6
25	Marco de hierro hembra de e = 1/8" , por a = 1".	1
26	Pesos fabricados de cinchos de tubo PVC de 3", fundidos con concreto.	los necesarios

La función y el procedimiento para fabricar los accesorios de la válvula de desperdicio que no se encuentran en el mercado, se detallan a continuación.

#### **2.3.3.1 Empaque de hule**

Éste empaque, es el que cierra la válvula de desperdicio, cuando el agua que viene de la tubería de carga, lo impulsa hacia arriba.

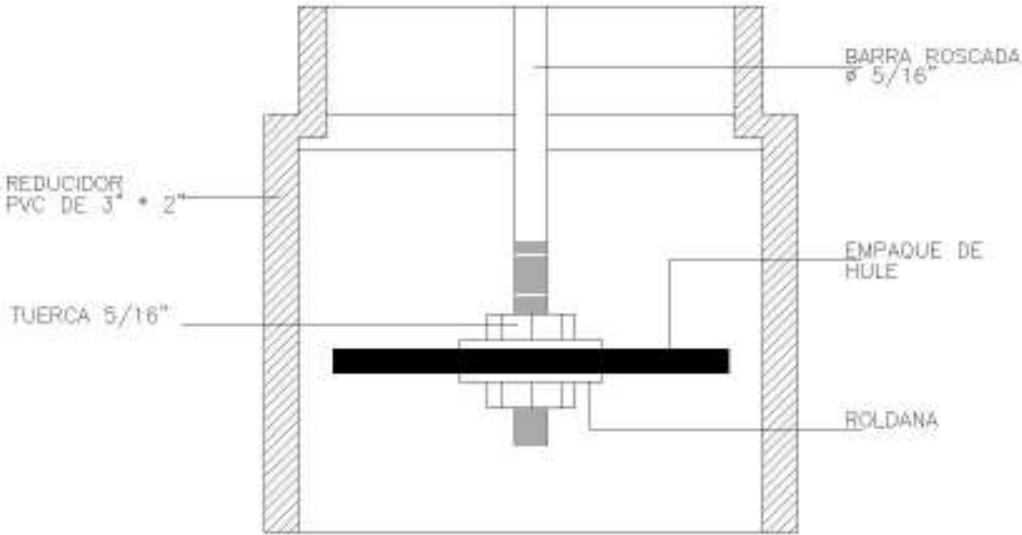
Éste se fabrica con hule de espesor de 0.5 cms, trazando un círculo de 7 cm de diámetro, perforando un agujero en el centro por el cual pasa el tornillo de rosca corrida de 5/16" de diámetro, que sujeta el empaque utilizando dos tuercas y dos roldanas de 5/16" confinando su juego de arriba y abajo para cerrar y abrir, dentro del reductor bushing de 2" x 3" en la parte de 3", para que al subir el empaque tope y cierre al reducirse el diámetro en la parte de 2".

Para ver cómo se ensambla el empaque de hule, ver figura No. 4.

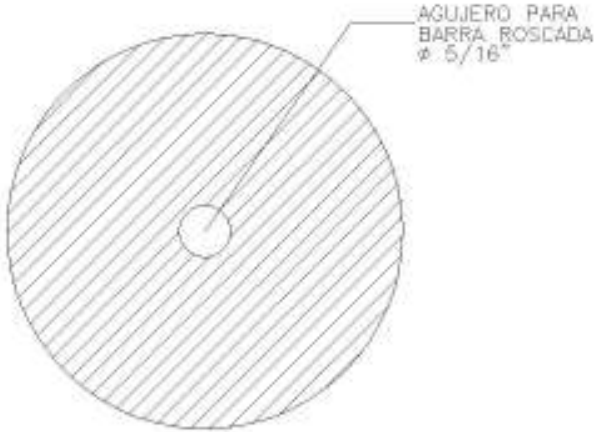
#### **2.3.3.2 Discos de PVC**

Éstos son los que forman la base que sujeta el marco de hierro con 6 tornillos y tuercas de 1/4" de diámetro. Se fabrican utilizando tubería PVC 1120 TIPO 1 GRADO 1 ASTM D 2241 DE 3" pulgadas de diámetro (250 psi).

Figura No. 4. Válvula de desperdicio



DIBUJO No. 4  
VALVULA DE DESPERDICIO



EMPAQUE DE HULE  
DIÁMETRO = 7 cms.  
ESPESOR (e) = 0.5 cms.

Primero se cortan dos niples de 20 cms de largo. Luego a cada niple se le hace un corte con sierra en forma paralela a la dirección del flujo. Después se abre cada niple y los colocamos en una plancha metálica que se calienta en una estufa, donde el material de PVC se vuelve plástico. Luego colocamos este material en medio de dos planchas frías, tratando de formar planos rígidos. En estos planos se trazan los discos de PVC con las medidas siguientes: uno de 14 cms. de diámetro exterior y 9 cms. de diámetro interior, y el segundo de 14 cms. de diámetro exterior y 7 cms. de diámetro interior, cortándolos con sierra y perforando los seis agujeros con broca por donde pasan los tornillos de 1/4", como se indica en la figura No. 5.

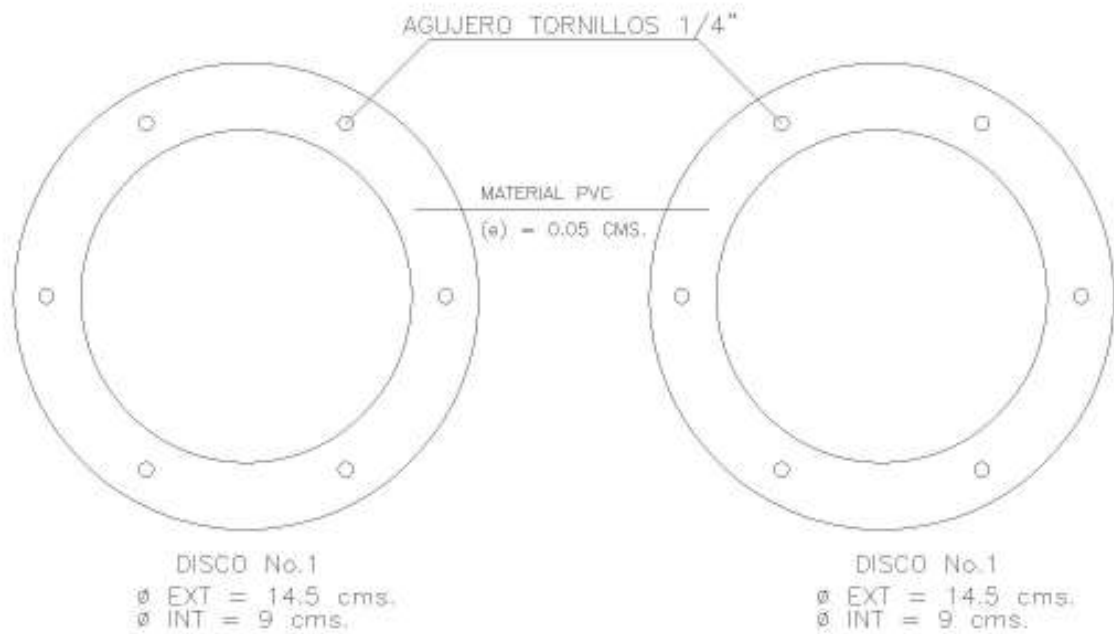
#### **2.3.3.3 Discos de hule**

Su función principal es formar un colchón amortiguador en medio de los discos de PVC, debido al golpe de ariete que se produce en el ariete.

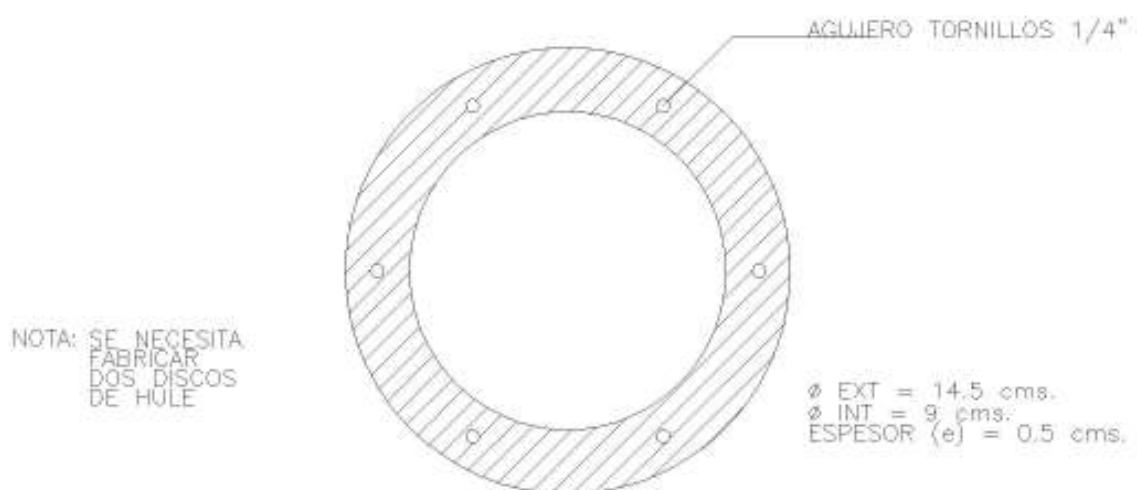
A estos discos se les perfora seis agujeros con broca, por donde pasan los tornillos de 1/4", que sujetan el marco de hierro, los discos de PVC y en medio de éstos a los discos de hule.

Se fabrican utilizando una plancha de hule de 0.5 cms de espesor, trazando los discos con las medidas descritas en el cuadro No. 2. Luego se cortan y se perforan los agujeros por donde pasan los tornillos de 1/4", como se indica en la figura No. 6.

**Figura No. 5. Discos de PVC**



**Figura No. 6. Disco de hule**



#### **2.3.3.4 Marco de hierro**

Su función principal es formar el eje por donde pasa el tornillo de rosca de 5/16", que sostiene los pesos y sujeta el empaque de hule.

Se fabrica con hierro hembra de 1/8" de espesor y 1" de ancho. Las patas tienen una longitud de 25 cms. de largo y un travesaño de 14 cms de largo al que se perfora un agujero en el centro, por donde pasa el tornillo de 5/16".

Estas piezas se unen con soldadura. A las patas se le soldan en la parte inferior unas planchas de hierro de 3.5 cms de ancho y 8 cms. de largo, con un espesor (e) de 1/8" de pulgada, al que se le perforan dos agujeros a cada una de las planchas, por donde pasan los tornillos de 1/4" que lo fijan a la base que forman los discos de PVC.

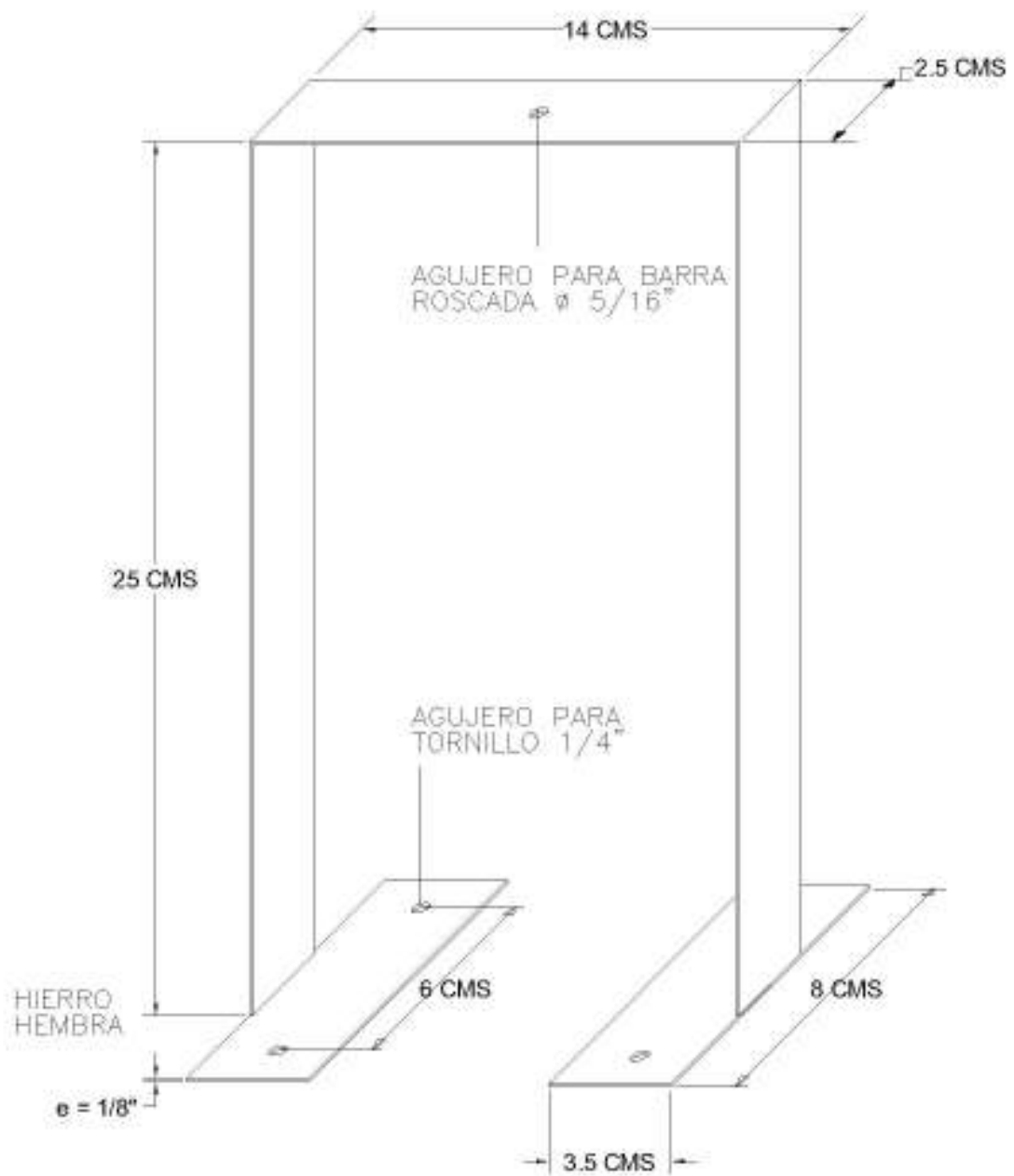
El armado del marco de hierro se hace como se indica en la figura No. 7.

#### **2.3.3.5 Pesos**

Su función principal es ejercer fuerza hacia abajo aprovechando la gravedad, para abrir la válvula de liberación después que el agua es expulsada por la tubería de descarga.



Figura No. 7. Marco de hierro



Se fabrican haciendo niples o cinchos de tubo PVC de 3 pulgadas de diámetro y una altura (h) de 5 cms, que se funden con concreto reforzado con electro malla, colocándole el centro un niple de tubería de abasto plástico, para formar el agujero por donde pasa el tornillo de rosca corrida de 5/16" de diámetro, que sostendrá los pesos que sean necesarios utilizando para ello, dos tuercas y dos roldanas para tornillo 5/16" en ambos extremos.

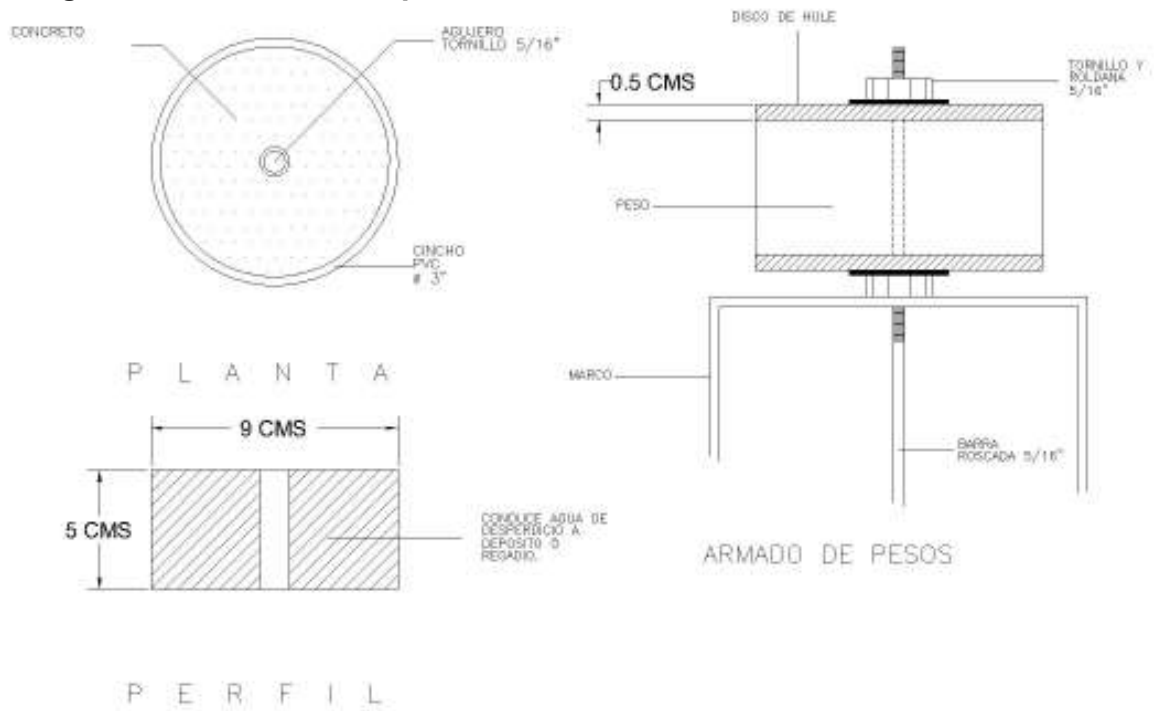
La colocación de los pesos se hace como se muestra en la figura No. 8.

#### **2.3.3.6 Tee conductora de agua de desperdicio**

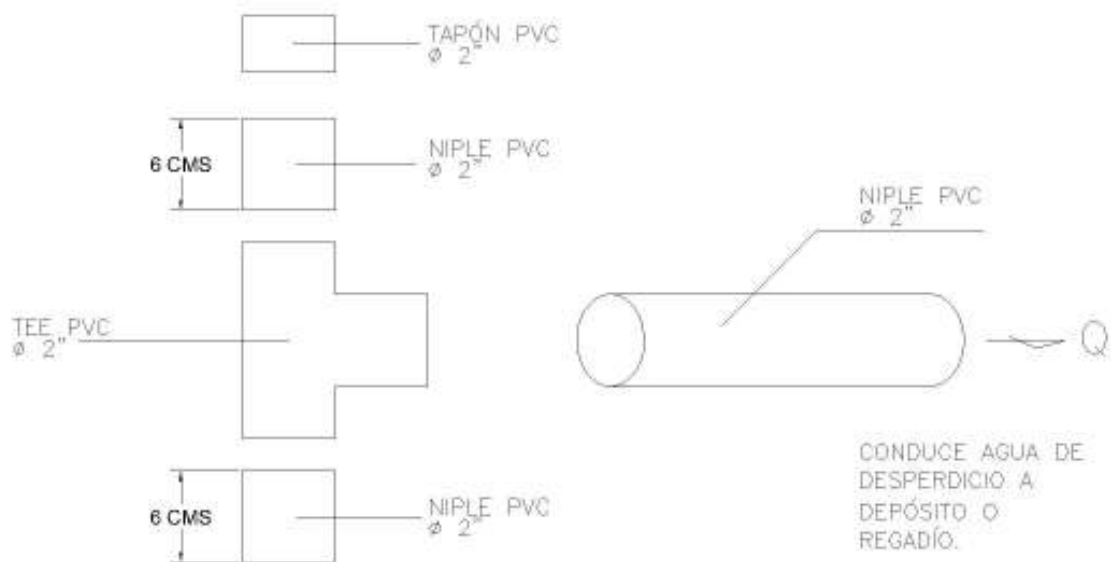
Su función principal, es conducir en forma controlada el agua de desperdicio que necesariamente se produce en el ariete para su funcionamiento.

Está formada por dos niples de 2" de diámetro de seis centímetros de largo, que se adaptan a la tee lisa de 2" pulgadas en ambos extremos, colocándose en un extremo el tapón liso de 2" pulgadas de diámetro, al que se le perfora un agujero en el centro para que pase el eje formado por el tornillo de rosca de 5/16" pulgadas. Al otro extremo se adapta al resto de la válvula. En la tee de 2" queda una salida libre a la que se le adapta tubería PVC de 2" pulgadas de diámetro, que conduce el agua de desperdicio hacia un depósito o regadío.

**Figura No. 8. Armado de pesos**



**Figura No. 9. Tee conductora de agua de desperdicio**



El ensamble de la tee de desperdicio, se hace como se muestra en la figura No. 9.

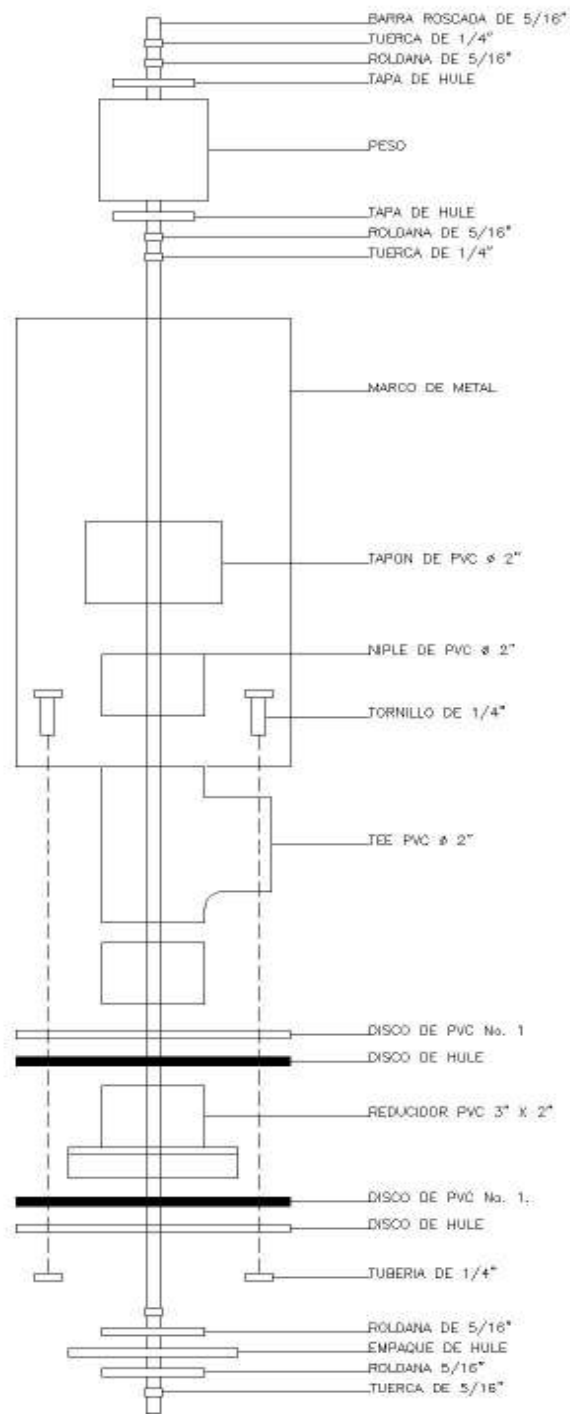
El armado por secciones de toda la válvula de desperdicio se muestra en la figura No. 10. La válvula de desperdicio completamente armada, se muestra en la figura No. 11.

Las partes lisas de PVC se unen usando pegamento especial rígido para PVC (Norma ASTM 2564) y cinta de teflón para las partes roscadas.

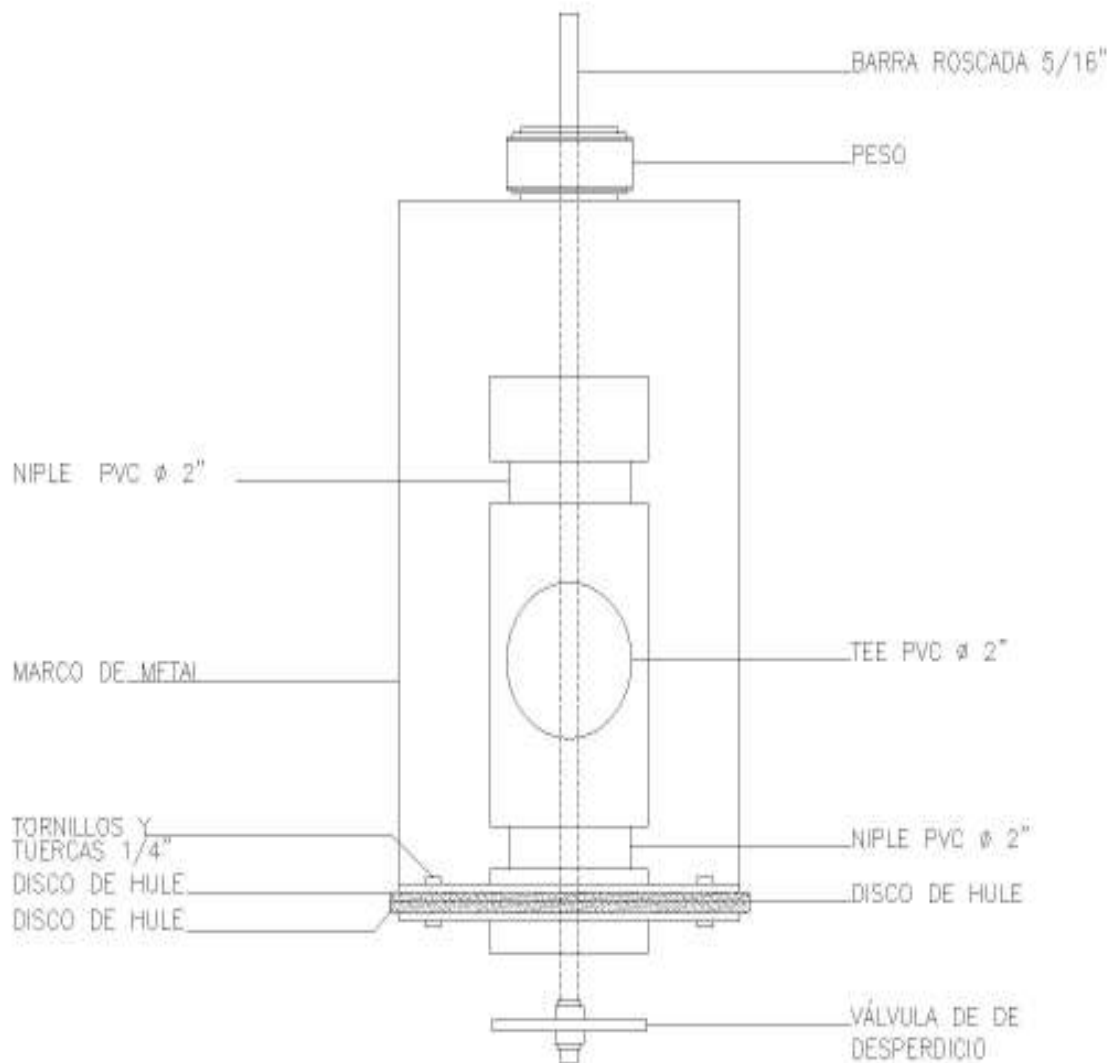
#### **2.3.4 Válvula de liberación**

Su función principal, es dejar pasar una cantidad de agua hacia la tubería de descarga y parte que es almacenada en la cámara de presión. Esto se logra cuando la válvula de liberación se abre hacia arriba, debido a la sobre presión ocasionada por el golpe de ariete, que produce la válvula de desperdicio al cerrarse súbitamente, venciendo el peso propio y el de la columna de agua que la mantiene normalmente cerrada. Además, esta válvula es la unión de los principales componentes estructurales, en donde se ensamblan por un lado la tubería de carga y la válvula de desperdicio, y por el otro lado la cámara de presión y la tubería de descarga.

**Figura No. 10. Armado por secciones de la válvula de desperdicio**



**Figura No. 11. Válvula de desperdicio ensamblada**



Para la fabricación de la válvula de liberación se usa tubería para agua potable PVC GRADO I TIPO I PVC 1120 ASTM D 2241, y accesorios para agua potable CÉDULA 40 ASTM 2466. Los componentes son los siguientes .

**Tabla No. III. Componentes de la válvula de liberación**

No. IDENT	DESCRIPCIÓN	UNID.
27	Adaptadores hembra PVC con rosca, diámetro de 3" pulgadas	2
28	Niples de PVC de L= 10 centímetros y de 3" pulgadas de diámetro	2
29	Copla de PVC de 3" pulgadas de diámetro	1
30	Disco de PVC perforado con broca de 5/16" y 8.5 cms. de diámetro	1
31	Tornillo con tuerca de 5/16"	1
32	Roldana para tornillo 5/16"	1
33	Roldana de presión para tornillo 5/16"	1
34	Empaque circular de hule de 8.8 cms. de diámetro y espesor = 1.5 m.m.	1
35	Rectángulo de aluminio de L = 7.5 cms. A = 1.4 cms. y espesor = 1 m.m.	1

El procedimiento para fabricar piezas especiales para la válvula de liberación, que no se venden en el mercado es el siguiente :

#### **2.3.4.1 Disco PVC perforado**

Este disco se coloca en la válvula de liberación en forma perpendicular al flujo, y sirve como base para sujetar el empaque circular de hule que abre y cierra la válvula.

Éste se fabrica utilizando el mismo procedimiento y material de PVC que se usó para fabricar los discos de PVC de la válvula de desperdicio (2.3.3.2).

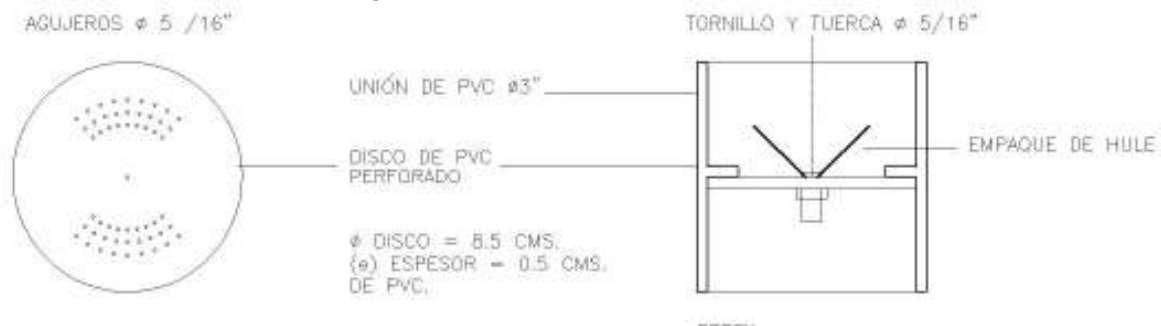
En la plancha de PVC trazamos un círculo de 8.5 cms. de diámetro, al que le perforamos un agujero en el centro por donde pasa el tornillo de 5/16", perforando después varios agujeros del mismo tamaño alrededor del centro, que dejan pasar el flujo de agua, como lo muestra el dibujo No. 12.

#### **2.3.4.2 Empaque circular de hule**

Éste se fabrica utilizando un pedazo de hule de tubo de llanta, el que se le traza y corta utilizando las medidas del cuadro No. 3. Además, se le perfora un agujero en el centro por donde pasa el tornillo de 5/16". Este empaque se muestra en el dibujo No. 13.



**Figura No. 12. Disco de PVC perforado**



**Figura No. 13. Empaque circular de hule**



**Figura No. 14. Rectángulo de aluminio**



#### **2.3.4.3 Rectángulo de aluminio**

Éste se fabrica utilizando un pedazo de aluminio estándar, que cumpla con las medidas dadas en la tabla No. 3, al que se perfora un agujero en el centro donde pasa el tornillo 5/16" que sostiene todas las piezas. Este rectángulo se muestra en la figura No. 14.

El armado de la válvula de liberación por secciones, se muestra en La figura No. 15 y el armado final se muestra en la figura No. 16.

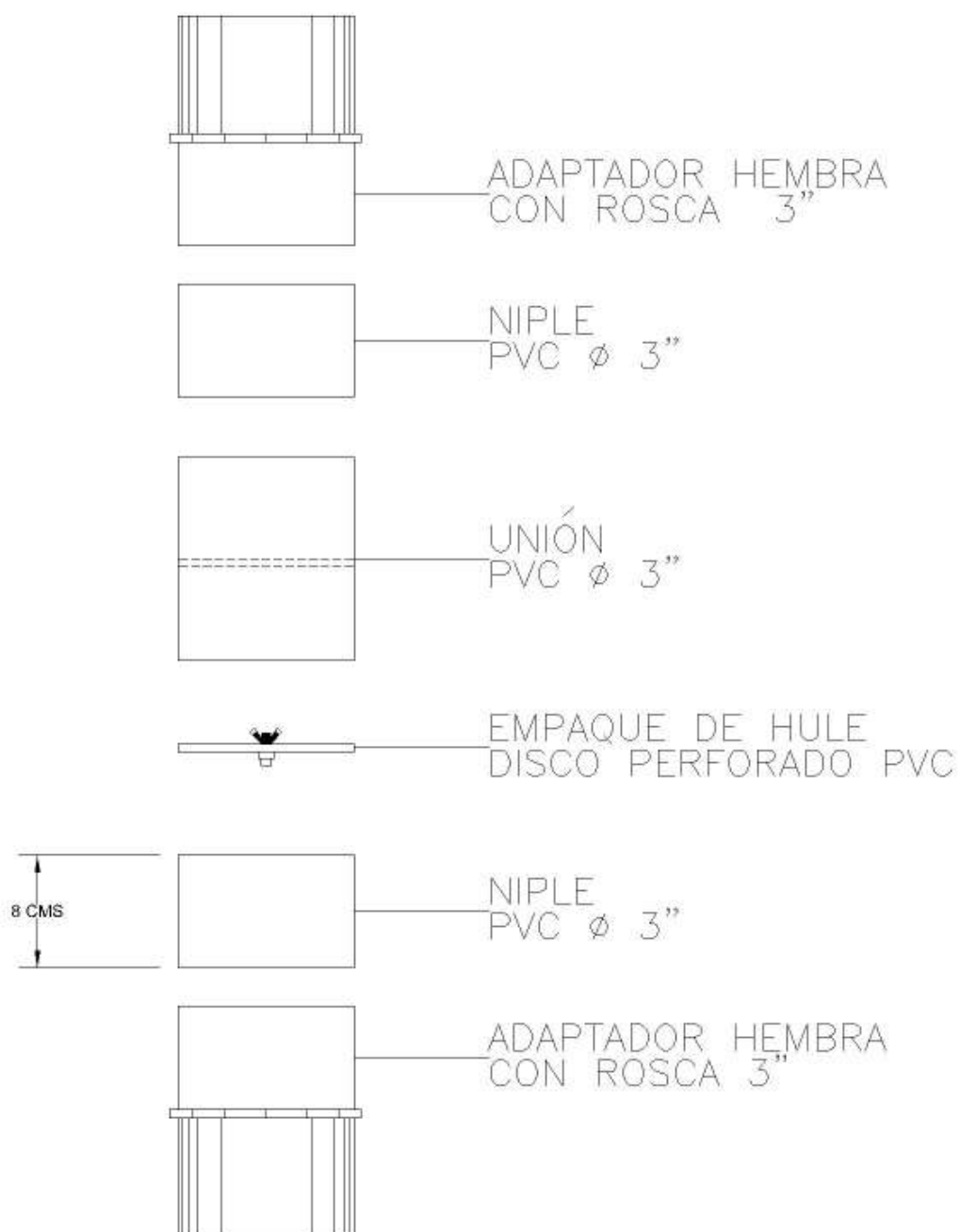
Las partes lisas de la válvula de liberación se pegan con pegamento especial rígido para PVC (Norma ASTM 2564), y en las partes roscadas se usa cinta de teflón.

#### **2.3.5 Válvula de aire**

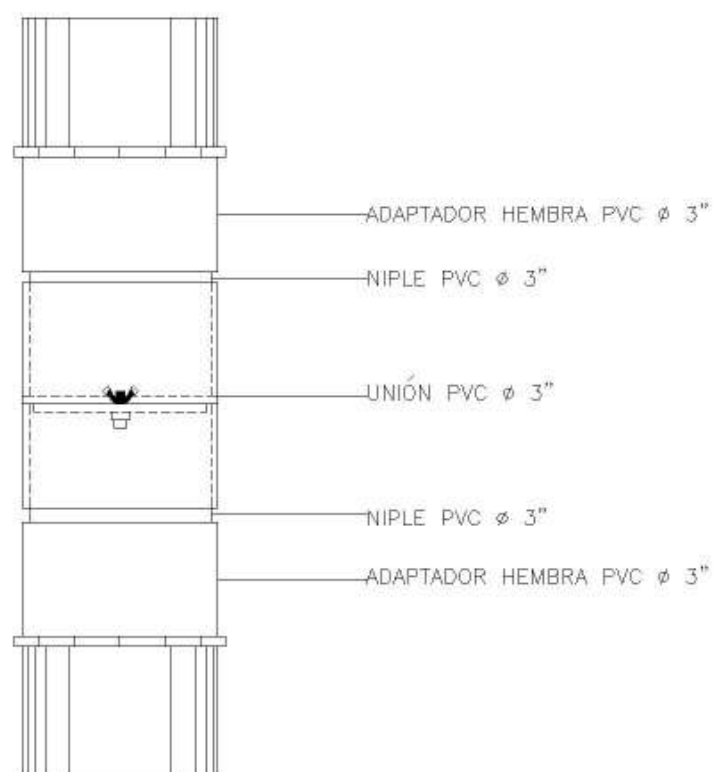
Esta válvula forma parte de la válvula de liberación, y su función principal es liberar cuando sea necesario agua y aire acumulados en el ariete debido al flujo turbulento que produce su funcionamiento.

Para instalar esta válvula, perforamos un agujero de 1 m.m. de diámetro en el medio del niple que une la copla PVC de 3" pulgadas y el adaptador hembra PVC con rosca de 3" pulgadas, que están debajo del empaque de la válvula de liberación.

Figura No. 15. Válvula de liberación por seccion



**Figura No. 16. Válvula de liberación armada**



Para hacer el empaque de esta válvula, pasamos un pedazo de hule de tubo de llanta por un alambre galvanizado de 3 cms. de largo, el que introducimos por el agujero del niple, doblando la punta del alambre en escuadra.

### **2.3.6 Cámara de aire**

La cámara de aire, es el compartimiento en el cual el agua que entra debido al golpe de ariete, comprime una masa de aire que se encuentra allí, atenuando el efecto del golpe de ariete y almacenando a presión, una cantidad de agua que permite regular el caudal, cuando no está pasando agua que viene de la tubería de carga, válvula de desperdicio y válvula de liberación.

En este trabajo de graduación se construyeron tres cámaras de aire, las llamaremos cámara No. 1, cámara No 2 y cámara transparente.

#### **2.3.6.1 Cámara No. 1**

Se construye cortando un tubo PVC de 3" pulgadas de diámetro, dejándolo de 35 centímetros de largo. En un extremo, se pega con pegamento rígido para PVC, un adaptador hembra con rosca de 3" pulgadas y el otro extremo, se pega un adaptador macho con rosca de 3" pulgadas. A este adaptador, se le rosca un tapón hembra de 3" pulgadas. Al tapón, se le adapta un manómetro que marque 100 PSI. Este tapón al ser roscado utilizando telón, puede ser utilizado en la cámara No. 2 y en la cámara transparente.

### **2.3.6.2 Cámara No. 2**

Se construye siguiendo los mismos pasos y accesorios utilizados en la cámara No. 1, siendo la única diferencia que el tubo de PVC de 3" pulgadas, es de unos 50 centímetros de largo.

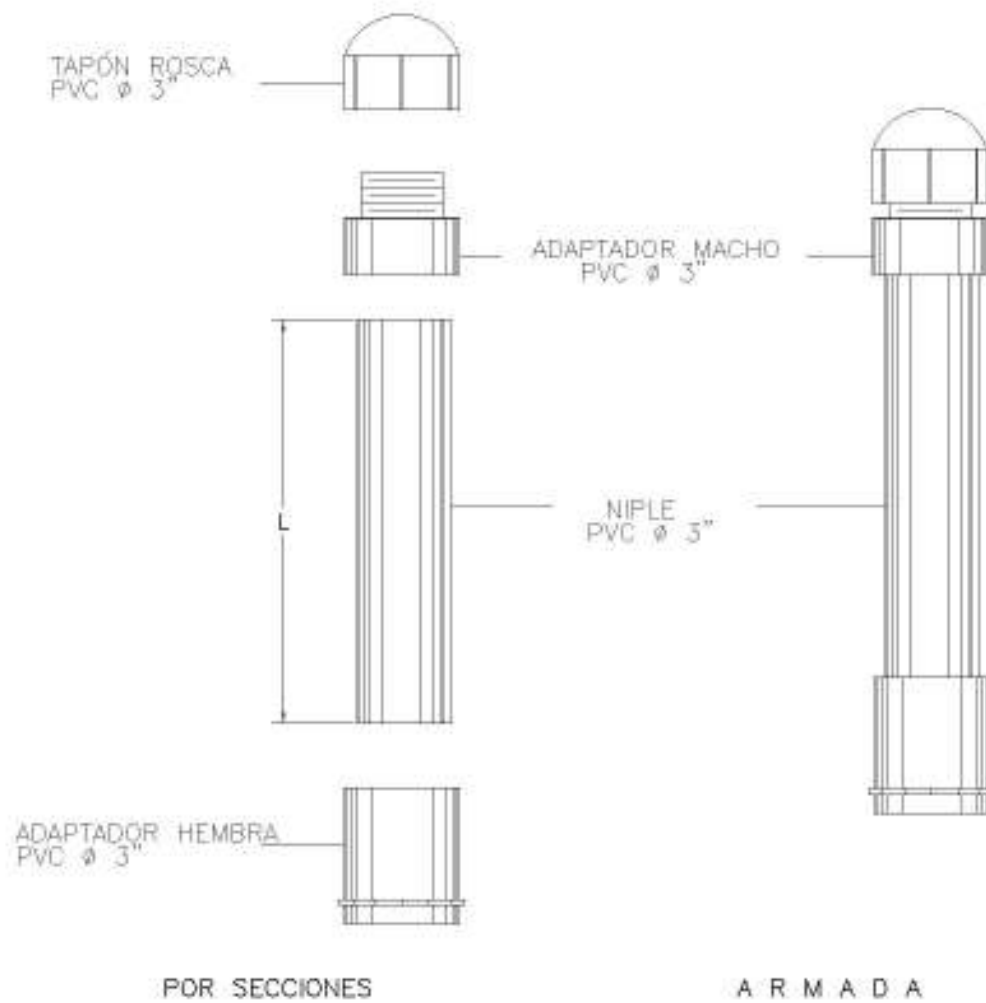
El armado por secciones y completo de la cámara No. 1 y cámara No. 2, se muestra en la figura No. 17.

### **2.3.6.3 Cámara transparente**

Esta cámara se utiliza para ver el comportamiento del agua dentro de ésta, cuando el ariete está funcionando.

Se construye utilizando un tubo transparente de plástico de 3 1/2" pulgadas de diámetro interno, con una longitud de 40 centímetros de largo y un espesor ( e ) de 1/4" de pulgada. En ambos extremos se le insertan niples de tubo PVC de 3" pulgadas de diámetro de una longitud de 12 centímetros de largo, pegándolos con pegamento especial para PVC, a los que se les coloca los adaptadores macho y hembra roscados de 3" pulgadas. El tapón hembra con el manómetro que se rosca en el adaptador macho, es el mismo que utilizamos en las otras dos cámaras.

**Figura No. 17. Cámara de presión 1 y 2**



CÁMARA No. 1 L = 35CMS

CÁMARA No. 2 L = 50CMS

El armado por secciones y completo de la cámara transparente, se muestra en la figura No. 18.

Las partes lisas de las cámaras se pegan con pegamento especial rígido para PVC (Norma ASTM 2564), y en las partes roscadas se usa cinta de teflón.

### **2.3.7 Válvula de compuerta de salida**

Su función principal es la de permitir o no la salida de agua al punto de descarga o depósito. También hay que cerrarla y después abrirla, para iniciar el funcionamiento automático del ariete.

En este trabajo de graduación, se usa una válvula de compuerta de bronce de un diámetro de 1" pulgada, la que lleva dos adaptadores macho de PVC con rosca de 1" pulgada de diámetro a ambos lados, donde se adaptan la tubería de salida y la estructura principal del ariete por medio de un niple de PVC de 1" pulgadas de diámetro y siete centímetros de largo.

Para instalar la válvula, se usa teflón en las partes roscadas y pegamento especial para PVC (Norma ASTM 2564) en las partes lisas, como se ilustra en la figura No. 19.



**Figura No. 18. Cámara transparente**

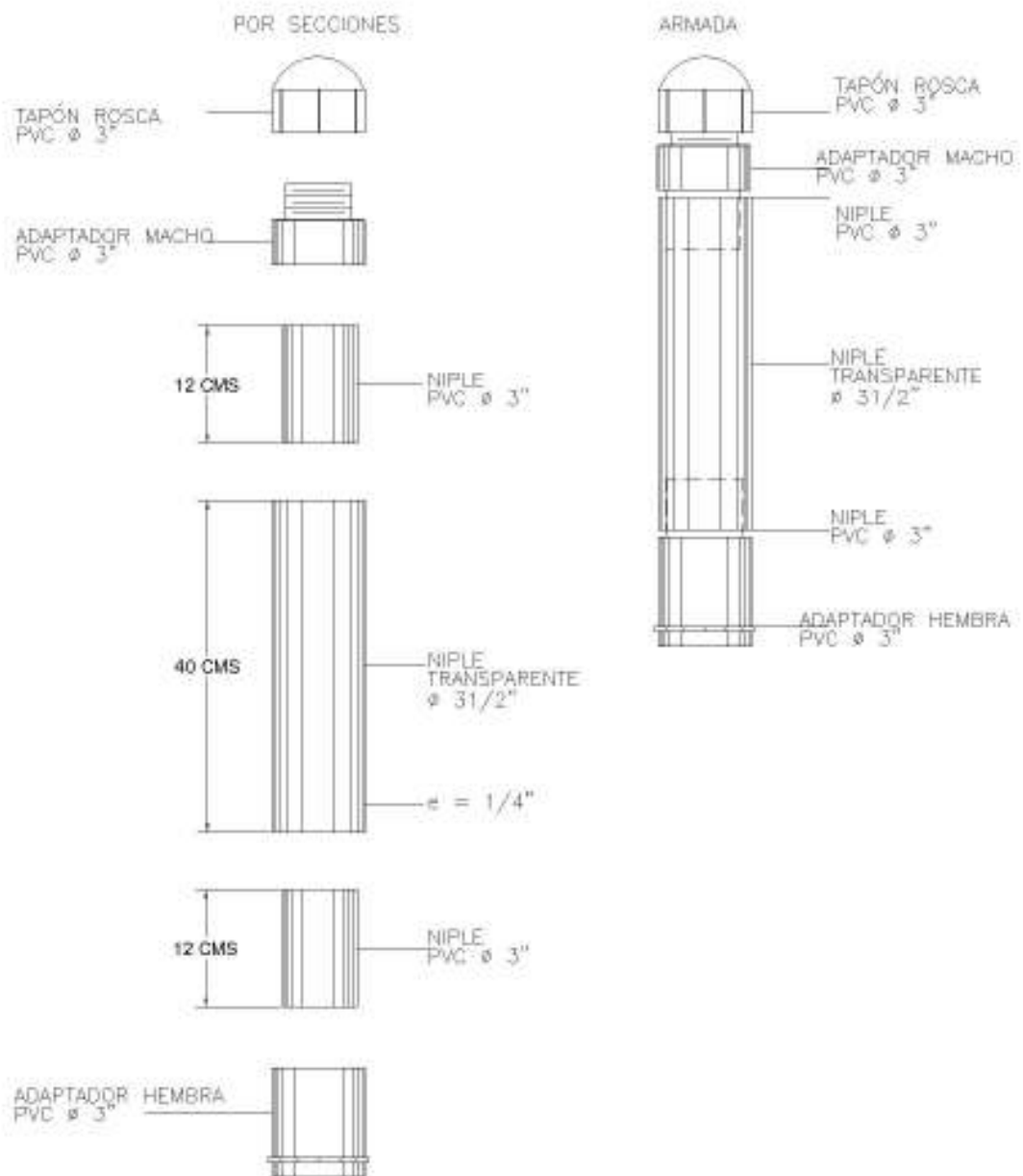
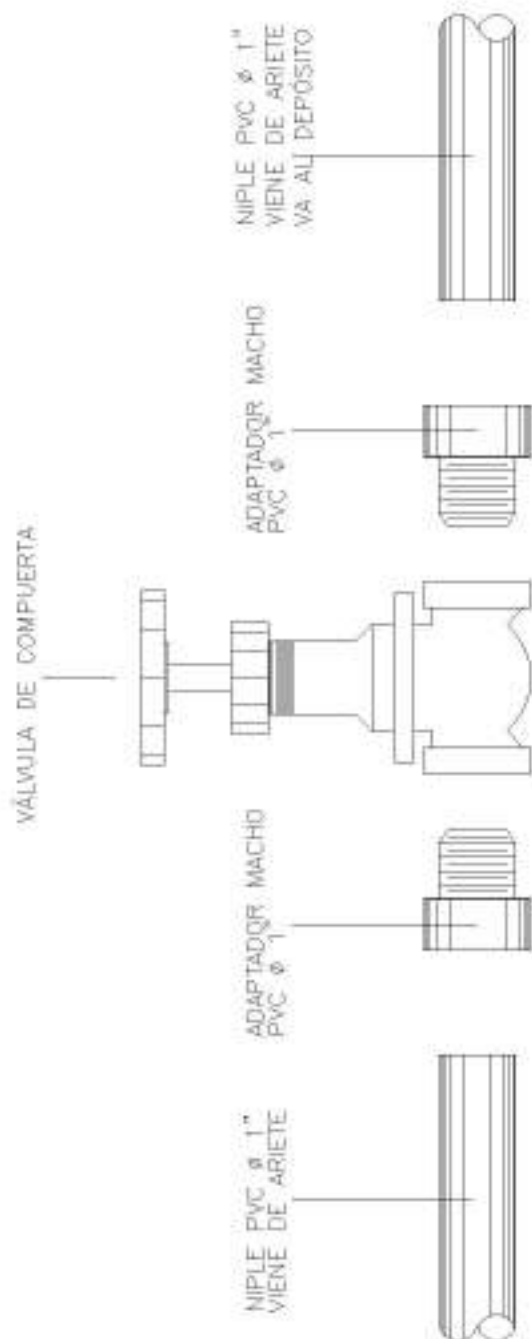


Figura No. 19. Válvula de compuerta de salida HG diámetro de 1"



### **2.3.8 Tubería de salida**

Su función principal es llevar el agua que sale del ariete hacia el depósito o tanque de distribución que se encuentra en un nivel superior de la fuente.

En este trabajo de graduación, se usa tubería PVC de 1" pulgada de diámetro. Para unir los tubos, se usa pegamento especial rígido para PVC (NORMA ASTM 2564), como se ilustra en la figura No. 20.

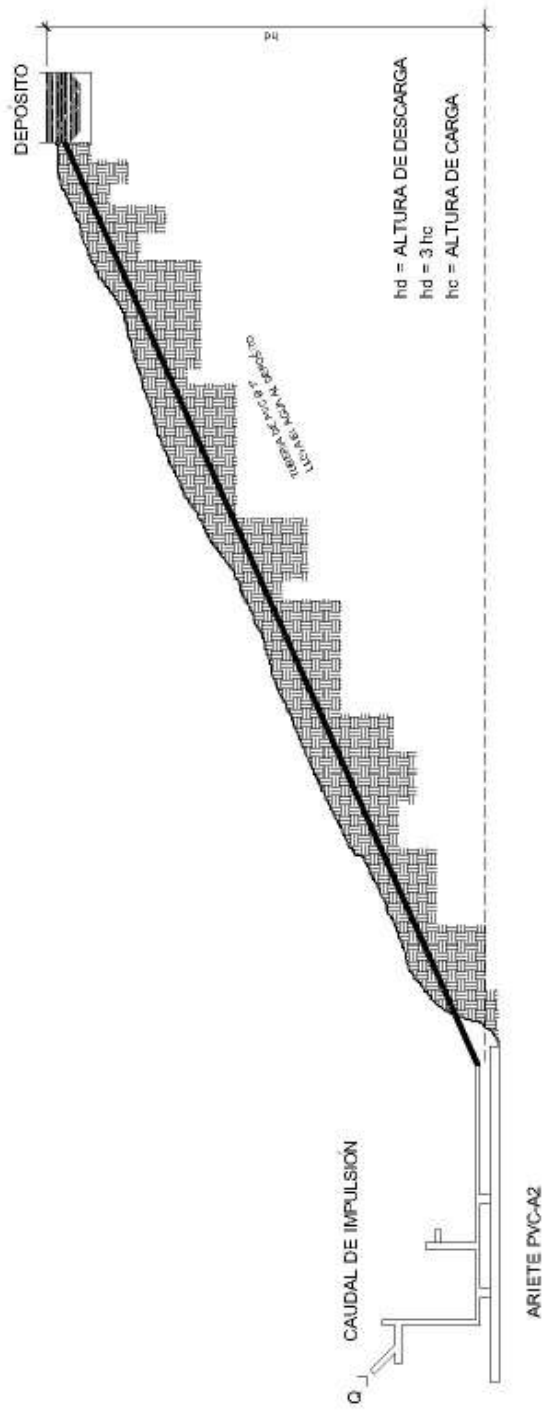
## **2.4 Descripción de componentes sanitarios**

Los componentes sanitarios son aquéllos que su función principal es cuidar la salud de las personas.

El más importante elemento sanitario en el ariete, es la tee conductora de agua de desperdicio que se le adaptó a la válvula de desperdicio, evitando así, que el agua se regara en el suelo, formando pozas de agua estancada o lodo, en el que más adelante se pueden encubar huevos de organismos dañinos para la salud.

Además, toda la estructura del ariete fabricado principalmente de PVC, es un componente sanitario al no permitir escapes del fluido (agua) hacia el exterior, ni filtraciones de líquidos o sustancias químicas del exterior. Es decir que forma un aislamiento hidráulico que evita la contaminación del agua que circula, y contaminación al ambiente.

Figura No. 20. Tubería de salida



El PVC no genera ni produce chispa, ni está sujeto a ninguna acción de galvanizado o electrolítica, ya sea por sí mismo o en la presencia de metales. Esto hace al PVC un aislante perfecto.

Una de las mayores ventajas del PVC es su resistencia a la corrosión y a químicos. El PVC no se corroe, lo que elimina la necesidad de mantenimiento y le da larga vida. En adición a esto, el PVC resiste ataques por ácidos, soluciones de sal, alcoholes, álcalis y muchos otros químicos.

El PVC es también químicamente inerte, lo que elimina la posibilidad de que actúe como catalizador, promoviendo cambios en procesos químicos como decoloración, floculación, manteniendo la integridad del fluido.

Otra ventaja conexa, es que el PVC no es tóxico como comprobaron las pruebas toxicológicas que realizó la National Sanitation Foundation (NSF), en las que se comprobó que los compuestos de PVC están catalogados como aceptables para la conducción de agua potable.

El ariete también está fabricado con hule, el cuál posee características similares al PVC, y por tuercas y tornillos que por ser metálicos, sí se corroen, por lo que se recomienda para la fabricación del ariete, utilizar tornillos y tuercas de acero inoxidable.

El funcionamiento y armado de la tee conductora de agua de desperdicio, se describe en el punto 2.3.3.6 de este trabajo de graduación.

#### **2.4.1 Diagrama de flujo del funcionamiento del ariete**

El modelo diseñado tiene la siguiente secuencia de flujo.

#### **Figura No. 32. Diagrama de flujo del funcionamiento del ariete**

CAPTACIÓN DE LA FUENTE —————▶ CAÍDA DEL FLUJO  
HACIA EL ARIETE (TUBERÍA DE CARGA) —————▶ INGRESO  
DEL FLUJO AL ARIETE —————▶ SALE EL FLUJO POR LA  
VÁLVULA DE DESPERDICIO —————▶ SE CIERRA LA  
VÁLVULA DE DESPERDICIO IMPULSADA POR EL FLUJO  
—————▶ SOBRE PRESIÓN CAUSADA POR EL CIERRE DE  
DE LA VÁLVULA (GOLPE DE ARIETE) —————▶ IMPULSO  
DEL FLUJO (TUBERÍA DE DESCARGA) HACIA EL DEPÓSITO  
DE ALMACENAMIENTO.

### **3. INSTALACIÓN Y PRUEBAS AL MODELO PVC - A2 EN FUENTE DE AGUA**

Para poner a funcionar el modelo, se construyó una fuente artificial, es decir un pequeño laboratorio en donde se sometió al aparato a pruebas mínimas de funcionamiento. Para ello se utiliza un depósito de abastecimiento de agua (1/2 tonel), una bomba eléctrica de 0.5 HP que abastece el depósito de alimentación, manteniendo así un nivel constante del agua en el depósito. Este depósito se conecta a la tubería de carga que hace funcionar al ariete, al que en su válvula de desperdicio le conectamos un tubo PVC de 2" pulgadas de diámetro, que lleva el agua nuevamente al depósito de abastecimiento de agua (1/2 tonel), y así sucesivamente.

#### **3.1 Prueba de aforos en la línea de carga y descarga**

Para efectuar los aforos se usaron recipientes de 1, 2 y 5 litros, un cronómetro, con los cuales se tomaron los datos de volúmenes de caudal y tiempos.

El depósito de alimentación se colocó a una altura de 1.75 metros sobre el nivel del la válvula de desperdicio del ariete PVC - A2, y se efectuaron los siguientes aforos.

### 3.1.1 Aforos en la línea de carga

Se efectuaron seis aforos en diferente horarios lo que nos dio los siguientes resultados:

**Tabla IV. Aforo en la línea de carga**

Prueba	Caudal de carga (Q1)
1	23.50 Lts / Min
2	24.50 Lts / Min
3	24.14 Lts / Min
4	31.75 Lts / Min
5	25.13 Lts / Min
6	25.80 Lts / Min
<b>Promedio</b>	<b>25.80 Lts / Min</b>

Este resultado nos indica que para lograr que el ariete PVC - A2, funcione en mínimas condiciones, se necesita por lo menos un caudal de 25.80 Lts /min.

### 3.1.2 Aforos en la línea de descarga

Este aforo varía según la altura a que esté colocada la línea de descarga. Se efectuaron seis pruebas y los resultados son los siguientes :



**Tabla V. Aforo en la línea de descarga**

Prueba	hc	hd	Q2 Lts/min
1	1.75	3.08	3.50
2	1.75	3.08	4.50
3	1.75	5.40	1.75
4	1.75	5.40	1.80
5	1.75	5.65	1.80
6	1.75	6.00	1.50
<b>Promedio</b>	<b>1.75</b>	<b>4.77</b>	<b>2.48</b>

En donde,

hc = Altura de carga  
hd = Altura de descarga  
Q2 = Caudal de descarga

Por lo tanto, el ariete PVC - A2 produce un caudal en mínimas condiciones de 2.48 litros por minuto.

### **3.2 Prueba de carga fija ( h ) y altura de descarga variable**

Estas pruebas efectuadas están relacionadas con los anteriores resultados, pero en este punto se exponen con más detalle.

Se efectuaron seis pruebas y los resultados son los siguientes:

**Tabla VI. Prueba con carg fija (h) y descarga variable**

Prueba	Puls / Min	Q1	Q2	Q3	hc	hd
1	52	23.50	3.50	20.00	1.75	3.08
2	52	24.50	4.50	20.00	1.75	3.08
3	51	24.14	1.75	22.39	1.75	5.40
4	47	31.75	1.80	29.95	1.75	5.40
5	54	25.13	1.80	23.33	1.75	5.65
6	46	25.80	1.50	24.30	1.75	6.00

en donde:

Puls/min = Pulsaciones de la válvula de desperdicio por minuto

Q1 = Caudal de abastecimiento (Lts/Min)

Q2 = Caudal de descarga (Lts/Min)

Q3 = Caudal de desperdicio (Lts/Min)

hc = Altura de carga (metros)

hd = Altura de descarga (metros)

Para estas pruebas utilizamos la cámara de aire No. 1

### **3.3 Prueba de altura de descarga fija y altura de carga variable**

Para esta prueba dejamos la altura de descarga a 4.25 metros sobre el nivel de la válvula de desperdicio del ariete PVC - A2, tratando de cumplir con el enunciado en el capítulo 2 que dice:

$$hc = 1/3 * hd$$

Por lo tanto,

$$hd = 3 * hc$$

en donde

hc = Altura de carga

hd = Altura de descarga

En este caso,

la altura de carga  $(h_c) = 1.75$  metros

por lo que,

la altura de descarga  $(h_d) = 3 * 1.75 = 5.25$  metros.

Con respecto a la altura de carga  $(h_c)$  variable, debido a las condiciones de laboratorio en las que se probó el ariete PVC - A2, la carga fue siempre de 1.75 metros, pero para experimentar un incremento de caudal  $(Q)$  y velocidad del flujo, duplicamos la tubería de abastecimiento, es decir acuachamos 2 tubos de 1 1/2" pulgadas de diámetro y los conectamos al ariete PVC -A2, utilizando una "Y" PVC de 1 1/2" pulgadas de diámetro, con lo que se logró el efecto de incrementar el caudal  $(Q)$  y la velocidad del flujo, como si se estuviera incrementando la altura de carga  $(h_c)$ .

Se efectuaron 4 pruebas y los resultados son los siguientes:

**Tabla VII. Prueba de descarga fija y altura de carga variable**

Prueba	Cámara	# tubos(a)	$h_c$	$h_d$	Q2	Q3	Puls/Min
1	No.1	1	1.75	5.25	2.50	18.60	56
2	No.1	2	1.75+C	5.25	2.75	30.00	59
3	No.2	1	1.75	5.25	2.25	19.80	54
4	No.2	2	1.75+C	5.25	2.50	30.00	56

en donde,

# tubos(a) = Número de tubos de abastecimiento

hc = Altura de carga en metros

hd = Altura de descarga en metros

Q2 = Caudal de descarga en litros por minuto

Q3 = Caudal de desperdicio en litros por minuto.

Puls/Min = Pulsaciones de la válvula de desperdicio por minuto

En conclusión, podemos ver que los resultados son similares con la cámara No.1 y la cámara No. 2, siendo más eficiente la cámara No.1.

También cuando utilizamos doble tubo de abastecimiento, se incrementaron los pesos en la válvula de desperdicio debido a que la presión, caudal y velocidad se incrementaron. De esta manera podemos equilibrar el funcionamiento del ariete y variar sus pulsaciones, ya que entre más peso menos pulsaciones y entre menos peso más pulsaciones.

### **3.4 Variación de alturas de la cámara de aire**

Las cámaras fabricadas para este trabajo de graduación son tres:

- 1 Cámara No 1 : niple de PVC O 3", longitud de 35 cms.
- 2 Cámara No 2 : niple de PVC O 3", longitud de 50 cms.
- 3 Cámara No 3 : niple transparente O 3", longitud de 50 cms.

### 3.4.1 Pruebas variando cámaras

**Tabla VIII. Pruebas variando cámaras y altura de descarga**

Cámara	hc	hd	Q2	Q3	Puls/Min
No. 1	1.75	6.15	1.25	22.8	49
No. 1	1.75	4.25	5.50	19.8	54
No. 2	1.75	6.15	1.00	22.8	48
No. 2	1.75	4.25	4.50	19.8	54

En donde:

hc = Altura de carga en metros

hd = Altura de descarga en metros

Q2 = Caudal de descarga en litros por minuto

Q3 = Caudal de desperdicio en litros por minuto

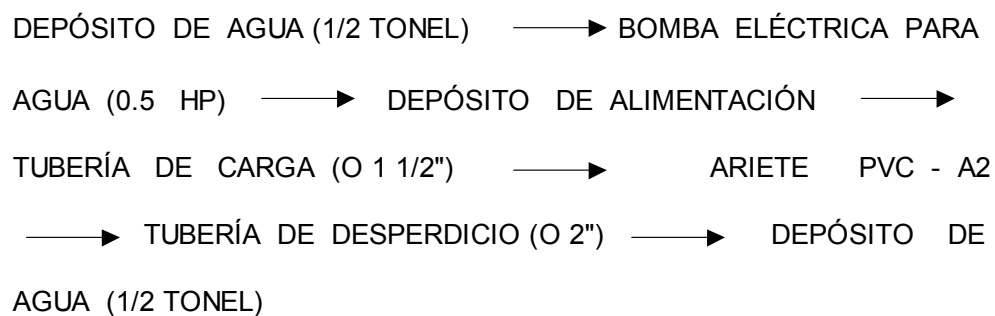
Puls/Min = Pulsaciones de la válvula de desperdicio por minuto

Las presiones en este punto no se tomaron, debido a que el ariete está sometido a condiciones mínimas de funcionamiento, por lo que las presiones siempre son inferiores a los 160 PSI que soporta la tubería.

### 3.5 Prueba de funcionamiento y duración (mínimo 30 días)

Como se mencionó anteriormente, el laboratorio se construyó principalmente para que el ariete PVC - A2 funcionara constantemente, esto se logra manteniendo una carga fija (hc) y un caudal de alimentación constante (Q1). El flujo de agua creado se reciclaba en un circuito cerrado, como lo explica el siguiente diagrama :

**Figura No. 33. Diagrama de flujo del circuito cerrado del flujo utilizado en la prueba del ariete**



Con este sistema el ariete pasó funcionando un mes, en el que se obtuvo los siguientes resultados:

- a. Funcionamiento constante.
- b. En las piezas no se notó desgaste de materiales.
- c. Poco mantenimiento, únicamente se necesitó limpieza de los depósitos.
- d. Buena resistencia de materiales de PVC y fabricados.
- e. Todas las piezas y accesorios fabricados funcionaron a la perfección y dieron los resultados deseados.

#### **4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS BASADOS**

## EN LAS PRUEBAS EFECTUADAS

### 4.1 Eficiencia de Rankine

Para calcular la eficiencia de Rankine, utilizamos la siguiente fórmula :

$$Er = \frac{Q2 \times h}{Q3 \times hc} = \frac{Q2 \times (hd - hc)}{Q3 \times hc} \times 100$$

en donde :

hc = Altura de carga

hd = Altura de descarga

Q2 = Caudal de descarga en litros por minuto

Q3 = Caudal de desperdicio en litros por minuto

Los datos a utilizar son los resultados obtenidos en la prueba del punto 3.4.1

**Tabla IX. Resultados obtenidos de la eficiencia de Rankine**

Cámara	Puls/min	Q2	Q3	hc	hd	Er
No. 1	49	1.25	22.80	1.75	6.15	13.78
No. 1	54	5.50	19.80	1.75	4.25	39.68
No. 2	48	1.00	22.80	1.75	6.15	11.03
No. 2	54	4.50	19.80	1.75	4.25	32.47

Como podemos observar, las eficiencias no son máximas debido a

que el ariete PVC - A2 está sometido a condiciones de laboratorio.

#### 4.2 Eficiencia de D'aubuisson

Para calcular la eficiencia de D'aubuisson, utilizamos la siguiente fórmula :

$$Ea = \frac{Q2 \times hd}{hc \times (Q2 + Q3)} \times 100$$

en donde :

hc = Altura de carga

hd = Altura de descarga

Q2 = Caudal de descarga en litros por minuto

Q3 = Caudal de desperdicio en litros por minuto

Los datos a utilizar son los resultados obtenidos en la prueba del punto 3.4.1

**Tabla X. Resultados obtenidos de la eficiencia de D'aubuisson**

Cámara	Puls/min	Q2	Q3	hc	hd	Ea
No. 1	49	1.25	22.80	1.75	6.15	18.26
No. 1	54	5.50	19.80	1.75	4.25	52.80
No. 2	48	1.00	22.80	1.75	6.15	14.76
No. 2	54	4.50	19.80	1.75	4.25	44.97

#### 4.3 Eficiencia máxima



El ariete PVC - A2, trabajó más eficientemente cuando se empleó la cámara de aire No. 1, y sus pulsaciones eran de 54 por minuto.

Como podemos observar en los resultados anteriores, las eficiencias máximas son :

Eficiencia de Rankine  $E_r = 39.68\%$

Eficiencia de D´aubuisson  $E_a = 52.80\%$

Es de hacer notar que el ariete PVC - A2 puede obtener mejores eficiencias si es sometido a condiciones no de laboratorio (mínimas).

#### **4.4 Comparación de resultados con los arietes ya construidos**

Los arietes ya construidos anteriormente, son los que se mencionan en el capítulo denominado antecedentes técnicos, y se clasificaron según el tipo de material con que se construyó y el tamaño de los diámetros de la tubería usada.

Las comparaciones de las eficiencias son las siguientes:

**Tabla XI. Comparación de eficiencias con arietes contruidos**

ARIETE TIPO	Er	Ea
HG - A1	61.16	66.26
HG - A2	66.17	76.15
PVC - A1	60.78	71.26
PVC - A2	39.68	52.80

El ariete PVC - A2 por ser el mayor de los arietes contruidos en la Facultad de Ingeniería, necesita de caudales mayores que los anteriores, pero como fue sometido a la prueba de duración en funcionamiento, mínimo de 30 días, el caudal utilizado fue el mínimo para su funcionamiento y observación.

Al someter el ariete PVC - A2 a mayores caudales, su eficiencia mejorará.

Una de las características principales del ariete PVC - A2 es que todas sus piezas (válvulas, cámara de aire, estructura, etc.) fueron diseñadas y fabricadas individualmente y son armables y desarmables, facilitando de esta manera su mantenimiento y reparación, ventaja que no presentan los anteriores arietes ya contruidos en la Facultad de Ingeniería.

Otra mejora presentada y experimentada en el ariete PVC - A2 es la válvula de desperdicio, que conduce el agua que sale por ésta hacia un depósito o regadío en forma controlada evitando así, la contaminación del suelo con aguas estancadas.

## 5. COSTOS DEL ARIETE PVC - A2

### 5.1 Costos de fabricación

Para poder integrar el costo de fabricación, necesitamos saber el precio individual de cada pieza, accesorios y nipples (PVC) que forman el ariete PVC - A2. Además, el costo de la mano de obra por fabricar y ensamblar el ariete.

#### 5.1.1 Costo de materiales

Para facilitar la integración del costo, se presenta a continuación un cuadro resumido con todas las piezas, accesorios y tubos de PVC que se utilizaron en la construcción del modelo PVC - A2.

**Tabla XII. Costo de materiales del ariete PVC - A2**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Válvula de compuerta de bronce diámetro de 1 1/2"	U	1	150.00	150.00
Válvula de compuerta de bronce diámetro de 1"	U	1	60.00	60.00
Reductor <i>bushing</i> PVC de 1 1/2" x 2"	U	1	8.50	8.50
Reductor <i>bushing</i> PVC de 2" x 3"	U	2	44.09	88.18

**Continuación, tabla XII. Costo de materiales del ariete PVC – A2**

Reducidor <i>bushing</i> PVC de 3" X 1"	U	1	40.19	40.19
Niple (PVC 250 psi) L= 50 cms diámetro de 3" (Cam. Aire)	U	1	25.82	25.82
Niple (PVC 250 psi) L= 30 cms diámetro de 3", con campana	U	1	15.50	15.50
Niple (PVC 250 psi) L = 15 cms, diámetro de 3"	U	5	7.75	38.75
Niple (PVC 250 psi) L = 10 cms, diámetro de 3"	U	2	5.15	10.30
Niple (PVC 160 psi) L = 6 cms, diámetro de 2"	U	2	1.20	2.40
Niple (PVC 160 psi) L = 30 cms, diámetro de 1 1/2"	U	1	4.50	4.50
Niple (PVC 160 psi) L= 60 cms diámetro de 1 1/2", con campana	U	1	9.00	9.00
Niple (PVC 160 psi) L = 7 cms diámetro de 1"	U	1	0.50	0.50
Tee lisa PVC diámetro de 3"	U	2	66.14	132.28
Tee lisa PVC diámetro de 2"	U	1	13.32	13.32
Codo liso PVC diámetro de 3"	U	1	39.83	39.83
Adaptador PVC hembra con rosca, diámetro de 3"	U	4	38.28	153.12
Adaptador PVC macho con rosca, diámetro de 3"	U	5	29.69	148.45
Adaptador PVC macho con rosca, diámetro de 1 1/2"	U	2	5.36	10.72
Adaptador PVC macho con rosca, diámetro de 1"	U	2	3.95	7.90
Tapon con rosca PVC diámetro de 3"	U	1	49.90	49.90
Tapon liso PVC diámetro de 2"	U	1	5.86	5.86
Abrazaderas metálicas de acero inoxidable, diámetro de 3"	U	2	15.00	30.00
Base de madera de L= 38", a= 12", h= 2".	U	1	20.00	20.00

**Continuación, tabla XII. Costo de materiales del ariete PVC – A2**

Tornillo de rosca corrida de 90 cms, diámetro de 5/16	U	1	14.30	14.30
Tuercas para tornillos de 5/16" de diámetro	U	4	0.30	1.20
Roldanas para tornillo de 5/16" de diámetro	U	4	0.45	1.80
Empaque circular de hule de 7 cms. de diámetro y espesor de 0.5 cms.	U	1	0.50	0.50
Disco PVC (250 psi) de 14 cms. de diám. ext, y 9 cms diám. Int.	U	1	6.00	6.00
Disco PVC (250 psi) de 14 cms. de diám. ext, y 7 cms diám. Int.	U	1	8.00	8.00
Discos de hule de 14.5 cms. diám, etx, y 9 cms, diám, interior. e = 0.5 cms.	U	2	1.00	2.00
Tornillos con tuerca de 1/4" de diám, y de L = 4 cms.	U	7	0.50	3.50
Marco de hierro de hembra de e = 1/8", por a = 1".	U	1	35.00	35.00
Pesos fabricados con cinchos de tubo PVC de 3", fundidos con concreto.	U	5	2.00	10.00
Copla de PVC de 3" pulgadas de diámetro.	U	1	23.53	23.53
Disco de PVC perforado con broca de 5/16" y 8.5 de diámetro.	U	1	5.00	5.00
Roldana de presión para tornillo 5/16"	U	1	0.50	0.50
Empaque circular de hule de 8.8 cms. de diámetro y espesor = 1.5 m.m.	U	1	0.25	0.25
Rectángulo de aluminio estándar de L= 7.5 cms, A=1.4 cms y e = 1 m.m.	U	1	0.10	0.10
Cemento solvente para agua potable ASTM 2564 en pomo de 100 gr.	U	2	20.81	41.62
Cintas de teflón para unir las piezas roscadas	U	4	3.00	12.00
Tubos de PVC (160 psi) diámetro de 1 1/2" y L= 20 pies	U	necesarios		
Tubos de PVC (160 psi) diámetro de 1" y L= 20 pies	U	necesarios		
			<b>*COSTO DE MATERIALES Q</b>	<b>1230.32</b>
<b>*Incluye IVA</b>				

El tipo de cambio a la fecha (noviembre de 2002) es de \$ 7.80 x Q 1.00, dato que servirá para futuros trabajos e investigaciones.

### **5.1.2 Costo de la mano de obra**

El tiempo que una persona se tarda en conseguir los materiales, construir las piezas que no se encuentran en el mercado y el ensamble del ariete, es de aproximadamente de cuatro días. Se considera que a la persona que va a realizar el anterior trabajo, se le pagará Q 75.00 por día, por lo tanto el costo de MANO DE OBRA es de Q 300.00 quetzales exactos.

### **5.1.3 Costo total del ariete tipo PVC - A2**

Este costo no es más que la suma del costo de materiales y el costo de la mano de obra, considerando además un imprevisto del 8 %, da el siguiente resultado :

COSTO DE MATERIALES.....	Q 1185.32
COSTO DE MANO DE OBRA.....	Q 300.00
IMPREVISTOS 8 %.....	Q 118.83
COSTO TOTAL.....	Q 1604.15

( Mil seis cientos cuatro quetzales, con quince centavos exactos)

## **5.2 Costo de instalación**

El ariete PVC - A2, es sumamente liviano debido al poco peso de sus partes de PVC, por lo que es fácil de manipular e instalar por una sola persona en un solo día, no tomando en cuenta la instalación de tuberías de carga y descarga, por lo que tendrá que pagársele según el costo por jornal diario del lugar donde se instale el ariete.

## **5.3 Costo de operación**

Debido a que el ariete funciona automáticamente por la energía que le provee el agua, los costos de operación se reducen prácticamente casi a cero.

Se necesita únicamente a una persona que se encargue de iniciar, verificar o detener el funcionamiento del ariete cuando se necesite.

### **5.1.6 Costo de mantenimiento**

El PVC es un material que ofrece alta resistencia al impacto y a la corrosión, por lo que reduce sustancialmente el costo de mantenimiento, lo que da larga vida al funcionamiento. Además, el noventa por ciento de sus partes pueden adquirirse en el mercado local de ferreterías.





## CONCLUSIONES

1. En este trabajo de graduación, se propone aplicar y usar materiales y tecnología más acorde a las posibilidades de nuestros países en desarrollo, como ha quedado demostrado en la construcción del ariete hidráulico PVC - A2 que fue fabricado con materiales no ferrosos que cumplen con las funciones estructurales e hidráulicas necesarias para estos mecanismos.
2. La construcción de los arietes hidráulicos en PVC no requiere talleres especializados, ni mano de obra calificada. Todas las piezas pueden adquirirse fácilmente en el mercado.
3. Por sus características propias en el orden de alguna fatiga estructural, los materiales son fácilmente reemplazables.
4. Todas las piezas diseñadas y fabricadas para el ariete PVC - A2, funcionaron perfectamente en las pruebas realizadas.
5. El ariete PVC - A2 cumplió con todas las recomendaciones dadas en el capítulo segundo, en lo que se refiere a alturas de carga ( $h_c$ ) altura de descarga ( $h_d$ ), longitud de tuberías.

6. Una de las pruebas más importante fue la prueba de duración, ya que se pudo observar el desempeño estructural y mecánico del ariete, éste no mostró desgaste o deterioro físico en las piezas, debido principalmente a que el noventa y cinco por ciento de piezas son de PVC, que es un material resistente a la corrosión, por lo que su vida útil tiende a ser muy alta.
7. Una de las principales piezas que se le adaptó al ariete PVC - A2, fue la tee conductora del agua de desperdicio, que evita contaminación al no derramarse el agua en el suelo.
8. En cuanto al costo del ariete hidráulico PVC - A2, se reduce en el orden de una sexta parte, comparado con los actuales arietes en el mercado existentes.
9. El ariete hidráulico PVC - A2 puede funcionar como un instrumento didáctico como lo comprobamos en una prueba adicional realizada, en la que se adaptó al ariete PVC - A2 una cámara de aire transparente y en la tubería de descarga una manguera de 3/4" transparente, en la que pudimos observar el comportamiento hidráulico del agua dentro de estas piezas.

## RECOMENDACIONES

1. Debe continuarse con la aplicación de las indiscutibles ventajas que proporciona la tecnología apropiada, para dar solución más barata a múltiples problemas, particularmente de saneamiento y abastecimiento de agua potable. Los arietes hidráulicos de tecnología apropiada que se han investigado ya en la Facultad de Ingeniería, indican que es una solución perfectamente viable, eficiente y eficaz, para contribuir a ampliar la cobertura de abastecimiento de agua para consumo humano, particularmente en el área rural, donde la energía es escasa.
2. El Centro de Investigaciones de Ingeniería a través de su departamento respectivo debe continuar con la investigación, tanto estructural como hidráulica de los cuatro arietes ya construidos en la facultad, con investigación básica inicial de lo fabricado y probado a través de trabajos de graduación.
3. Se recomienda también, hacerle pruebas al ariete PVC - A2 en condiciones extremas, es decir en una fuente de agua con un caudal fuerte, utilizando nueva tecnología existente en el mercado, como puede ser poliducto de 3" pulgadas o mayor para la tubería de carga y de 3/4" ó 1" pulgadas de diámetro para la tubería de descarga.

4. Es importante limitar las pruebas y observación de los resultados a una semana, debido a los costos económicos de alimentación y hospedaje que las pruebas representan, si éstas se desarrollan fuera del perímetro urbano.
5. Como dije en las conclusiones, recomiendo proponer el ariete PVC - A2 como un mecanismo hidráulico didáctico, que pueda ayudar a comprender más fácilmente al estudiantado de la Facultad de Ingeniería, la utilidad y funcionalidad de un ariete.
6. Debido a que el ariete está diseñado en su estructura con una base de madera, recomiendo que cuando se instale en el área rural, se le construya una base de concreto, con su debida protección, para evitar su destrucción por personas o animales.
7. Se sugiere que la Decanatura de la Facultad de Ingeniería, presente este y los otros trabajos realizados a instituciones nacionales, organizaciones no gubernamentales o internacionales, que trabajen en el sector salud y estén interesados en desarrollar proyectos hidráulicos, que beneficien a la población de bajos recursos económicos y proponerles el uso y la fabricación del ariete PVC - A2 en serie, dando así una solución viable a los problemas que enfrentan las comunidades rurales para el abastecimiento de agua potable.

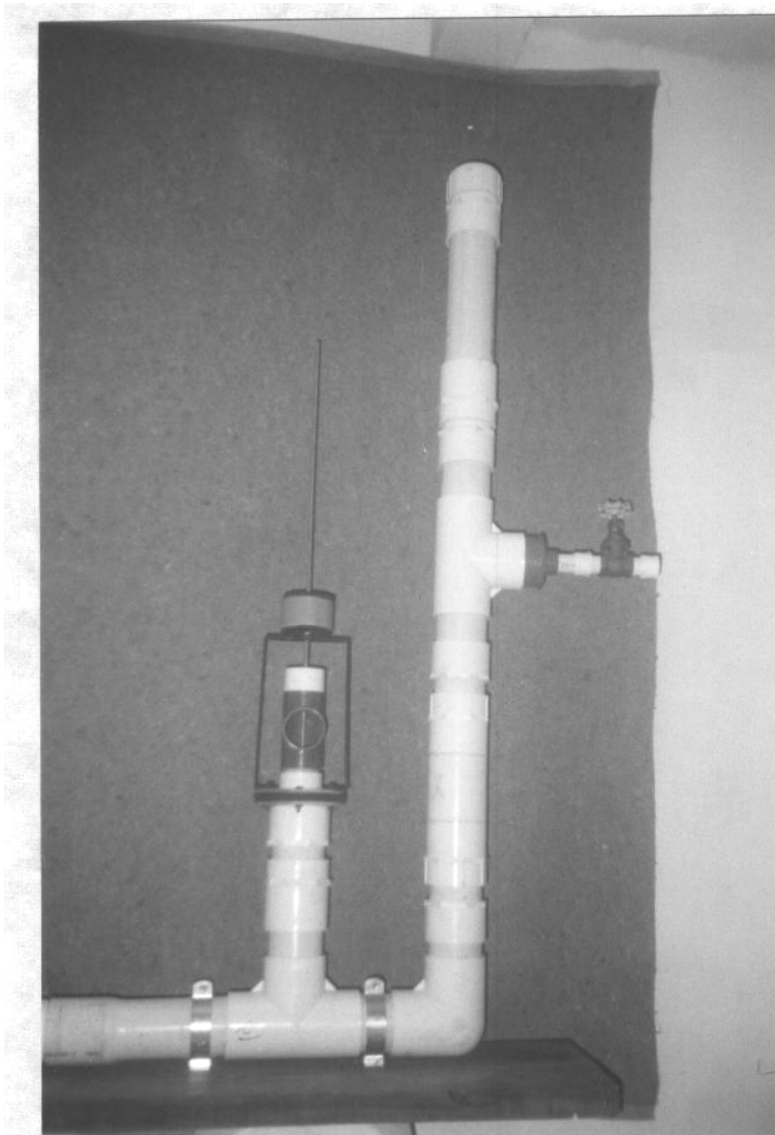
## BIBLIOGRAFÍA

1. Karp, Andrés. Diseño y cálculo para abastecimientos de agua por medio de arietes hidráulicos. Folleto CARE, Guatemala, 1975, 23 páginas.
2. Lacayo Vásquez, César Terencio. Investigación de un ariete hidráulico construido con accesorios de tubería de hierro galvanizado. Tesis Ing. Civil, Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1973, 80 páginas.
3. Paiz Montenegro, Leonel Alberto. Análisis, construcción y evaluación de un ariete hidráulico utilizando tubería y accesorios de cloruro de polivinilo (PVC). Tesis Ing. Civil, Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1996, 69 páginas.
4. Rosales Gómez, Víctor. Análisis y construcción de un ariete hidráulico de tubería y accesorios de hierro galvanizado. Tesis Ing. Civil, Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1993, 78 páginas.

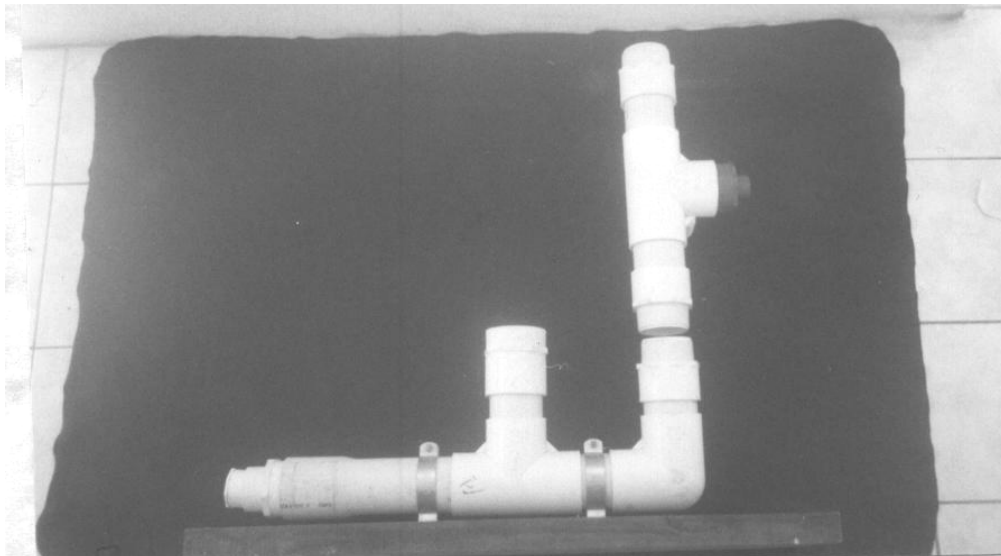


## APÉNDICE, FOTOGRAFÍAS TOMADAS AL ARIETE

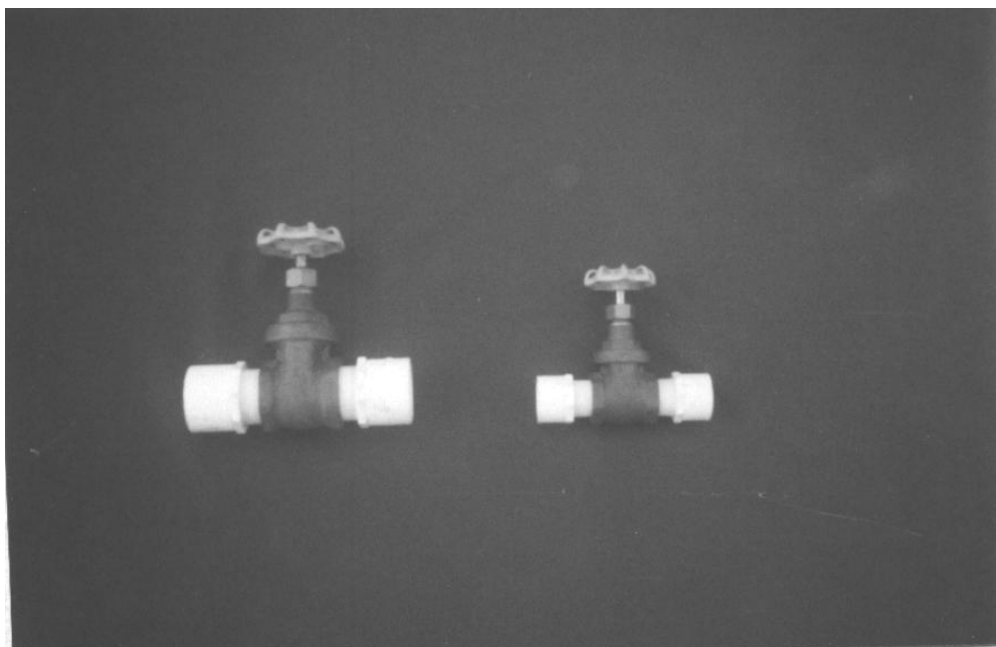
Figura No. 21. Vista general del ariete PVC – A2



**Figura No. 22. Vista de la estructura del ariete**

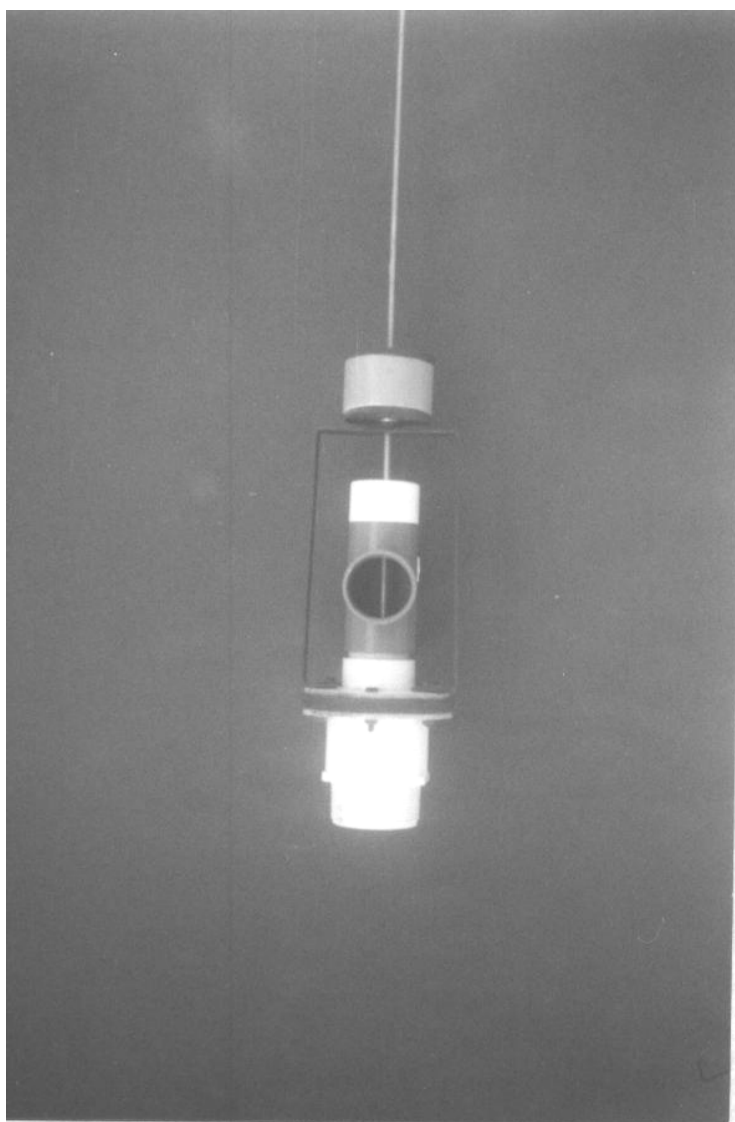


**Figura No. 23. Vista de la válvula de entrada (diámetro de 1 1/2")  
Vista de la válvula de salida (diámetro de 1")**

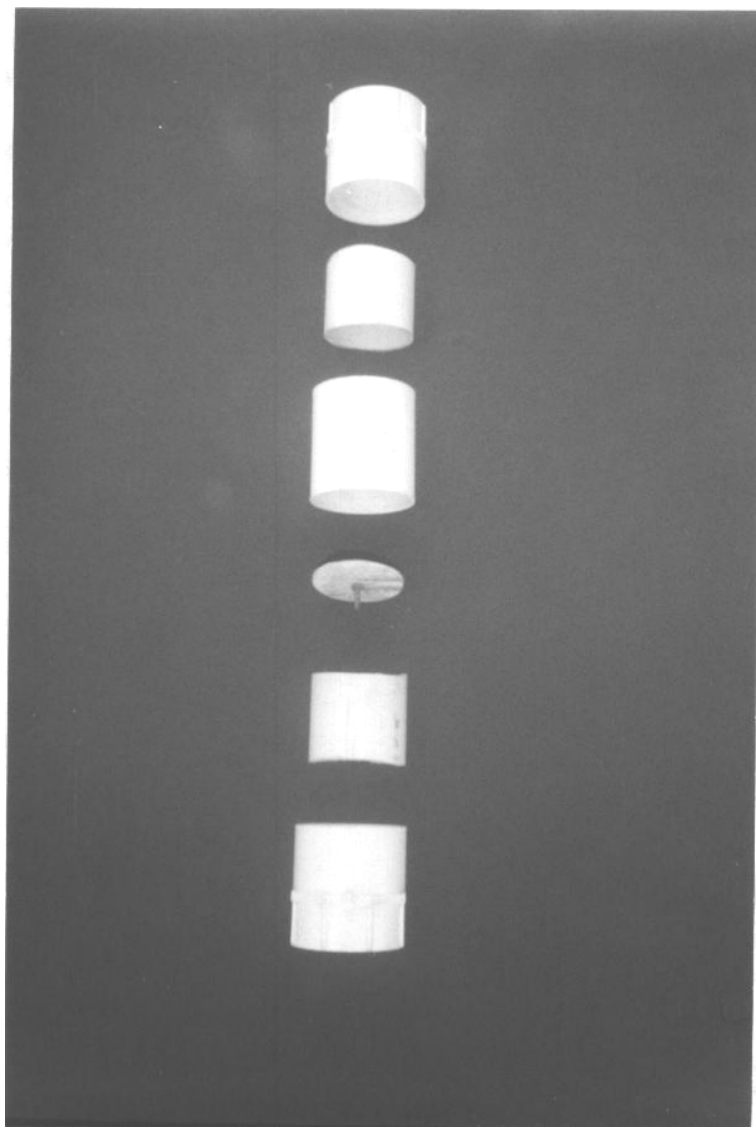




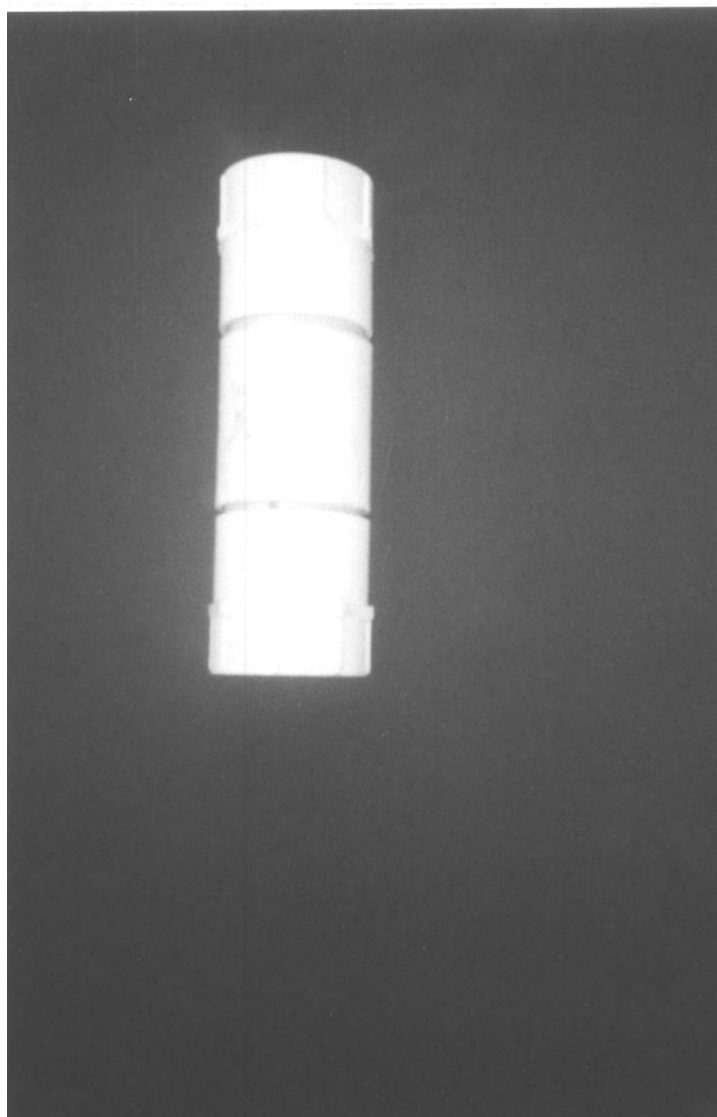
**Figura No. 24. Vista de la válvula de desperdicio**



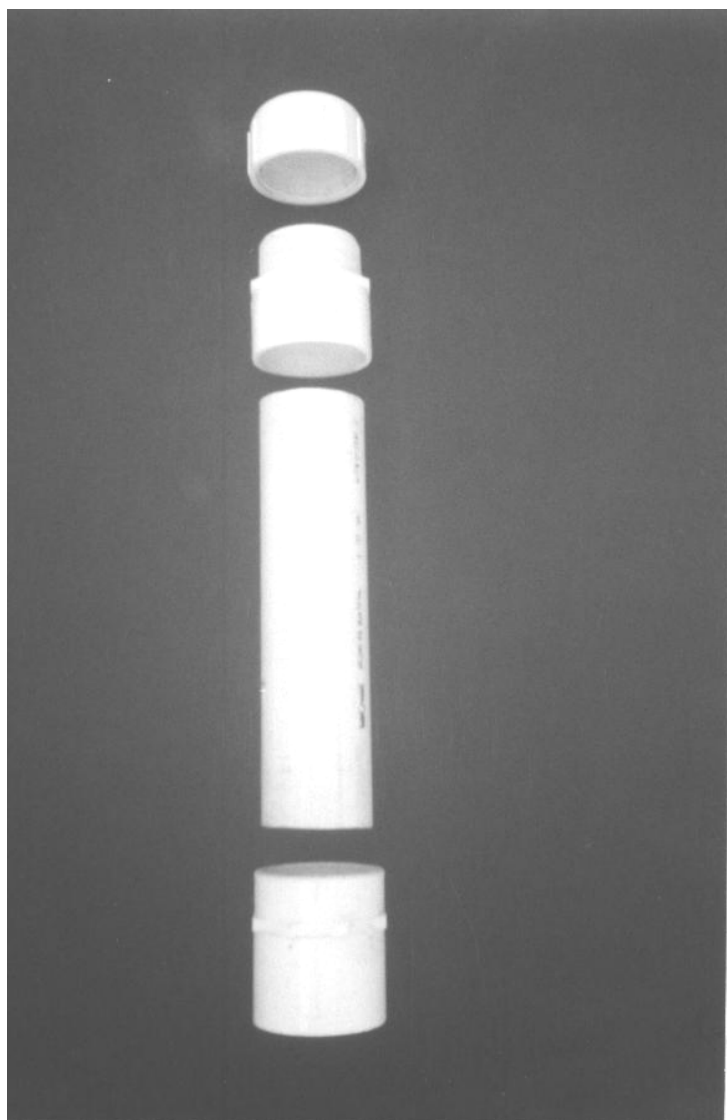
**Figura No. 25. Vista de la válvula de liberación sin armar**



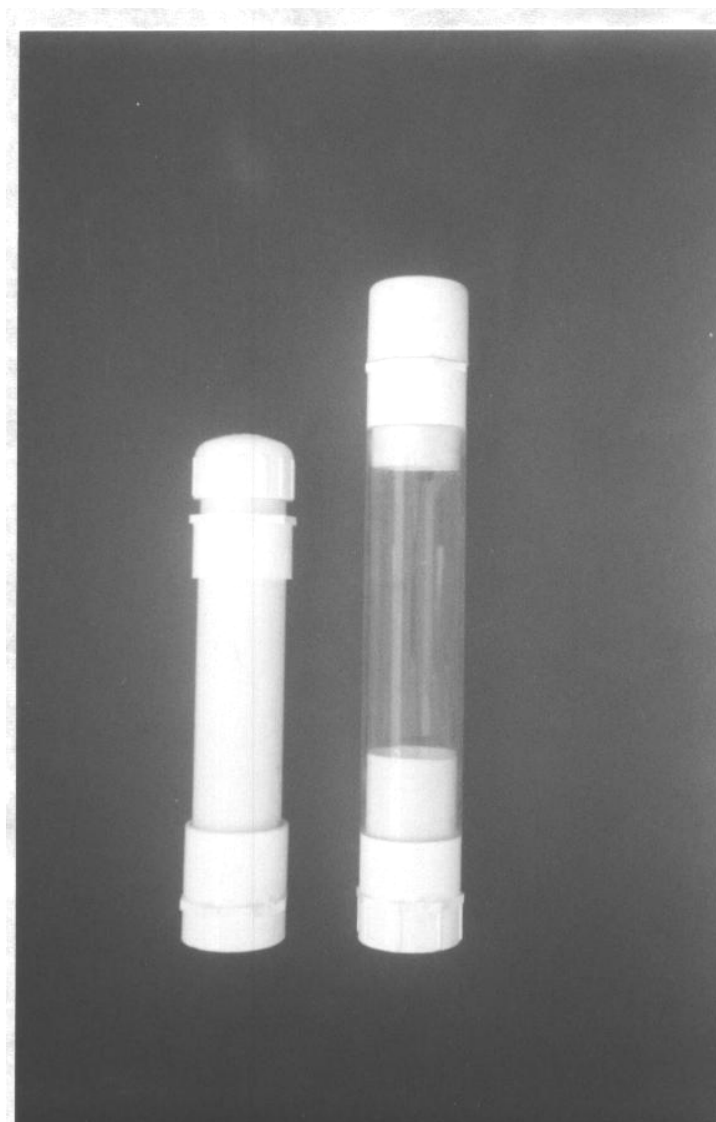
**Figura No. 26. Vista de la válvula de liberación completamente ensamblada**



**Figura No. 27. Vista de la cámara de aire sin armar**



**Figura No 28. Vista de la cámara No. 1 y cámara transparente completamente armadas**



**Figura No 29. Vista del depósito de alimentación y balde para rebalse**



**Figura No. 30. Vista general del ariete PVC – A2 en funcionamiento**



**Figura No. 31. Vista del depósito de alimentación,  
tubería de conducción,  
ariete PVC - A2 y descarga**

