

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

ANALISIS, CONSTRUCCION Y EVALUACION DE UN ARIETE HIDRAULICO
UTILIZANDO TUBERIA Y ACCESORIOS DE CLORURO DE POLIVINILO
(PVC)

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA

POR

LEONEL ALBERTO PAIZ MONTENEGRO

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 1996

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

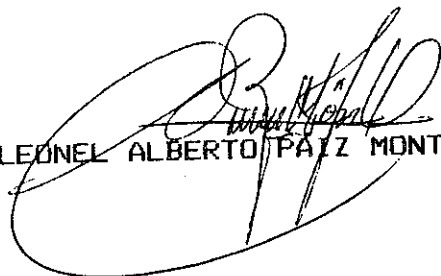
08
7(3323)

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 tesis titulado:

**ANALISIS, CONSTRUCCION Y EVALUACION DE UN ARIETE HIDRAULICO
UTILIZANDO TUBERIA Y ACCESORIOS DE CLORURO DE POLIVINILO
(PVC)**

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 8 de octubre de 1991.



LEONEL ALBERTO PAIZ MONTENEGRO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUEK
VOCAL PRIMERO	ING. MIGUEL ANGEL SANCHEZ GUERRA
VOCAL SEGUNDO	ING. JACK DOUGLAS IBARRA SOLORZANO
VOCAL TERCERO	ING. JUAN ADOLFO ECHEVERRIA MENDEZ
VOCAL CUARTO	BR. FERNANDO WALDEMAR DE LEON CONTRERAS
VOCAL QUINTO	BR. PEDRO IGNACIO ESCALANTE PASTOR
SECRETARIO	ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ LOPEZ

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	ING. JORGE MARIO MORALES GONZALEZ
EXAMINADOR	ING. JACK DOUGLAS IBARRA SOLORZANO
EXAMINADOR	ING. OSCAR FLORES SANDOVAL
EXAMINADOR	ING. JOSE GABRIEL MONTENEGRO FAIZ
SECRETARIO	ING. EDGAR JOSE AURELIO BRAVATTI CASTRO



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Ingeniero
Marco Tulio Ventura Roldán
Jefe del Departamento de Hidráulica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Guatemala,
21 de agosto de 1,996

Apreciable Ingeniero Ventura

Me complace informarle que el trabajo, estudios e investigaciones de la tesis **ANALISIS, CONSTRUCCION Y EVALUACION DE UN ARIETE HIDRAULICO UTILIZANDO TUBERIA Y ACCESORIOS DE CLORURO DE POLINILO** del estudiante **LEONEL ALBERTO PAIZ MONTENEGRO**, ha sido concluido satisfactoriamente.

Considero que el trabajo, reúne todos los requisitos exigidos por esta Facultad, por lo que me permito recomendarlo para continuar los trámites de aprobación.

Aprovechando la oportunidad para ratificarle la mejor disposición de nuestra Unidad Académica, para continuar apoyando a su escuela en trabajo de investigación en el campo de la Ingeniería Sanitaria y Ambiental.

Me suscribo cordialmente

Ing. Oscar Flores Sondoval
ASESOR



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 27 de agosto de 1,996

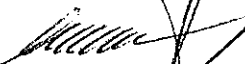
Ingeniero
Jack Douglas Ibarra Solórzano
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Por este medio le informo que al haber analizado y revisado el trabajo de tesis del estudiante LEONEL ALBERTO PAIZ MONTENEGRO, con carnet número 8012806, titulado: "ANALISIS, CONSTRUCCION Y EVALUACION DE UN ARIETE HIDRAULICO UTILIZANDO TUBERIA Y ACCESORIOS DE CLORURO DE POLIVINILO (P.V.C)"; trabajo al que se le efectuaron todas las observaciones técnicas pertinentes al mismo y habiendo sido satisfactoriamente corregidas; se da por aprobado por lo que puede seguir con los trámites correspondientes.

Asimismo se cuenta con la construcción del Ariete Hidráulico, el cual podrá ser utilizado en comunidades de bajos ingresos económicos.

Atentamente

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Marco Tulio Ventura Roldán
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE HIDRAULICA

isa/



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica y Regional de Post-grado de Ingeniería Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Oscar Flores Sandoval y Cordinador Jefe del Departamento de Hidráulica Ing. Marco Tulio Ventura Roldán el trabajo de tesis del estudiante Loenel alberto Paiz Montenegro, titulado "ANALISIS, CONSTRUCCION Y EVALUACION DE UN ARIETE HIDRAULICO UTILIZANDO TUBERIA Y ACCESORIOS DE CLORURO DE POLIVINILO (P.V.C.)", da por este medio su aprobación a dicha tesis.


Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano



Guatemala, septiembre 1, 1996.

JDIS/isa.



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis ANALISIS, CONSTRUCCION Y EVALUACION DE UN ARIETE HIDRAULICO UTILIZANDO TUBERIA Y ACCESORIOS DE CLORURO DE POLIVINILO (P.V.C.) del estudiante Loenel Alberto Paiz Montenegro, a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Julio Ismael González Podszueck

DECANO



Guatemala, septiembre de 1,996

/isa.

ACTO QUE DEDICO A:

MIS PADRES

ELEODORO PAIZ OCHAITA
MARIA ENRIQUETA MONTENEGRO

MIS HERMANOS

LUIS ARMANDO
GUSTAVO ADOLFO
RAFAEL ELEODORO

MI ESPOSA

CARMEN ALVIDIA ALVARADO DE FAIZ

MIS HIJOS

DIANA ANALY Y GERARDO LEONEL

MIS COMPANEROS DE
ESTUDIO Y TRABAJO

USTED

AGRADECIMIENTO ESPECIAL

Expreso mi más sincero agradecimiento al Ingeniero OSCAR FLORES SANDOVAL por su asesoría y apoyo brindado para la realización de este trabajo de tesis.

INDICE GENERAL

	Página
Abreviaturas	I
Glosario	II
Introducción	III
Objetivos	IV
1. PROPIEDADES FISICAS, MECANICAS E HIDRAULICAS DEL CLORURO DE POLIVINILO (PVC)	
1.1 Generalidades	1
1.2 Propiedades físicas del cloruro de polivinilo (PVC)	2
1.2.1 Características de las tuberías de PVC	3
1.3 Propiedades mecánicas del cloruro de polivinilo (PVC)	4
1.4 Propiedades hidráulicas del cloruro de polivinilo (PVC)	5
2. DESCRIPCION DEL TRABAJO REALIZADO POR UN ARIETE	
2.1 Qué es un ariete hidráulico ?	7
2.1.1 Descripción del trabajo realizado por un ariete	8
2.1.2 Funcionamiento	9
2.1.3 Golpe de ariete	9
2.1.4 Limitaciones hidráulicas en el ariete	12

2.2	Energía potencial de presión	13
2.3	Energía potencial de elevación	14
2.4	Energía cinética	15
3. CONSTRUCCION DEL ARIETE HIDRAULICO		
3.1	Componentes del ariete hidráulico	16
3.2	Tubería de conducción	18
3.3	Válvula de bola	20
3.4	Válvula de impulso	21
3.5	Embolo	23
3.6	Pesos	24
3.7	Válvula de liberación	25
3.8	Válvula de aire	26
3.9	Cámara de aire	27
3.10	Tubería de salida	29
3.11	Soporte del ariete	30
3.12	Pasos para la fabricación de algunas partes del modelo en forma resumida	31
4. DESARROLLO, OPERACION Y PRUEBAS EFECTUADAS AL MODELO		
4.1	Fabricación del modelo	34
4.2	Funcionamiento del ariete hidráulico	36
4.3	Circunstancias para la realización de las pruebas	36
4.4	Caudal disponible	36
4.5	Elevación	37

4.6 Caudal de descarga	37
4.7 Pérdidas por accesorios	38
5. COSTO DEL ARIETE EN PVC	
5.1 Costo de fabricación	40
5.1.1 Costo de mano de obra	42
5.2 Costo de instalación	42
5.3 Costo de operación	42
5.4 Costo de depreciación	43
5.5 Costo de producción	43
5.6 Comparación con otros tipos de arietes	43
6. ANALISIS DE RESULTADOS	
6.1 Resultados y eficiencias	44
6.1.1 Pruebas efectuadas	45
6.2 Eficiencia de Rankine	47
6.3 Eficiencia de D'aubuisson	48
6.4 Resultados obtenidos	48
6.5 Máxima eficiencia	49
6.5.1 Comparación de eficiencias con otro ariete	49
CONCLUSIONES	51
RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFIA	57
ANEXO A	
ANEXO B	

ABREVIATURAS

A	Area
b	Espesor de pared en un tubo
cm	Centímetro
D	Diámetro
e	Deformación
Ec	Energía Cinética
Ep	Energía Potencial
g	Gravedad (9.81 m/seg ²) o (32.2 p/seg ²)
H	Altura
Hf	Pérdida de carga
l	Litros
L	Longitud
M	Masa
Pi (π)	Constante = 3.1415926
PSI	libras por pulgada cuadrada
PVC	Cloruro de Polivinilo
Q	Caudal
s	Segundo
T	Tiempo
W	Peso

II

GLOSARIO

AISLANTE

Se denominan así a todos aquellos cuerpos que no pierden sus propiedades por estar conformados de substancias no conductoras; también este término describe a un material que puede inhibir la radiación de calor (aislante térmico) o el paso de la corriente eléctrica (aislante eléctrico).

AUTOCEBARSE

Dícese de algunas máquinas que entran en funcionamiento por sí mismas sin la necesidad de algún agente exterior.

BAQUELITA

Resina sintética obtenida con fenol y formol y empleada algunas veces en sustitución del plástico.

CATALIZADOR

Acción que ejercen ciertos cuerpos en las reacciones químicas de otros sin sufrir ellos mismos modificaciones.

CHEQUE

Dispositivo o válvula automática que se coloca en tuberías de conducción de agua, y que opera al suspenderse el movimiento del flujo.

DEGRADACION

Disminución progresiva.

DILATACION

Aumento de volumen de un cuerpo.

DISIPAR

Hacer desaparecer, disminuir o gastar.

DUREZA SHORE

En general dureza es la propiedad de un material que denota resistencia a deformación elástica e inelástica y a rotura; al ser sometido a la acción de penetración, indentación o rayado por otro material. La dureza shore da una medida de resiliencia del material.

ELONGACION

Aumento de la longitud de un elemento.

INERTE

Término que se utiliza para aquellos cuerpos que carecen de actividad o movimiento propio.

INSUMOS

Factores de producción; elementos de producción.

POLIVINILO

Es un polímero de múltiples aplicaciones, obtenido a partir del cloruro y del acetato de vinilo.

POZO ARTESIANO

Agujero profundo, elaborado a mano por una persona y cuya agua suele surgir a bastante altura.

PULSO

Variación periódica en la amplitud de una onda, consistente en la superposición de dos armónicos simples de distinta frecuencia.

TERMOPLASTICO

Cuerpos que adquieren plasticidad por los efectos del calor; material plástico cuyas propiedades no son modificadas por la acción de las altas temperaturas.

INTRODUCCION

El presente trabajo de tesis titulado ANALISIS, CONSTRUCCION Y EVALUACION DE UN ARIETE HIDRAULICO UTILIZANDO TUBERIA Y ACCESORIOS DE CLORURO DE POLIVINILO (PVC), como parte del proceso educativo de formación profesional, tiene como objetivo principal proporcionar toda la información básica para la construcción de una máquina elevadora de agua; con bajo costo de fabricación, operación y mantenimiento; que no contamine el medio ambiente y que pueda ser utilizada particularmente por comunidades suburbanas y del área rural de nuestro país.

El trabajo se desarrolla inicialmente describiendo las características mecánicas e hidráulicas del PVC; luego se analiza el ariete hidráulico, desde el punto de vista físico y funcional; posteriormente se describe la construcción del ariete objeto de este estudio, continuando con el análisis práctico, donde se realizan las pruebas de funcionalidad y eficiencia al modelo construido; por último se analizan los costos de construcción y resultados obtenidos.

Es importante hacer notar que este trabajo no constituye una invención del autor, ya que se han hecho arietes de este tipo con otros materiales, honestamente, es una adaptación de un modelo ya probado y desarrollado en otros países.

Se eligió el PVC para la construcción del modelo porque se pretende aprovechar las bondades de este material; principalmente por su bajo costo y sus propiedades elásticas y se

esperan obtener resultados mucho más eficientes que los obtenidos con modelos contruidos con materiales rígidos. Por razones de los alcances de un trabajo de tesis de graduación, el modelo se estudió e investigó hasta una etapa básica de funcionamiento, estableciéndose posibilidades y limitaciones estructurales e hidráulicas, las que se definen en el capítulo de conclusiones y recomendaciones, lo que constituye y establece los lineamientos a seguir en la siguiente etapa de estudio e investigación, y que dados los resultados obtenidos ameritan seguimiento.

Así mismo, de acuerdo a los preceptos universitarios se cree firmemente haber cumplido con la proyección de nuestra casa de estudios hacia la problemática sanitaria de Guatemala, tan necesitada, entre muchas otras prioridades, de disponer de tecnologías adecuadas y de bajo costo para el manejo del vital líquido, el agua.

IV

OBJETIVOS

GENERALES:

1. Participar en el desarrollo de investigación del Programa de Saneamiento Integral de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, ERIS.
2. Desarrollar dispositivos funcionales, eficientes, de bajo costo y fácil aplicación para la dotación de agua en el área rural del país, como es la construcción de un ariete hidráulico.

ESPECIFICOS:

1. Analizar y evaluar un ariete hidráulico construido con material de PVC, en contraposición a los construidos tradicionalmente.
2. Determinar eficiencias de un ariete en PVC y compararla con otros arietes construidos con hierro galvanizado y otros materiales.
3. Obtener resultados de campo basados en la operación, pruebas y funcionamiento del ariete.
4. Evaluar los costos de fabricación, instalación y operación de un ariete construido con PVC con uno de elementos de hierro galvanizado.

CAPITULO I

PROPIEDADES FISICAS, MECANICAS E HIDRAULICAS DEL CLORURO DE POLIVINILO (PVC)

1.1 GENERALIDADES:

Los materiales de cloruro de polivinilo proveen hoy en día avances mundiales de grandes beneficios de desarrollo a través de la tecnología moderna.

El PVC es verdaderamente uno de los logros sobresalientes de la humanidad, un elemento formado y construido de material termoplástico, el cual, en un sentido práctico puede ser considerado inerte cuando se expone al ataque de agentes químicos, incluyendo los casi ácidos, alcalinos, gasolinas y corrosivos.

Con consideraciones adicionales de peso liviano, alta durabilidad, gran resistencia y otras únicas propiedades termoplásticas del PVC, los grandes beneficios logrados son fácilmente apreciados.

La tecnología moderna enriquece nuestro mundo con materiales de PVC, un producto liviano, práctico, resistente, eficaz y barato.

1.2 PROPIEDADES FISICAS DEL CLORURO DE POLIVINILO (PVC):

Siempre ha existido la necesidad en los materiales de construcción de una alta calidad, durabilidad y facilidad de instalación. El PVC pesa la mitad de lo que pesa el aluminio y un sexto de lo que pesa el acero. Ofrece suficiente resistencia a la tensión, permitiendo el uso de presiones más elevadas que en otros materiales termoplásticos de espesores comparables.

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 materiales extraños, lo que lo hace un aislante perfecto en tuberías y accesorios de aplicación hidráulica.

Debido al extraordinario acabado de su superficie interior, hay prácticamente muy baja pérdida de carga, la resistencia al flujo es aproximadamente 30% menos que la del hierro fundido nuevo, en los mismos tamaños. Su eficiencia se mantiene en los altos niveles gracias a que no se forman

escamas o tuberculaciones, ni existe corrosión que reduzcan el diámetro interno.

Esta baja resistencia al flujo permite el uso de unidades más pequeñas de bombeo para conducir el mismo caudal.

La vida real practica del PVC es todavía desconocida, pero innumerables ensayos han indicado que hay muy poca o ninguna degradación de sus propiedades físicas a lo largo del tiempo, reteniendo sus propiedades originales, siempre que se encuentre debidamente protegido; por lo que existen estabilizadores especiales que permiten el uso de este producto expuesto a la intemperie.

1.2.1 CARACTERISTICAS DE LAS TUBERIAS DE PVC:

Una de las características de la tubería PVC es que los distintos compuestos y sus propiedades pueden ser seleccionados de acuerdo al tipo de tuberías que se deseen fabricar, según requerimientos de diseño.

La clasificación de los compuestos de PVC se efectúa por medio de un código numérico, donde se indica el Tipo (resistencia a impacto), Grado (resistencia química) y el Esfuerzo Hidrostático de diseño (c/100 psi)

Los diferentes tipos y grados de acuerdo a una clasificación de propiedades son:

TIPO 1: Compuestos con las resistencias químicas y mecánicas más elevadas, exceptuando el impacto.

Este tipo se divide en tres diferentes grados de acuerdo al balance de propiedades mecánicas y químicas.

GRADO 1: propiedades mecánicas y químicas más altas.

GRADO 2: altas resistencias mecánicas y químicas normales.

GRADO 3: altas resistencias químicas y mecánicas normales.

TIPO 2: Compuestos con alta resistencia al impacto y moderada resistencia química.

TIPO 3: Compuestos de mediana resistencia al impacto y resistencia química baja.

Actualmente la mayoría de fábricas de tubería PVC en el mundo entero, utiliza el compuesto PVC 1120, que es un compuesto grado 1, tipo 1 con 2000 libras por pulgada cuadrada de esfuerzo hidrostático de diseño.

1.3 PROPIEDADES MECANICAS DEL CLORURO DE POLIVINILO (PVC):

Las características mecánicas para el PVC 1120 son:

PROPIEDAD	NORMA ASTM	VALOR
Peso específico	D-792-66	1.38 gr/cm ³
Resistencia a la tensión (a 25 grados centígrados)	D-638-72	500 kg/cm ²
Resistencia a la compresión	D-695-69	675 kg/cm ²
Módulo de elasticidad		Mínimo 10% Máximo 30%
Elongación hasta la ruptura		Máximo 30%
Dilatación térmica lineal	D-696-70	0.08 mm/m/oC
Dureza Shore	D-785-65	75

Presión de trabajo a 23 grados centígrados, 160 PSI	D-2241 SDR 26	11.2 kg/cm ²
Presión mínima de ruptura 500 PSI	D-2241 SDR 26	35.1 kg/cm ²

La normalización de las dimensiones de la tubería PVC está basada en determinar los espesores de pared mediante la ecuación: ISO R 161-1960 que dice:

$$S = (d/e-1) \times (P/2)$$

Donde:

S: Esfuerzo hidrostático de diseño

P: Presión de trabajo

d: Diámetro exterior.

e: Espesor de pared

1.4 PROPIEDADES HIDRAULICAS DEL CLORURO DE POLIVINILO (PVC):

Una de las mayores ventajas del cloruro de polivinilo es que ofrece una alta resistencia a la corrosión y a los químicos, es decir, que no se corroe, lo que elimina la necesidad de mantenimiento y le da una vida útil más larga.

Esta propiedad le permite conducir fluidos que bajo otras circunstancias requerirían materiales costosos, como materiales anticorrosivos, uso de vidrio, arcilla o en el último de los casos de tubería protegida.

Dado que el PVC resiste el ataque de los ácidos, soluciones de sal, ciertos alcoholes y algunos otros químicos, y también

es químicamente inerte, lo que le veda la posibilidad que actúe como catalizador, da como resultado una gran confiabilidad en el mantenimiento del fluido a lo largo de su recorrido.

El PVC no es tóxico, resultado de pruebas que ha hecho la National Sanitation Fundation (NSF) de los Estados Unidos de Norteamérica, han demostrado que los componentes de cloruro de polivinilo han sido catalogados como aceptables para la conducción de agua potable.

CAPITULO II

DESCRIPCION DEL TRABAJO REALIZADO POR UN ARIETE

2.1 QUE ES UN ARIETE HIDRAULICO ?

El ariete hidráulico es la máquina más sencilla inventada hasta el presente, para el bombeo del agua y la que ocasiona el menor gasto en su funcionamiento.

El ariete comenzó en Inglaterra en el año de 1772, con un modelo que era de arranque automático. En 1776 salió un modelo francés con una válvula especial que le permitía autocebarse, casi como una máquina de acción perpetua, siempre que existiera un abastecimiento de agua continuo. Durante generaciones los arietes surtieron de agua a granjas de Europa, Medio Oriente y Asia.

Por medio del ariete la mayoría de las casas, fábricas y comunidades recibieron agua.

Contribuyeron a una productividad mejorada, a la introducción de la jardinería formal y más importante, al mejoramiento de la salud y la higiene de la población.

Para hacerlo trabajar se necesita solamente de una caída de agua, es fácil de instalar y su funcionamiento, como ya se dijo, es continuo día y noche.

Una instalación de ariete no necesita de electricidad ni un motor de gasolina, no está sujeto a los inconvenientes de los motores de combustión interna, por quiebra de piezas, gastos de combustión y servicio mecánico.

Con el incremento de costo de la energía eléctrica y la disminución de los recursos renovables, el ariete está llamando de nuevo la atención, ya que la aplicación de esta solución no provoca contaminación y para pequeños abastecimientos es adecuada.

2.1.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO POR UN ARIETE:

En un ariete de acción simple, el agua es obtenida de un depósito, fuente o pozo artesiano u otro recurso aguas arriba del ariete.

Este usará la fuerza generada por la columna de agua en el tubo de impulsión del ariete, hasta elevar una parte de esa agua a través del tubo de descarga al tanque o depósito en forma continua, muchos más pies arriba o a una larga distancia del ariete.

2.1.2 FUNCIONAMIENTO:

El ariete funciona bajo el siguiente sistema: la válvula de impulso se mantiene abierta por su propio peso, hasta que de momento se cierra por el impulso del agua que llega de la tubería de impulsión.

La columna de agua entonces, continúa pasando de la válvula de impulso a la válvula en la parte baja de la cámara de aire, buscando la salida del tubo de descarga.

Cuando de momento el agua se agota, la columna de la misma se suspende, se cierra el cheque de la cámara de aire (válvula de liberación), el agua sobrante se escapa por la válvula de liberación y el ciclo se repite sucesivamente por el propio impulso del agua. (Ver fotografía en la página 67)

2.1.3 GOLPE DE ARIETE:

El golpe de ariete es un término que se utiliza para describir el choque producido por una súbita disminución de velocidad en un fluido en una tubería.

Normalmente se consideran ondas positivas, sin embargo, ondas negativas pueden producirse y causar daños en la tubería. Las ondas de presión, llamadas normalmente golpe de ariete, son generadas en un sistema de tuberías por un cambio de velocidad en un líquido en movimiento, para conservar el momentum dentro del sistema, parte o toda la energía cinética debe ser convertida a energía potencial y posteriormente disipada a través de pérdidas por fricción, y a través de la pared de la tubería, si el fluido retorna a su estado

original de presión; algunas de las causas del golpe de ariete son:

- El abrir y cerrar bruscamente (total o parcial) una válvula.
- Encendido y apagado de una bomba.
- Cambio en la velocidad de una turbina.
- Cambio en la elevación de una cisterna.
- Acción de onda en la cisterna.
- Superación de columnas de líquido y,
- Aire atrapado.

Las clases de ondas pueden ser divididas en dos categorías: Verdaderas y Oscilatorias. La mejor manera de describir estas ondas es como condiciones intermedias que existen en un sistema al cambiar éste de un estado a otro.

El cerrado de una única válvula es un ejemplo típico.

Las ondas oscilatorias son una condición que ocurre regularmente en el tiempo.

Ondas de esta clase, se deben asociar con la acción de algún equipo de bombas recíprocas y válvulas reguladoras de presión. Pequeñas ondas oscilatorias pueden crecer rápidamente en magnitud y ser extremadamente peligrosas, si la frecuencia de oscilación se acerca a la frecuencia natural de resonancia (armónica) del sistema de tuberías.

La teoría elástica, en el análisis de ondas, ha sido desarrollada por varios investigadores durante algunos años y la técnica dará buenos resultados si es aplicada en forma correcta.

Un ejemplo común, fácilmente manejado, es el cálculo del aumento de presión en una tubería debido al cierre de una válvula en forma rápida. La tubería está soportada contra movimiento longitudinal y está equipada con juntas de expansión. La onda de presión está relacionada con la velocidad del sonido en el fluido (modificada por el material de la tubería).

Para el caso de tuberías son aplicables las siguientes relaciones:

La velocidad de la onda está dada por la ecuación:

$$a = 4660 / (1 + (Kd/Ee))^{1/2}$$

donde:

a = Velocidad de la onda, en pies/segundo

K = Módulo de compresión del fluido, 300,000 psi para el agua

d = Diámetro interno de la tubería en pulgadas

E = Módulo de elasticidad de la tubería, 400,000 psi para el PVC

e = Espesor de las paredes de la tubería, en pulgadas

Modificando la ecuación anterior y sustituyendo:

$$SDR = d/e$$

queda la ecuación siguiente:

$$a = 4600 / (1 + K/E (SDR-2))^{1/2}$$

La máxima onda de presión puede ser calculada por la ecuación:

$$p = aV / 2.31g$$

donde:

V= Velocidad máxima de cambio, en pies/segundo

g= Aceleración de la gravedad, 32.2 pies/segundo

p= Aumento de la presión de la tubería, psi

Un valor conservador de la máxima velocidad de cambio de flujo es 2 pies/segundo. Este valor rara vez es superado y es el recomendado por Uni-Bell Plastic Pipe Association y AWWA-C-900.

Otra ecuación para el cálculo aproximado del golpe de ariete en el sistema inglés es el siguiente:

$$p = 0.070 v L / T$$

donde:

p= Pies columna de agua

v= Velocidad del flujo, pies/segundo

L= Longitud de la tubería, pies

T= Tiempo de cerrado de la válvula, segundos

- Y en el sistema métrico la relación se escribe:

$$p = 0.529 v L / T$$

donde:

p= Presión, expresada en metros columna de agua

v= Velocidad del flujo, metros/segundo

L= Longitud de la tubería, metros

T= Tiempo de cerrado de la válvula, segundos

2.1.4 LIMITACIONES HIDRAULICAS EN EL ARIETE:

El ariete hidráulico, al igual que otras máquinas

elevadoras de agua, no deja de estar sujeto a ciertas limitaciones entre las que se mencionan:

- Topográficamente para poder instalar un ariete deberá existir una caída de agua mínima de 0.60 metros, y para obtener los mejores resultados se desea que la caída del agua sea mayor. Cuando no se dispone de la altura adecuada el ariete puede ser colocado en un foso, siempre que se tenga el debido cuidado de darle salida al agua necesaria para el funcionamiento del mismo.
- Para el funcionamiento continuo de un ariete hidráulico debe existir suficiente caudal de abastecimiento; principalmente en época de verano, debido a que parte del agua se pierde en su funcionamiento.
- Sensible a las variaciones de caudal y presión.

2.2 ENERGIA POTENCIAL DE PRESION:

Es la capacidad para producir trabajo, debido a la presión a la que está sometido el líquido. La presión puede realizar trabajo cuando es posible el movimiento del líquido en alguna dirección considerada.

Se diferencia de otras formas de energía, en que ninguna masa del líquido la posee por sí misma, sino en virtud del contacto con otras masas que tienen cierta forma de energía. Si se denomina "A" a la sección transversal del conducto perpendicular a la dirección del movimiento, la fuerza así ejercida será $P \times A$, y el trabajo realizado será $P \times A \times L$, siendo "L", la distancia a lo largo de la cual actúa la fuerza anterior.

Habiéndose efectuado a expensas de una cantidad de líquido en peso, de $A \times L \times W$, por lo que el trabajo por unidad de peso será:

$$(P \times A \times L) / (A \times L \times W) = P/W$$

El valor P/W será la carga de presión y generalmente se expresa en metros.

PRESION PERPENDICULAR A LA SECCION TRANSVERSAL DEL CONDUCTO

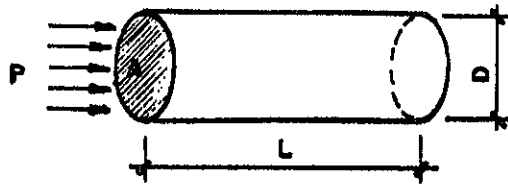


Fig. No. 1

2.3 ENERGIA POTENCIAL DE ELEVACION:

Se considera ese tipo de energía a la habilidad de desarrollar un trabajo en función de la fuerza de la gravedad, ya que el líquido puede pasar a otra posición variando su altura respecto al plano de referencia considerado, dado en una cantidad "H".

Así, el trabajo realizado será igual a $W \times H$, siendo W el peso del líquido.

Si se considera a $W=1$, el valor de "H" dará la energía por unidad de peso y que se expresa en kilogramos-fuerza-metros, si se han tomado estas unidades de medida. A este valor se le llama carga de altura.

2.4 ENERGIA CINETICA:

Dado que la Dinámica trata de los cuerpos que tienen movimiento acelerado; la energía cinética de un líquido es la habilidad de dicho elemento para producir trabajo en virtud de la velocidad de sus partículas; se expresa mediante la fórmula:

$$E_c = M \times (V^2) / 2$$

Su valor es igual a la mitad de la masa del líquido multiplicada por el cuadrado de la velocidad que posee. Como la masa es igual al peso dividido entre la aceleración de la gravedad la fórmula anterior puede expresarse en función del peso, es decir:

$$E_c = W \times (V^2) / 2g$$

Siendo W el peso, V, la velocidad y g la aceleración de la gravedad. Considerando a $W=1$, la expresión $(V^2 / 2g)$ se le llama la carga de velocidad, y dará la energía por unidad de peso expresada en kilogramos-fuerza-metros.

CAPITULO III

CONSTRUCCION DEL ARIETE HIDRAULICO

3.1 COMPONENTES DEL ARIETE HIDRAULICO:

Los elementos necesarios para construir un ariete hidráulico son los siguientes:

- Una lámina de baquelita de 1/4" de grueso por 10 centímetros por lado, (cuadrada).
- Dos Tee de PVC de 2 pulgadas de diámetro.
- Un codo a 90 grados de PVC de 3/4" de diámetro.
- Un codo a 90 grados de PVC de 2" de diámetro.
- Un niple PVC 0 2" por 2.00 metros, clase 250 psi.
- Un niple PVC 0 3/4" por 0.10 metros, clase 250 psi.
- Una válvula de bola de 3/4" de diámetro.
- Una válvula de bola de 1" de diámetro.
- Un niple PVC 0 1" por 1.00 metro, clase 160 psi.

- Un reductor bushing PVC de 2" a 1" de diámetro.
- Un reductor bushing PVC de 2" a 3/4" de diámetro.
- Dos adaptadores macho PVC de 1" de diámetro.
- Dos adaptadores macho PVC de 3/4" de diámetro.
- Un codo de \varnothing 1" x 45 grados PVC.
- Un tapón hembra PVC de 2" de diámetro.
- Dos adaptadores macho PVC de 2" de diámetro.
- Dos adaptadores hembra PVC de 2" de diámetro.
- Una lámina de acero, de 1/8" de grueso, cuadrada de 10 centímetros por lado.
- Dos abrazaderas de aluminio de 2" de diámetro.
- Una lámina baquelita de 3/16" de grueso por 7 centímetros de ancho y 10 centímetros de largo.
- Un pedazo de hule negro, resistente, de 1/4" de grueso y de 10 centímetros por lado.
- Un pedazo de hule de 1/16" de grueso, de 10 centímetros por lado.
- Una tabla de 2.5 centímetros de grueso, de 30 centímetros de ancho y 60 centímetros de largo.
- 100 gramos de pegamento para PVC (tangit).
- Un tornillo acerado, de rosca corrida, de 5/16" de diámetro y de 45 centímetros de largo.
- Un tornillo acerado, de 3/16" de diámetro, de 1.25 centímetros de largo.
- Cuatro tornillos acerados, de 1/4" de diámetro, de 2.5 centímetros de largo.

- Tres rondanas aceradas de 5/16" de diámetro.
- Cinco tuercas aceradas de 5/16" de diámetro.
- Dos rondanas aceradas de 3/16" de diámetro.
- Dos tuercas aceradas de 3/16" de diámetro.
- Ocho rondanas aceradas de 1/4" de diámetro.
- Cuatro tuercas aceradas de 1/4" de diámetro..
- Un pedazo de alambre de amarre de 10 centímetros de largo.
- Un pedazo de hierro hembra, de 1/8" de grueso, por 1" de ancho y 40 centímetros de largo.
- Dos tornillos acerados, de 5/8" de diámetro, por 3 centímetros de largo.
- Dos rondanas aceradas de 5/8" de diámetro.
- Dos tuercas aceradas de 5/8" de diámetro.

3.2 TUBERIA DE CONDUCCION:

En general comprende toda la tubería que partiendo de la entrada del abastecimiento de agua que puede ser la orilla de un río, nacimiento, lago, etc. y que llega hasta el ariete en consideración.

Esta tubería también se le conoce como tubería de impulsión, deberá colocarse una pichacha o colador en el extremo superior de ella, y en su totalidad deberá ser del mismo diámetro.

La tubería de conducción debe colocarse en línea recta, inclinada al ariete, evitando codos o curvas cerradas, no debe haber puntos altos en donde se pueda acumular el aire.

El largo del tubo de conducción depende de la altura de la

caída de agua, así también de la cantidad de agua impulsora. En esta tubería debe colocarse la primera válvula de bola del mismo diámetro, con el fin de evitar en lo más mínimo cualquier pérdida de carga por accesorios.

La tubería de impulsión debe ser lo más rígida posible, por lo que se construye preferentemente de acero o hierro galvanizado, en el supuesto de que la misma sea de PVC, ésta debe estar bien anclada, asegurada, y enterrada, y así evitar que el golpe de ariete se disipe por la vibración.

Para la ejecución del presente estudio se hicieron dos pruebas, en la primera se instaló tubería de PVC de 1" de diámetro y 9 metros de largo; y en la otra, tubería de 1.5" de diámetro y 9 metros de largo, toda clase 160 psi.

TUBERIA DE CONDUCCION

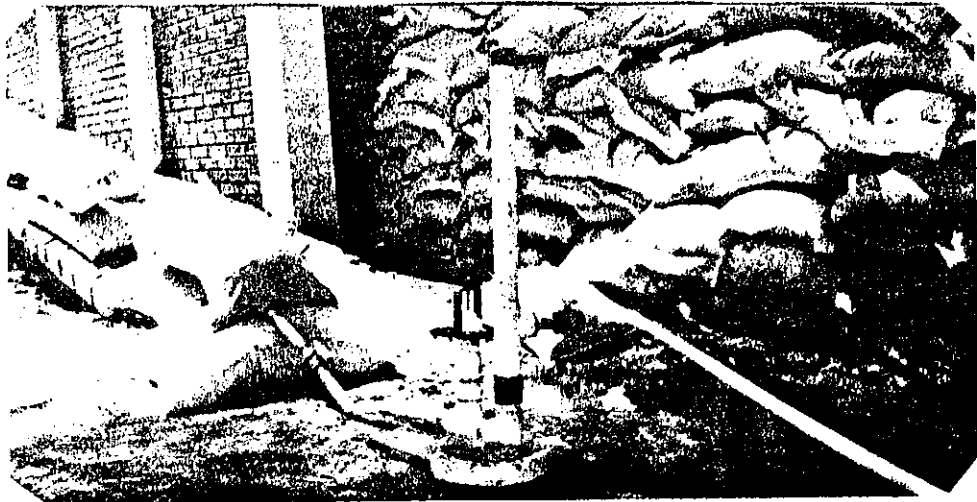


Foto No. 1

3.3 VALVULA DE BOLA:

Es una válvula que va colocada en la línea de impulsión y también en la línea de descarga, el funcionamiento de este tipo de dispositivos es más adecuado que la válvula de compuerta y la de globo tradicionales.

En el ariete en estudio debe colocarse una válvula de bola de 1" de diámetro en la entrada (tubería de conducción) y una válvula de bola de 3/4" de diámetro a la salida del mismo (descarga).

Estas válvulas ayudan al iniciarse el funcionamiento y a suspender el trabajo del ariete cuando se necesite.

VALVULA DE BOLA

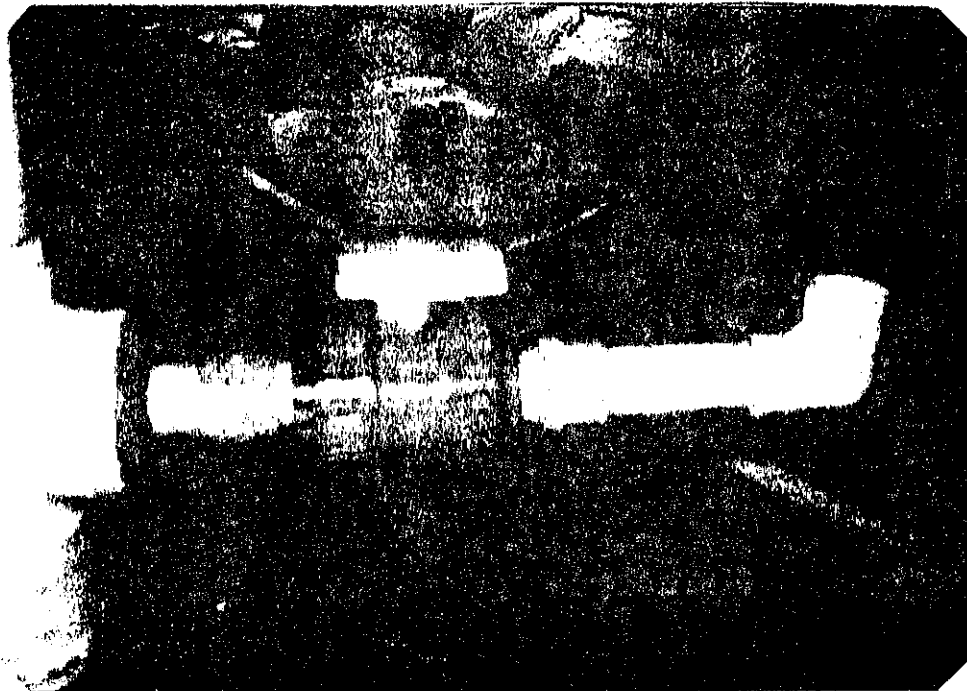


Foto No. 2

3.4 VALVULA DE IMPULSO:

Para construir la válvula de impulso se utilizó la lámina de baquelita de 1/4" de grueso, por 10 centímetros de ancho y 10 centímetros de largo, al centro de la lámina se marca un círculo de 3 centímetros de diámetro, que posteriormente se debe perforar, tal operación debe ser lo más exacta posible, y la misma debe de hacerse también con la lámina de acero de 1/8" de grueso, por 10 centímetros de ancho y 10 centímetros de largo; ambos círculos ya perforados en sus respectivas láminas deberán coincidir.

La unión de la lámina de baquelita con la lámina de acero se hace por medio de cuatro tornillos de 1/4" de diámetro y 2.5 centímetros de largo, utilizando también las rondanas y las tuercas respectivas.

La unión de ambas láminas garantiza la solidez de lo que será la base para colocación del marco de acero por donde correrá el émbolo.

El marco de acero se construye con el hierro hembra de 1/8" de grueso, por 1" de ancho y 40 centímetros de largo, y deberá tener un alto de 10 centímetros y un largo de 10 centímetros.

Y en el centro deberá perforarse un agujero de 5/16" de diámetro.

Este marco deberá soldarse a la lámina de acero, y la lámina de baquelita deberá de pegarse a un pedazo de niple PVC de 2" de diámetro y 8 centímetros de largo.

Luego pegar al pedazo de niple PVC un adaptador macho y a éste un adaptador hembra, todos de 2" de diámetro.

Finalmente todo este conjunto va unido como una sola pieza a la tee de 2" de diámetro tal y como se muestra en la foto.

Al final chequear que no haya ningún elemento de desajuste que produzca alguna fuga.

VALVULA DE IMPULSO

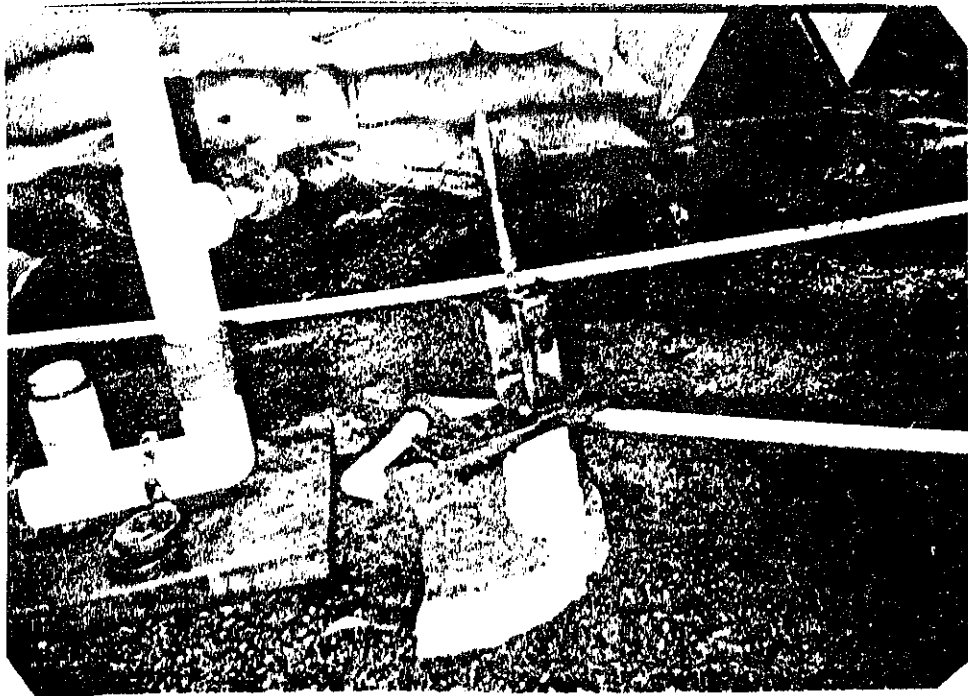


Foto No. 3

3.5 EMBOLO:

Para formar el émbolo de la válvula de impulso se utiliza el pedazo de hule negro, resistente, de 1/4" de grueso, por 10 centímetros por lado.

Primeramente se hace el empaque de hule, el cual se forma recortando un pedazo del mismo, de un diámetro de 4 centímetros y en su centro se perfora un agujero de 5/16" de diámetro, enseguida atornillar en una punta del tornillo de rosca corrida, de 5/16" de diámetro y 45 centímetros de largo, en el siguiente orden: 2 tuercas, 1 rondana, el empaque de hule, 1 rondana y finalmente una tuerca.

Formado así el émbolo, deberá colocarse en la válvula de impulso, procurando pasar el tornillo por el agujero de 5/16" que se encuentra en el centro del marco.

EMBOLO

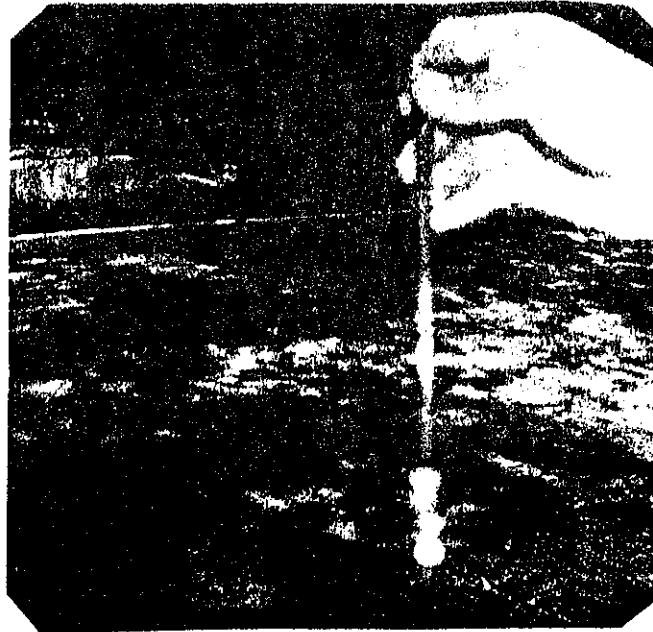


Foto No. 4

3.6 PESOS:

Estos objetos como su nombre lo indican, no son más que pequeños elementos de metal con cierto peso, cuya función no es más que regular la cantidad de pulsos que se quieran dar al ariete por minuto, cuando éste se encuentre en funcionamiento, ellos regulan la carrera del émbolo, si ésta es muy grande, el ariete trabaja muy despacio, bombea más agua, pero necesita mayor caudal para mantenerse trabajando, además, el caudal de desperdicio se incrementa. Tales partes de metal van acopladas en el tornillo de 5/16" de diámetro, de rosca corrida, que forma parte del émbolo.

PESOS



Foto No. 5

3.7 VALVULA DE LIBERACION:

La válvula de liberación en su parte interior se fabrica con la lámina plástica de 3/16 " de grueso, por 7 centímetros de ancho y 10 centímetros de largo.

Primeramente trazar un centro cualquiera y marcarlo con un punzón y un martillo, luego apoyar en esta marca un compás y trazar un círculo de 5 centímetros de diámetro (2 pulgadas), dentro de este círculo trazar cuatro círculos más, así: el primero es de 8 milímetros de diámetro, el segundo de 1.6 centímetros de diámetro, el tercero de 3 centímetros de diámetro y el cuarto de 4.2 centímetros de diámetro.

Sobre todas estas circunferencias hacer varios círculos de 3/16" con una broca; luego cortar la lámina con sierra, siguiendo la marca del borde el círculo de 5 centímetros de diámetro, redondeando lo mejor posible esta pieza.

Soldar todo este círculo a uno de los extremos del tubo de 2" que servirá como cámara de aire.

El empaque de esta pieza es un círculo de 4.8 centímetros de diámetro, que se obtiene al recortar un pedazo de hule de 1/16" de grueso y 10 centímetros por lado.

Introducir por el lado del niple PVC de 2" en el agujero central, un tornillo de 3/16" de diámetro por 1/2" de largo, poniéndole luego una rondana y una tuerca.

Perforar el empaque de hule de 4.8 centímetros de diámetro, con el tornillo de 3/16" de diámetro y sostenerlo con una rondana metálica y dos tuercas de 3/16" de diámetro.

3.8 VALVULA DE AIRE:

La válvula de aire colocada en la válvula de liberación, es un agujero de 1 milímetro de diámetro que se hace a la mitad del largo del niple PVC, de 2 pulgadas de diámetro.

Se hace el empaque de esta válvula pasando un pedazo de hule pequeño por un alambre de 3 centímetros de largo, doblando la punta para que este empaque no se salga.

Finalmente se introduce esta pieza por el agujero del niple PVC, la punta se dobla en escuadra (a 90 grados).

La función de la válvula anterior es liberar agua y aire acumulados en exceso cuando el ariete está en funcionamiento.

VALVULA DE AIRE

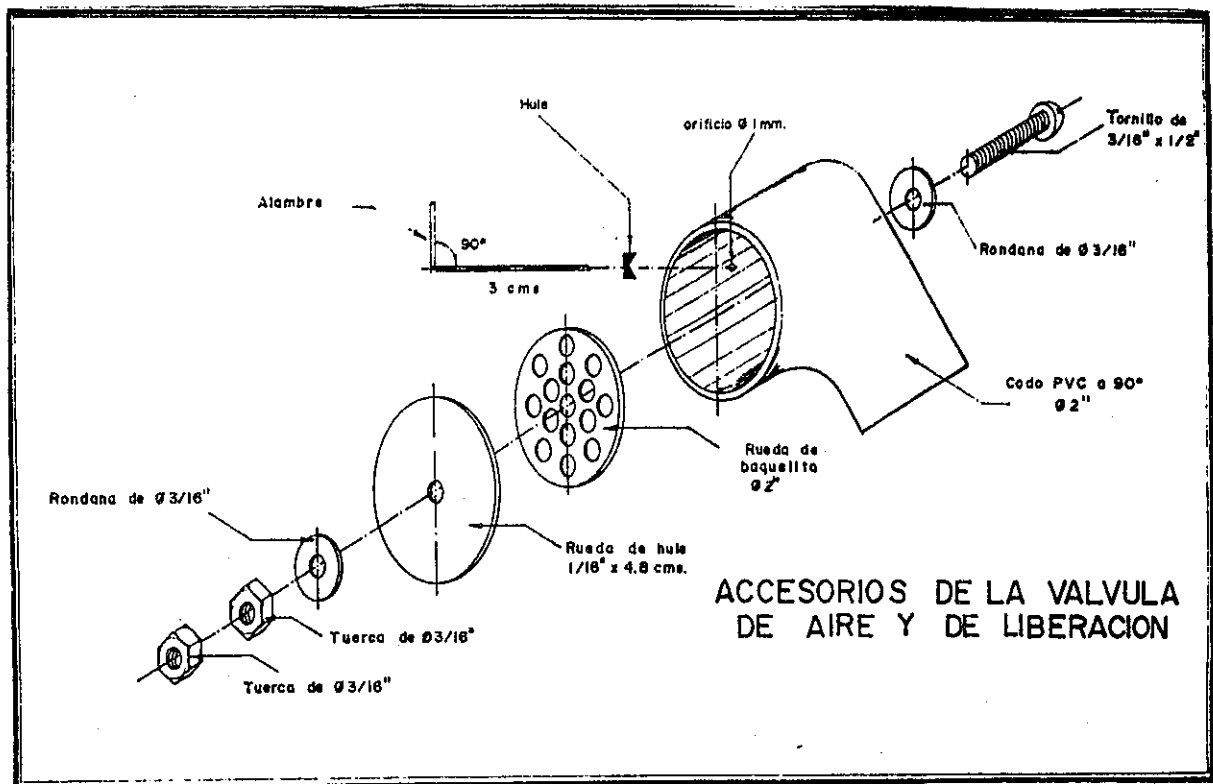


Figura No. 2

3.9 CAMARA DE AIRE:

La cámara de aire se construye con el tubo PVC de 2 pulgadas de diámetro y 2.00 metros de largo.

Primeramente se corta el tubo a 50 centímetros de largo, y en uno de los extremos se acopla un tapón hembra de 2", el otro extremo va acoplado a la tee de 2" de diámetro.

La cámara de aire es el compartimiento en el cual el agua que ha entrado comprime una masa de aire que se encuentra allí, aminorando el efecto destructivo del golpe de ariete por fatiga del material y acelerando a presión una cantidad de líquido que permite regular el caudal cuando no esté pasando agua de la caja de válvulas.

Si la cámara de aire en el ariete se llena de agua, como ocurre algunas veces, el ariete puede parar de funcionar; en el caso que el ariete siga funcionando, la falta de aire en la cámara causaría mucha vibración en la tubería ubicada entre el ariete y el objetivo de descarga.

Esta vibración podría eventualmente quebrar la tubería de PVC, no así si ésta fuera de hierro galvanizado.

Es de interés explicar cómo la cámara podría llenarse de agua; la cámara de aire debe estar constantemente abastecida con pequeñas cantidades de aire que reemplacen al que se disuelve en el agua; el aire tiene una tendencia a mezclarse poco a poco con el agua y así, salirse junto con ésta, a través de la tubería de descarga.

3.10 TUBERIA DE SALIDA:

La tubería de salida se construye inicialmente con un reductor bushing de 2" por 3/4", que va acoplado al ariete, seguidamente en orden sucesivo los siguientes accesorios, todos de 3/4" de diámetro: un niple PVC de 10 centímetros de largo, un adaptador macho PVC, una válvula plástica de bola, un segundo adaptador macho, un niple PVC de 10 centímetros de largo, un codo a 90 grados PVC y finalmente la tubería de descarga necesaria, toda de PVC de 3/4" de diámetro.

TUBERIA DE SALIDA



Foto No. 7

3.11 SOPORTE DEL ARIETE:

El soporte del ariete está constituido por 2 abrazaderas de aluminio, de 2 pulgadas de diámetro, acopladas al ariete, y éstas en seguida acopladas a la tabla de madera, de 2.5 centímetros de grueso, por 30 centímetros de ancho y 60 centímetros de largo; las abrazaderas deberán fijarse a la tabla por medio de tornillos de 5/8" de diámetro y 3 centímetros de largo, con sus rondanas y tuercas respectivas. Debe procurarse dar la mejor sujeción al ariete para evitar cualquier quiebre del mismo debido al golpe que en él se genere.

SOPORTE DEL ARIETE

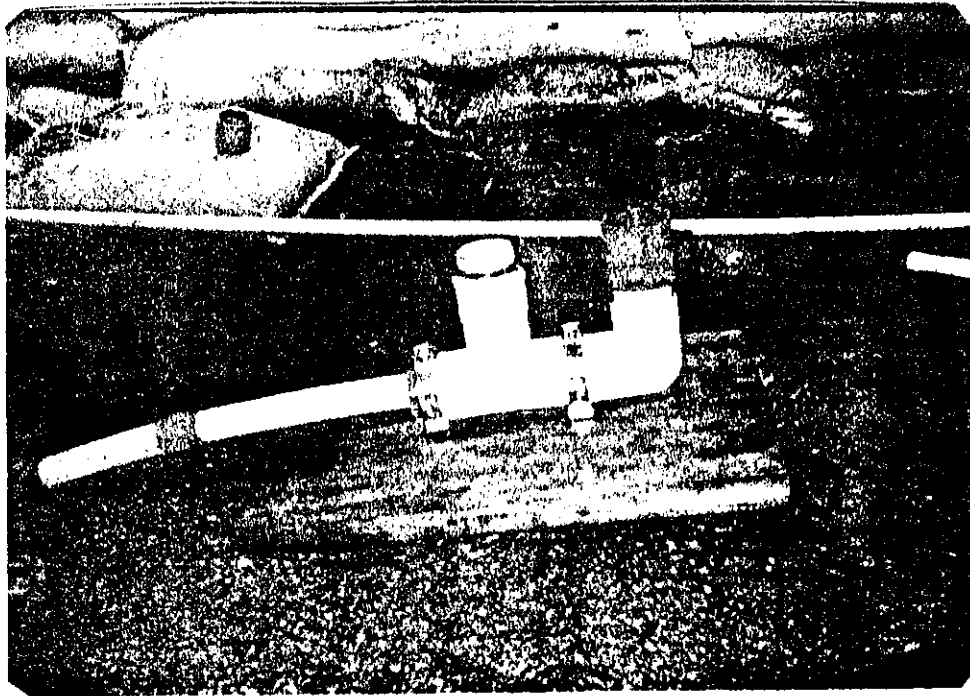


Foto No. 8

3.12 PASOS PARA LA FABRICACION DE ALGUNAS PARTES DEL MODELO EN FORMA RESUMIDA

Se detallará la construcción de cada una de las partes en el siguiente orden:

VALVULA DE BOLA:

Esta pieza se consigue en el comercio local y no necesita ser construída.

VALVULA DE IMPULSO:

Paso No. 1:

Cortar la lámina de baquelita de 1/4" a una sección de 10 por 10 centímetros por lado.

Paso No.2:

Cortar la lámina de acero de 1/8" a una seccion de 10 por 10 centímetros por lado.

Paso No. 3:

Unir ambas láminas con 4 tornillos de 1/4" de diámetro por 2.5 centímetros de largo.

Paso No. 4:

Perforar en las láminas unidas un círculo de 3 centímetros de diámetro, en el centro de las mismas.

Paso No.5:

El marco de acero se hace de 1/8" de grueso por 10 centímetros de ancho y 10 centímetros de largo y en el centro del mismo se perfora una agujero de 5/16" de diámetro.

Paso No. 6:

Unir el marco a las láminas.

Paso No. 7:

Al conjunto acoplarle, por el lado de la lámina de baquelita, un pedazo de niple PVC de 2" de diámetro y 8 centímetros de largo.

Paso No. 8:

Al niple se le acopla un adaptador macho PVC de 2" de diámetro.

EMBOLO:**Paso No. 1:**

Cortar empaque de hule de 1/4" de grueso a un diámetro de 4 centímetros, y en el centro perforarle un agujero de 5/16".

Paso No. 2:

Utilizar el tornillo de 5/16" de diámetro y 45 centímetros de largo acoplándole en el siguiente orden: 2 tuercas, 1 rondana, el empaque de hule ya cortado y perforado, 1 rondana y finalmente una tuerca.

Paso No. 3:

Formado el émbolo, indicado en el paso anterior, colocarlo en la válvula de impulso, procurando pasar el tornillo por el agujero de 5/16", que se encuentra en el centro del marco.

VALVULA DE LIBERACION:**Paso No. 1:**

Cortar lámina plástica de 3/16" de grueso a un diámetro de 2" y perforarle agujeros de 3/16" de diámetro.

Paso No. 2

Cortar pedazo de hule de 1/16" de grueso a un diámetro de 4.8 centímetros.

Paso No. 3:

Unir ambos círculos elaborados por medio de un tornillo de 3/16" x 1/2" con sus tuercas y rondanas respectivas.

Paso No. 4:

Soldar todo el conjunto por la parte del círculo de la lámina plástica a uno de los extremos del tubo de 2" que servirá como cámara de aire.

VALVULA DE AIRE:**Paso No. 1:**

Cortar un pedazo de alambre de amarre de 3 centímetros de largo, en un extremo colocarle un pedazo de hule pequeño.

Paso No. 2:

Doblar el otro extremo del alambre en ángulo recto.

CAMARA DE AIRE**Paso No. 1:**

Cortar un tubo de 2" de diámetro a 50 centímetros de largo.

Paso No. 2:

En un extremo del tubo pegar un tapón hembra del mismo diámetro.

Paso No. 3:

Al otro extremo pegarle la tee de 2" de diámetro, que va unida a la válvula de impulso y a la línea de descarga.

CAPITULO IV

DESARROLLO, OPERACION Y PRUEBAS EFECTUADAS AL MODELO

4.1 FABRICACION DEL MODELO:

Una vez elaborados todos los componentes por separado de las partes del ariete se procede a acoplarlos para formar el modelo en experimentación; según los siguientes pasos:

Paso No. 1:

La válvula de impulso va acoplada a la tee horizontal de 2" de diámetro que se encuentra a la la entrada de la tubería de agua.

Paso No. 2:

Seguido de la misma tee se acopla un codo de 90 grados y 2" de diámetro en forma vertical y hacia arriba.

Paso No. 3:

En la parte superior del codo se coloca la válvula de liberación y de aire, pero entre ambas deberá colocarse una tee de 2" de diámetro, a la que van unidas la cámara de aire

y la tubería de salida.

Para poder realizar cualquier inspección en alguna de las partes del ariete, se han acoplado adaptadores macho y hembra en las tee instaladas, todos de 2" de diámetro.

A todas las roscas deberá colocarse cinta de teflón para evitar fugas.

Paso No. 4:

Una vez armado el modelo se le sujeta por medio de las abrazaderas de aluminio de 2" de diámetro a la tabla, según se observa en la foto.

MODELO CONSTRUIDO



Foto No. 9

4.2 FUNCIONAMIENTO DEL ARIETE HIDRAULICO:

Para poner en funcionamiento el ariete se debe tener cerrada de momento la válvula de bola de descarga de 3/4" de diámetro y se abre la válvula de bola de 1" de diámetro en la línea de impulsión (tubería de entrada), se sostiene abierta la válvula de impulso, es decir abajo, por unos cuantos segundos y, luego, se suelta para que cierre de un sólo golpe con la fuerza que ejerce el agua sobre ella, quedándose en funcionamiento constante, de no suceder tal operación, deberá repetirse la misma dos o tres veces más.

Cuando el ariete ha dado de 10 a 15 pulsaciones se procede a abrir la válvula en la línea de descarga.

4.3 CIRCUNSTANCIAS PARA LA REALIZACION DE LAS PRUEBAS:

Primeramente se deben contar con las condiciones adecuadas topográficas e hidráulicas ya descritas anteriormente.

Como el agua que se utilizó para la experimentación es de la planta de tratamiento de agua de EMPAGUA "Las Ilusiones", ubicada en la zona 18 de esta capital y estando ésta libre de material grueso en suspensión no presentó ninguna anomalía que afectara el funcionamiento del ariete en estudio.

4.4 CAUDAL DISPONIBLE:

En "Las Ilusiones" se contó con el caudal suficiente y necesario para la realización de las pruebas, y en general

debe de recordarse que en cualquier otro lugar donde se instale un ariete, el caudal debe ser suficiente, sobre todo en época de verano, puesto que estas máquinas necesitan mucho de éste para su funcionamiento.

Para efectuar las pruebas se utilizó un tonel de 204.39 litros (54 galones) como depósito de abastecimiento, y al hacer el aforo por el método volumétrico en la línea de conducción este fué de 1.16 litros por segundo con la válvula de bola de 1" completamente abierta.

4.5 ELEVACION:

Se utilizaron dos alturas de carga de 1.50 y 2.30 metros, entendiéndose por altura de carga la altura vertical comprendida entre el depósito de abastecimiento y el nivel de referencia en el cuerpo del ariete.

Y como altura máxima de descarga 8.00 y 12.00 metros respectivamente. Se entiende por altura de descarga la altura vertical comprendida entre el nivel de referencia del cuerpo del ariete y la descarga.

4.6 CAUDAL DE DESCARGA:

Se obtuvieron varios valores de descarga, éstos fueron variables debido a algunas circunstancias entre las que se pueden mencionar:

- cuanto más lento es el ariete en sus pulsaciones más agua hay en la descarga.

- cuanto más se acerca la altura de descarga a la altura de carga el caudal también se incrementa.

4.7 PERDIDAS POR ACCESORIOS:

Para calcular la pérdida por accesorios de todo el sistema completo se siguieron los siguientes pasos básicos:

Paso No. 1:

Cálculo de pérdida de carga expresada en metros de la tubería de conducción al ariete.

Paso No. 2:

Cálculo de pérdida de carga expresada en metros de los accesorios elementales que conforman el cuerpo del ariete.

Se hizo uso de tablas que expresan las pérdidas por fricción en accesorios, convertidas a metros en tubería de PVC.

Paso No. 3:

Cálculo de pérdida de carga expresada en metros de las diferentes longitudes de la tubería de descarga.

Las fórmulas que se utilizaron para los cálculos descritos anteriormente fueron las relaciones de Hazen-Williams:

$$a) K = 1743811 / C^{1.852} \times D^{4.87}$$

$$b) H_f = K \times L \times Q^{1.852} / 1000$$

donde:

K = Constante numérica.

C = Coeficiente de rugosidad, (C=140), para el PVC

D = Diámetro de la tubería en pulgadas.

H_f = Pérdida de carga en metros.

L = Longitud de la tubería en metros.

Q = Caudal en litros por segundo.

Sin profundizar en detalles numéricos se presenta el siguiente cuadro-resumen de valores promedio de pérdidas de carga basados en las pruebas de campo efectuadas:

H_a	H_d	Q_2	H_{f1}	H_{f2}	H_{f3}	H_{f4}
1.50	4.00	0.310	0.31	15.63	0.34	16.28
1.50	6.00	0.186	0.31	15.63	0.20	16.14
1.50	8.00	0.093	0.31	15.63	0.07	16.01
2.30	6.00	0.310	0.31	15.63	0.51	16.45
2.30	9.00	0.192	0.31	15.63	0.32	16.26
2.30	12.00	0.812	0.31	15.63	0.09	16.03

Las literales en la parte superior del cuadro expresan:

H_a = Altura de carga o conducción al ariete, en metros.

H_d = Altura de descarga, en metros.

Q_2 = Caudal de descarga, en litros por segundo.

H_{f1} = Pérdida de carga en la línea de conducción, en metros,

H_{f2} = Pérdida de carga en el cuerpo del ariete, en metros.

H_{f3} = Pérdida de carga en la línea de descarga, en metros.

H_{f4} = Sumatoria de las pérdidas de carga.

CAPITULO V

COSTO DEL ARIETE EN PVC

5.1 COSTO DE FABRICACION:

Se presenta a continuación un listado de todas las partes y elementos de PVC, así también, otros accesorios como: hierro, tornillos, rondanas, tuercas, láminas de baquelita, etc; utilizados para la fabricación del modelo, todos con su correspondiente precio unitario.

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Lámina baquelita de 1/4" x 10 x 10 cms.	U	1	10.00	10.00
Tee PVC Ø2"	U	2	4.00	8.00
Codo a 90 grados 03/4"	U	1	1.25	1.25
Codo a 90 grados 02" PVC	U	1	3.25	3.25
Codo a 45 grados 01" PVC	U	1	2.50	2.50
Niple PVC Ø2" x 2.00 m.	U	1	10.00	10.00

Niple PVC Ø1" x 1.00 m.	U	1	6.00	6.00
Niple PVC Ø3/4" x 10 cm.	U	1	0.50	0.50
Llave de bola plástica Ø1"	U	1	35.00	35.00
Llave de bola plástica Ø3/4"	U	1	65.00	65.00
Reductor Ø2" a 1" PVC	U	1	4.00	4.00
Reductor Ø2" a 3/4" PVC	U	1	3.25	3.25
Adaptador macho PVC Ø2"	U	2	4.00	4.00
Adaptador macho PVC Ø1"	U	2	3.25	6.50
Adaptador macho PVC Ø3/4"	U	2	3.25	6.50
Adaptador hembra PVC Ø2"	U	2	4.00	4.00
Tapón hembra PVC Ø2"	U	1	3.50	3.50
Hierro hembra de 1/8" x 1" x 16"	U	1	8.00	8.00
Abrazaderas de aluminio Ø2"	U	2	3.25	6.50
Lámina baquelita de 3/16" x 7 cm x 10 cm.	U	1	10.00	10.00
Hule negro de 1/4" x 10 cm x 10 cm.	U	1	6.00	6.00
Hule negro de 1/16" x 10 cm x 10 cm.	U	1	5.00	5.00
Tabla de pino de 1" x 30 cm. x 60 cm.	U	1	25.00	25.00
Fegamento tangit	Pomo	1	12.00	12.00
Tornillos, tuercas y rondanas	Global			25.00

COSTO TOTAL EN MATERIALES**Q. 233.75**

Los precios unitarios anteriores ya incluyen el Impuesto al
al Valor Agregado (IVA).

5.1.1 COSTO DE MANO DE OBRA:

Un operario construye este modelo en 2 días, fijándose un salario de Q. 40.00 por día.

Por lo tanto el costo total del ariete se constituye de la siguiente forma:

Costo total de materiales	Q. 233.75
Costo total de mano de obra	Q. 80.00
Costo parcial	Q. 313.75
Imprevistos	Q. 31.38
COSTO TOTAL	Q. 345.13

5.2 COSTO DE INSTALACION:

El costo de instalación estará constituido por la renumeración económica que se le da a los trabajadores que hagan la instalación, y está sujeto a las horas de trabajo empleadas y a los salarios por hora que prevalezcan en el lugar.

5.3 COSTO DE OPERACION:

Este costo está ligado (inherente) al funcionamiento del equipo, y está constituido por el costo de los insumos, de los materiales de reparación y los salarios de operación y reparación y finalmente por el costo de depreciación.

5.4 COSTO DE DEPRECIACION:

La depreciación no es otra cosa que la pérdida de valor debido al uso y a la edad. El costo anual de depreciación dependerá de los años de vida útil que se le asignen; y en el caso del ariete se puede asumir una depreciación anual constante, debido a las variaciones de producción que una máquina sufre en el tiempo, la producción que originará el ariete será casi la misma a través de su vida útil.

5.5 COSTO DE PRODUCCION:

Este costo lo constituyen el costo de fabricación, el costo de instalación y el costo de operación.

5.6 COMPARACION CON OTROS TIPOS DE ARIETES:

Este tipo de ariete es sumamente liviano debido al poco peso de sus partes de PVC, en contraposición al peso y tamaño de los contruídos de hierro galvanizado y otros metales.

Es fácil de instalar y manipular y no necesita soporte estructural pesado, es fácilmente maniobrable y requiere menos personal para su instalación, lo que lo hace reducir substancialmente los costos.

Debido a que el PVC ofrece alta resistencia a la corrosión, elimina la necesidad de mantenimiento y le da larga vida.

El costo de un ariete en PVC es sumamente bajo y el 90% de sus partes pueden ser obtenidas en ferreterías.

En PVC, los valores de los esfuerzos a impacto, corte, flexión son más bajos; la fatiga de los materiales también.

CAPITULO VI

ANALISIS DE RESULTADOS

6.1 RESULTADOS Y EFICIENCIAS:

En la planta de tratamiento de agua "Las Ilusiones", zona 18 de esta capital, se efectuaron varias pruebas de campo al ariete, a continuación se presentan los resultados obtenidos y el significado de las literales que encabezan cada uno de los cuadros:

Ha = Altura de carga o conducción al ariete, en metros.

Hd = Altura de descarga, en metros.

Q1 = Caudal de conducción al ariete, en litros por segundo.

Q2 = Caudal de descarga, en litros por segundo.

Pulsos = Pulsaciones por minuto.

Presión = Presión manométrica en la cámara de aire, en libras por pulgada cuadrada.

6.1.1 PRUEBAS EFECTUADAS:

Las tres primeras pruebas representan a un grupo cuya altura de carga o conducción al ariete (Ha), es de 1.50 metros y las tres pruebas restantes representan a un grupo cuya altura de carga o conducción al ariete (Ha), es de 2.30 metros.

Prueba No.1:

	Ha	Hd	Q1	Q2	Pulsos	Presión
a)	1.50	4.00	1.16	0.31	93	8.00
b)	1.50	4.00	1.16	0.32	93	8.15
c)	1.50	4.00	1.16	0.31	94	8.00

Prueba No. 2:

	Ha	Hd	Q1	Q2	Pulsos	Presión
a)	1.50	6.00	1.16	0.184	82	15.00
b)	1.50	6.00	1.16	0.186	82	15.00
c)	1.50	6.00	1.16	0.188	83	15.00

Prueba No. 3:

	Ha	Hd	Q1	Q2	Pulsos	Presión
a)	1.50	8.00	1.16	0.090	76	19.00
b)	1.50	8.00	1.16	0.093	75	19.00
c)	1.50	8.00	1.16	0.096	75	19.00

Prueba No. 4:

	Ha	Hd	Q1	Q2	Pulsos	Presión
a)	2.30	6.00	1.16	0.310	96	11.00
b)	2.30	6.00	1.16	0.300	97	11.00
c)	2.30	6.00	1.16	0.320	96	11.00

Prueba No. 5:

	Ha	Hd	Q1	Q2	Pulsos	Presión
a)	2.30	9.00	1.16	0.190	79	17.00
b)	2.30	9.00	1.16	0.192	80	17.00
c)	2.30	9.00	1.16	0.194	80	17.00

Prueba No. 6:

	Ha	Hd	Q1	Q2	Pulsos	Presión
a)	2.30	12.00	1.16	0.0812	70	20.00
b)	2.30	12.00	1.16	0.0811	70	20.00
c)	2.30	12.00	1.16	0.0812	70	20.00

Un promedio aritmético de cada una de las pruebas anteriores se presentan en los siguientes cuadros:

CUADRO No. 1

	Ha	Hd	Q1	Q2	Pulsos	Presión
a)	1.50	4.00	1.16	0.31	93	8.00
b)	1.50	6.00	1.16	0.186	82	15.00
c)	1.50	8.00	1.16	0.093	75	19.00

CUADRO No. 2:

	Ha	Hd	Q1	Q2	Pulsos	Presión
a)	2.30	6.00	1.16	0.310	96	11.00
b)	2.30	9.00	1.16	0.192	80	17.00
c)	2.30	12.00	1.16	0.0812	70	20.00

Esencialmente existen dos formas de calcular la eficiencia de un ariete, siendo estas la de RANKINE y la de D'AUBUISSON.

6.2 EFICIENCIA DE RANKINE:

La eficiencia de Rankine toma como base de comparación el plano que forma la superficie del agua en el depósito de abastecimiento.

Se considera como energía que se suministra, la del agua que se desperdicia por la válvula de impulso en el momento que ésta se cierra; y se considera como energía aprovechada, la generada por la carga H a la cual el agua es elevada sobre el plano de comparación.

H debe incluir la pérdida por fricción en la tubería de descarga, y está definida como $(H_d - H_a)$.

El caudal de desperdicio en la válvula de impulso se puede definir como Q_3 y está definido como $(Q_1 - Q_2)$.

Se establece de esta manera la siguiente relación para la eficiencia de Rankine como:

$$E_r = (Q_2 \times H) / (Q_3 \times H_a)$$

$$E_r = ((Q_2 \times (H_d - H_a)) / (Q_3 \times H_a))$$

6.3 EFICIENCIA DE D'AUBUISSON:

Para obtener la eficiencia de D'aubuissou se toma como plano de comparación el que pasa por la válvula de impulso.

La energía recibida por el ariete es la que está totalmente pasando abajo de la tubería de impulso, es decir, la suma del caudal de descarga más el caudal de desperdicio.

Este valor de caudal se define como Q3 y cuyo valor se obtiene de (Q1 - Q2), la fórmula para la eficiencia de D'aubuissou se escribe así:

$$E_a = (Q_2 \times H_d) / H_a \times (Q_2 + Q_3)$$

6.4 RESULTADOS OBTENIDOS:

A continuación se presentan en los cuadros No. 4 y No. 5 los resultados obtenidos de las eficiencias para cada una de las pruebas promedio de los cuadros No.1 y No. 2.

CUADRO No. 4

	Ha	Hd	Q3	E. RANKINE	E. D'AUBUISSON
a)	1.50	4.00	0.85	60.78%	71.26%
b)	1.50	6.00	0.974	57.28%	64.14%
c)	1.50	8.00	1.067	37.77%	42.76%

CUADRO No. 5

	Ha	Hd	Q3	E. RANKINE	E. D'AUBUISSON
a)	2.30	6.00	0.850	58.67%	69.72%
b)	2.30	9.00	0.968	57.78%	64.76%
c)	2.30	12.00	1.078	31.77%	36.52%

Los valores de Q3 se expresan en litros por segundo y el valor de las eficiencias en porcentaje.

6.5 MAXIMA EFICIENCIA:

La eficiencia Rankine de este ariete varía en 31.77% y 60.78% y por D'aubuisson en 36.52% y 71.26%, de acuerdo con la relación de altura de descarga (Hd) sobre la altura de carga al ariete (Ha), decreciendo con el aumento de Hd/Ha.

6.5.1 COMPARACION DE EFICIENCIAS CON OTROS ARIETES:

La comparación de este modelo con otros se presenta en el siguiente cuadro:

Parámetros	Arietes No.				
	1	2	3	4	5
Máxima relación Hd/Ha	5.22	2.37	9.73	12.00	6.00
Ef. de Rankinen en %	31.77	30.56	24.90	----	----
Ef. de D'aubuisson en %	36.52	49.21	27.30	----	----
Caudal de descarga en litros por segundo	0.08	0.05	0.02	0.008	0.017
Caudal de desperdicio en litros por segundo	1.07	0.19	0.81	0.32	0.42
Tubería de impulsión diámetro en pulgadas	1 ¹ / ₂	1	1 ¹ / ₂	1 ¹ / ₂	1 ¹ / ₄
Tubería de descarga diámetro en pulgadas	3/4	3/4	3/8	3/4	3/4
Altura de abastecimiento en metros	2.30	7.06	3.62	1.00	1.00
Altura de descarga en metros	12.00	16.77	35.21	12.00	12.00

donde los numerales representan:

1. Ariete hidráulico en PVC, tema de esta tesis.
2. "Análisis y construcción de un ariete hidráulico de tubería y accesorios de hierro galvanizado" por el ingeniero Víctor Rosales Gómez, Facultad de Ingeniería, USAC, septiembre de 1993.
3. "Investigación de un ariete hidráulico construido con accesorios de tubería de hierro galvanizado" por el ingeniero César Terencio Lacayo Vásquez, Facultad de Ingeniería, USAC, abril de 1973.
4. Ariete de fabricación brasileña de la compañía Linderwood Industrial. "Catálogo Técnico", Brazil, 1979.
5. Ariete de fabricación inglesa marca Goulds; "Máquinas Hidráulicas" 3a. Edición, México D.F. Editorial Magazine S. de R.L. 1961, página 191.

CONCLUSIONES

1. El ariete construido, dentro del rango de pruebas efectuadas, fué más eficiente cuando elevó un caudal de 0.31 l/s a una altura de descarga de 4 metros y 6 metros, con una altura de carga o conducción al ariete de 1.50 metros y 2.30 metros respectivamente; con eficiencias de un 60.78 % y 58.67 %.
2. En la prueba efectuada, donde la relación de H_d/H_a fué máxima se obtuvieron los valores de eficiencias más bajas del ariete de 31.77 % y 36.52 %, enmarcándose de esta manera con la premisa ya establecida de que con el incremento de la relación de H_d/H_a decrece la eficiencia del ariete.
3. En los valores de eficiencia calculados en los cuadros No. 4 y No. 5 se observa que la eficiencia de D'aubuisson fué siempre mayor que la eficiencia de Rankine, esto es porque la primera constituye la eficiencia del aparato como máquina y la segunda da la eficiencia hidráulica del mismo.
4. El comportamiento estructural del ariete fué aceptable, dado que no presentó dificultades en la construcción, instalación y posterior funcionamiento para las pruebas; no requiriendo de manipuleo de herramienta complicada para hacerlo trabajar.

5. Al igual que otros tipos de arietes ya contruidos, éste también está sujeto a enorme pérdidas de caudal en la válvula de impulso, siendo éstas del orden de 26.75 % a 73.00% del caudal de carga o conducción al ariete, dependiendo de la relación ya establecida de H_d/H_a
6. La relación de presión en la cámara de aire y eficiencia son directamente proporcionales, siendo la máxima presión alcanzada de 20 libras por pulgada cuadrada.
7. Puesto que la mayoría de elementos que conforman el ariete pueden ser adquiridos en cualquier ferretería, y no se requiere de grandes conocimientos técnicos para su construcción y posterior funcionamiento, se constituye en un elemento útil para el abastecimiento de agua en el área rural del país; y especialmente para dotar del preciado líquido a viviendas aisladas, que por su topografía no obligen al ariete a trabajar a presiones muy elevadas.
8. En la comparación de eficiencias hidráulicas se estableció que:
 - 8.1 Tanto en la eficiencia de Rakine como de D'aubuisson, el ariete del ingeniero Víctor Rosales Gómez fué el más eficiente; en un rango de 30.56% y 49.21% respectivamente.

- 8.2 Como intermedio, el ariete construido de accesorios de PVC en un rango de 31.77% y 36.52%.
- 8.3 Seguido por una eficiencia menor, el ariete construido por el ingeniero César Terencio Lacayo Vásquez en un rango de 24.90% y 27.30%.
- 8.4 Los arietes producidos por la compañía brasileña Linderwood y los de fabricación inglesa marca Goulds no especifican en forma clara los valores y sus rangos de eficiencia, aunque aseguran estar en el orden del 70%; lo cual es posible dada la tecnología utilizada para su fabricación.
9. La alternativa estructural e hidráulica del ariete en PVC, se define como muy interesante y merecedora de estudios profundos para su optimización.

RECOMENDACIONES

1. Cuando se realice la instalación de la tubería de conducción o carga al ariete, ésta debe ser preferentemente de hierro galvanizado, si la misma es de PVC, deberá estar bien sujeta y enterrada, para que la onda del golpe de ariete no se disipe al producirse vibraciones en la tubería.

2. No debe permitirse por ninguna causa que la válvula de aire del ariete se obstruya, ya que esto ocasionaría que la cámara de aire se llene de agua, y al estar en funcionamiento el ariete pueda en un momento pararse o en su defecto hacer que la tubería de descarga sufra vibraciones.

Para evitar tal situación es recomendable colocar a la entrada de la tubería de conducción en el abastecimiento una pichacha o colador.

3. Debe darse una protección adecuada al ariete cuando se le instale en el área rural, para librarlo de agentes externos que puedan causarle daño, como rayos solares, animales y aún del mismo hombre; para ello se recomienda construir una caseta.

En cuanto a la sujeción del aparato debe ser lo más sólida posible, preferentemente de concreto, para evitar vibraciones innecesarias que disipen la onda del golpe de ariete cuando esté en funcionamiento.

4. El ariete como elemento de fácil fabricación, instalación y poco mantenimiento, debe promoverse especialmente para el área rural del país, como paleativo de la problemática sanitaria de Guatemala, tan necesitada entre mucho de disponer de tecnologías adecuadas para el manejo del vital líquido, el agua.
5. Es recomendable utilizar este modelo ya construido como instrumento de enseñanza en las áreas de Mecánica de los Fluidos e Hidráulica de nuestra facultad.
6. Que el Centro de Investigaciones de Ingeniería continúe con los estudios sobre este tipo de dispositivos hidráulicos.
7. Los estudios de seguimiento deben incluir:
 - 7.1 Pruebas a cargas mayores.
 - 7.2 Pruebas a caudales mayores.
 - 7.3 Accesorios de diámetros de 04" y 06".
 - 7.4 Cámara de aire en 04" y 06" con cuerpo del ariete en 02".
 - 7.5 Construcción del marco de la válvula de impulso con accesorios de PVC.
 - 7.6 Canalización del caudal de desperdicio.
 - 7.7 Reducción del caudal de desperdicio.
 - 7.8 Elevación de presión en la cámara de aire.

7.9 Aplicación de válvulas de compuerta.

7.10 Fatiga de materiales.

7.11 Colocación de chimenea de alivio en la tubería de conducción.

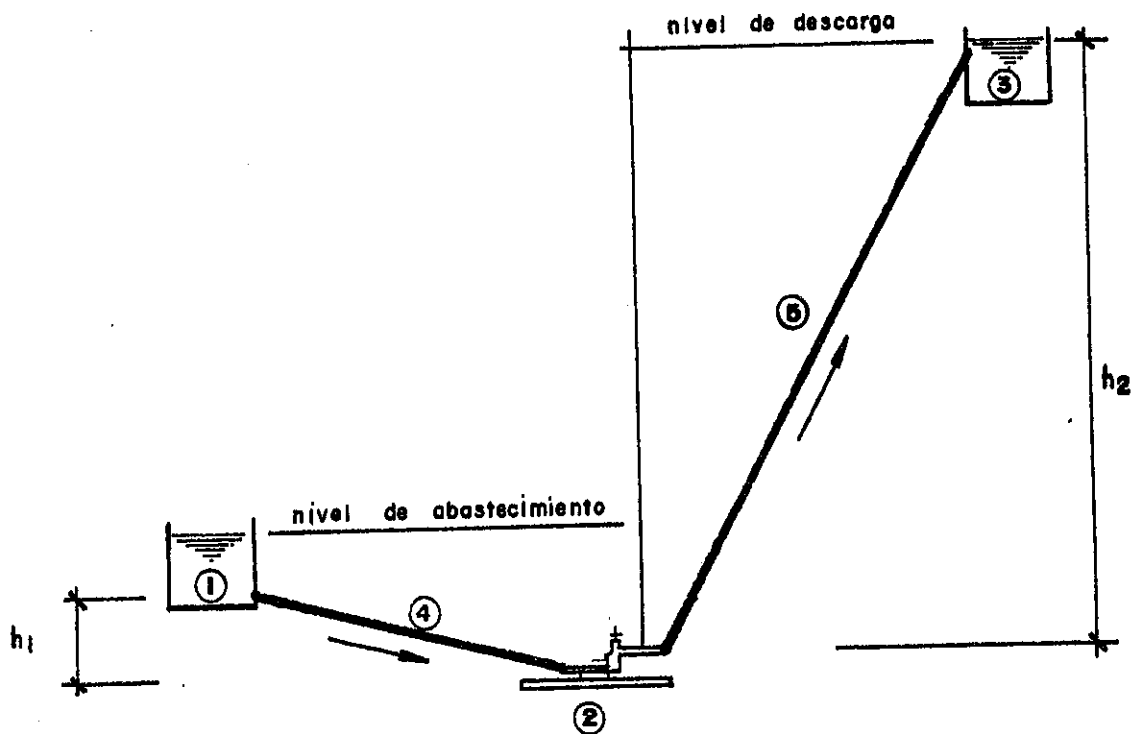
7.12 Variación de alturas de carga de abastecimiento.

BIBLIOGRAFIA

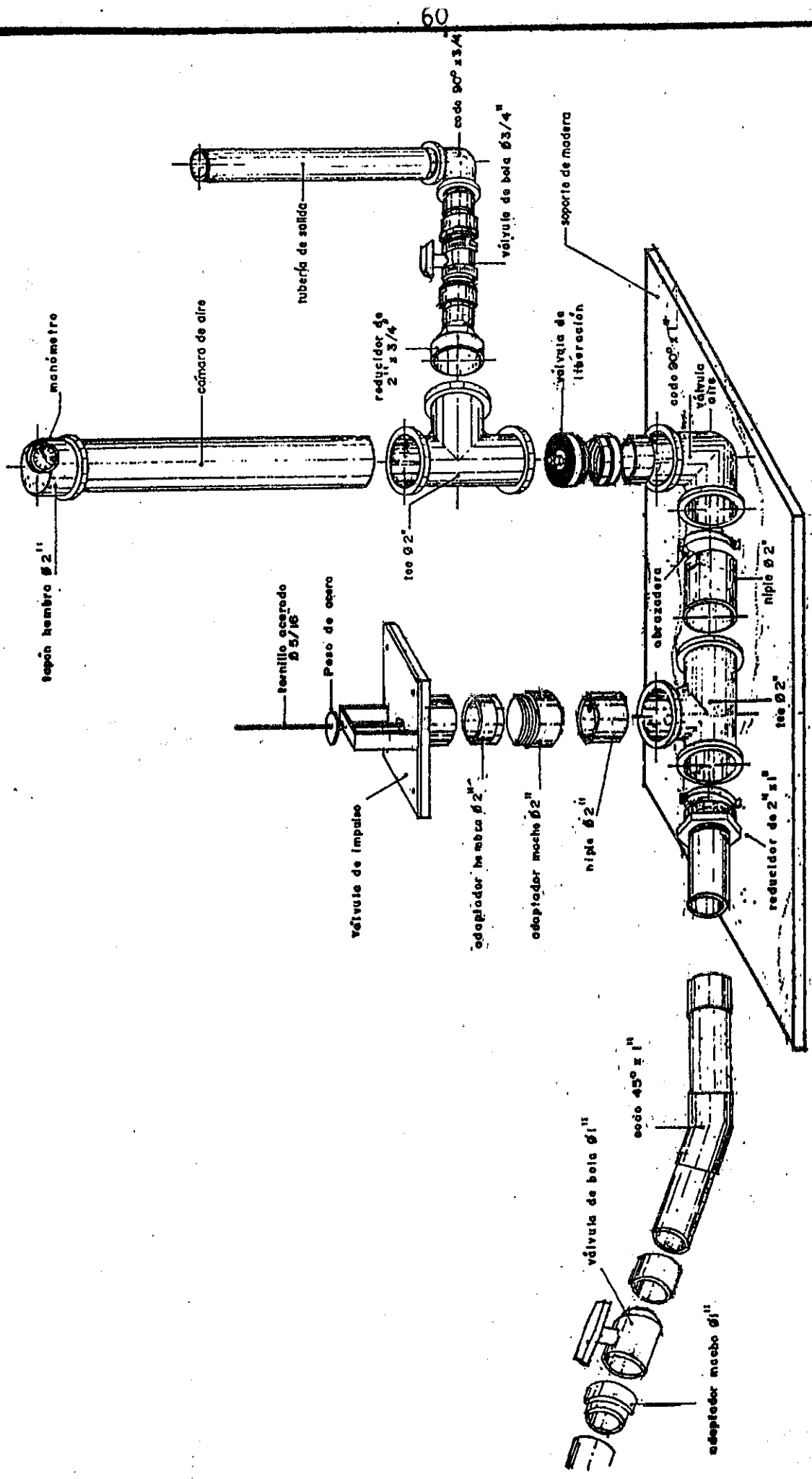
1. DE AZEVEDO NETO, J. M. Manual de Hidráulica.
6a. Edición
México: Editorial Harla,
S.A. de C.V. 1975, 375
páginas.
2. DE PARRÉS, José L. Máquinas Hidráulicas.
3a. Edición
México, D.F.
Editorial Magazine S. de
R.L. 1970, 420 páginas.
3. LACAYO VASQUEZ, César T. Investigación de un ariete
hidráulico, construido con
accesorios de tubería de
hierro galvanizado. Tesis:
Ingeniero Civil, Facultad de
Ingeniería, Universidad de
San Carlos de Guatemala,
Guatemala 1973, 80 páginas.
4. MOLINA MEJIA, Héctor E. Cosideraciones sobre arietes.
Tesis: Ingeniero Civil,
Facultad de Ingeniería,
Universidad de San Carlos de
Guatemala, Guatemala 1967,
80 páginas.
5. ROSALES GOMEZ, V. Análisis y construcción de
un ariete hidráulico de
tubería y accesorios de
hierro galvanizado. Tesis:
Ingeniero Civil, Facultad de
Ingeniería, Universidad de
San Carlos de Guatemala,
Guatemala 1993, 78 páginas.
6. TUBOVINIL, S.A. Catálogo técnico,
consideraciones de diseño
para instalaciones con tube-
ría de F.V.C. Guatemala,
1992, 46 páginas.
7. GILES, Ronald V. Mecánica de los fluidos e
hidráulica. 2a. Edición
México D.F.
Editorial McGraw Hill S.A.
DE C.V.
1987, 273 páginas.

ANEXO A
DIBUJOS PARA LA CONSTRUCCION DEL MODELO

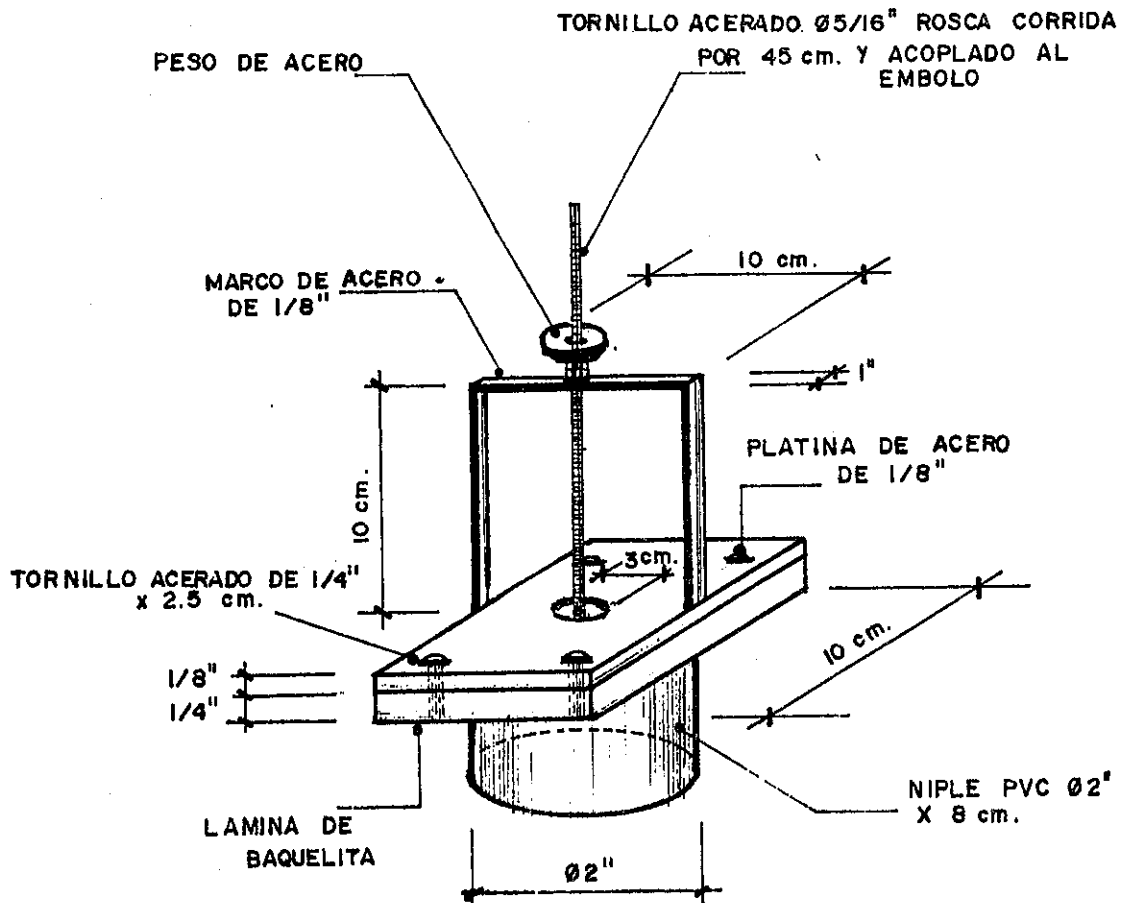
SISTEMA PARA FUNCIONAMIENTO DE UN ARIETE HIDRAULICO



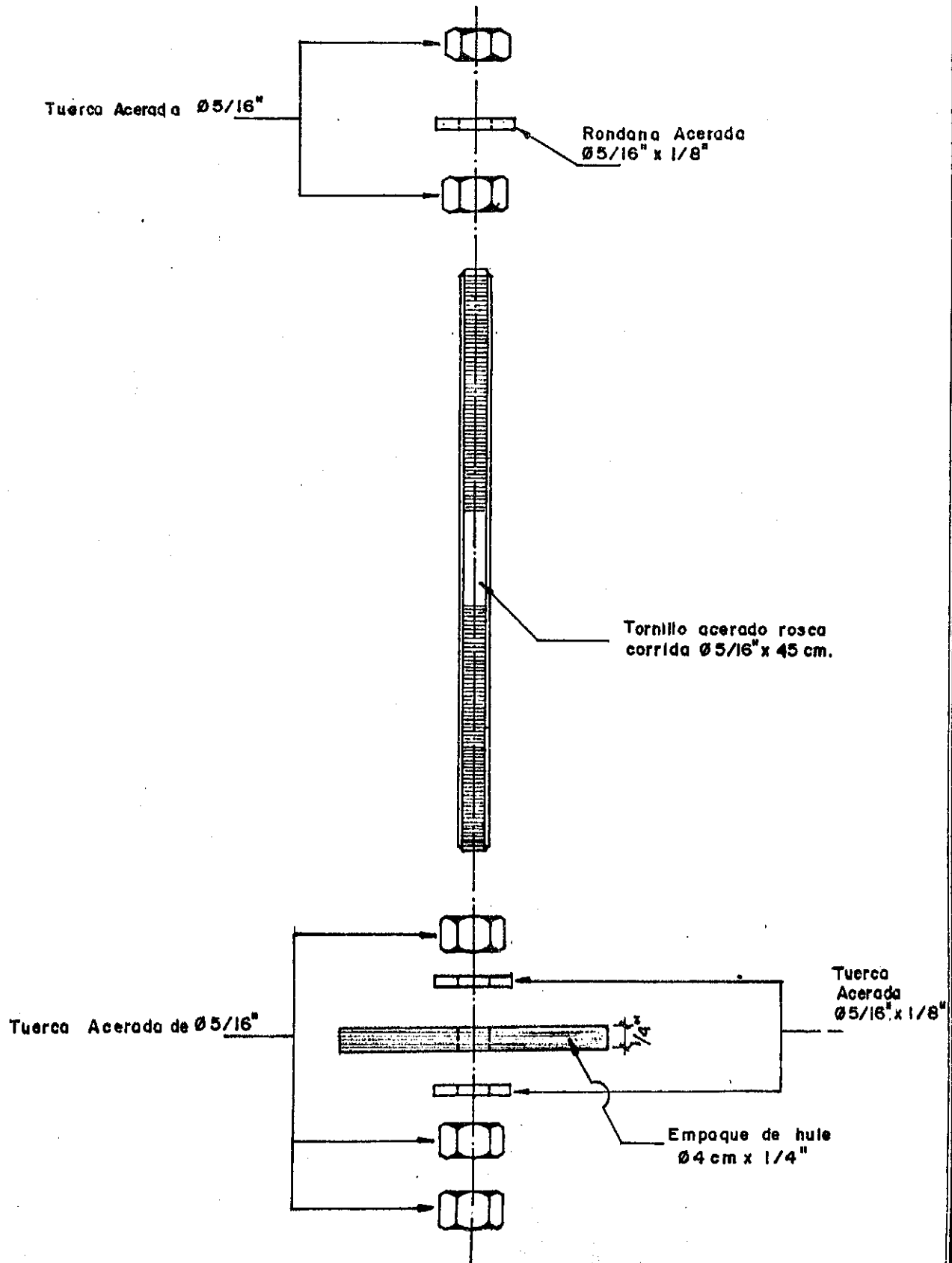
- ① Abastecimiento
- ② Ariete hidráulico
- ③ Almacenamiento
- ④ Línea de conducción (carga)
- ⑤ Línea de descarga
- h_1 Altura de carga
- h_2 Altura de descarga



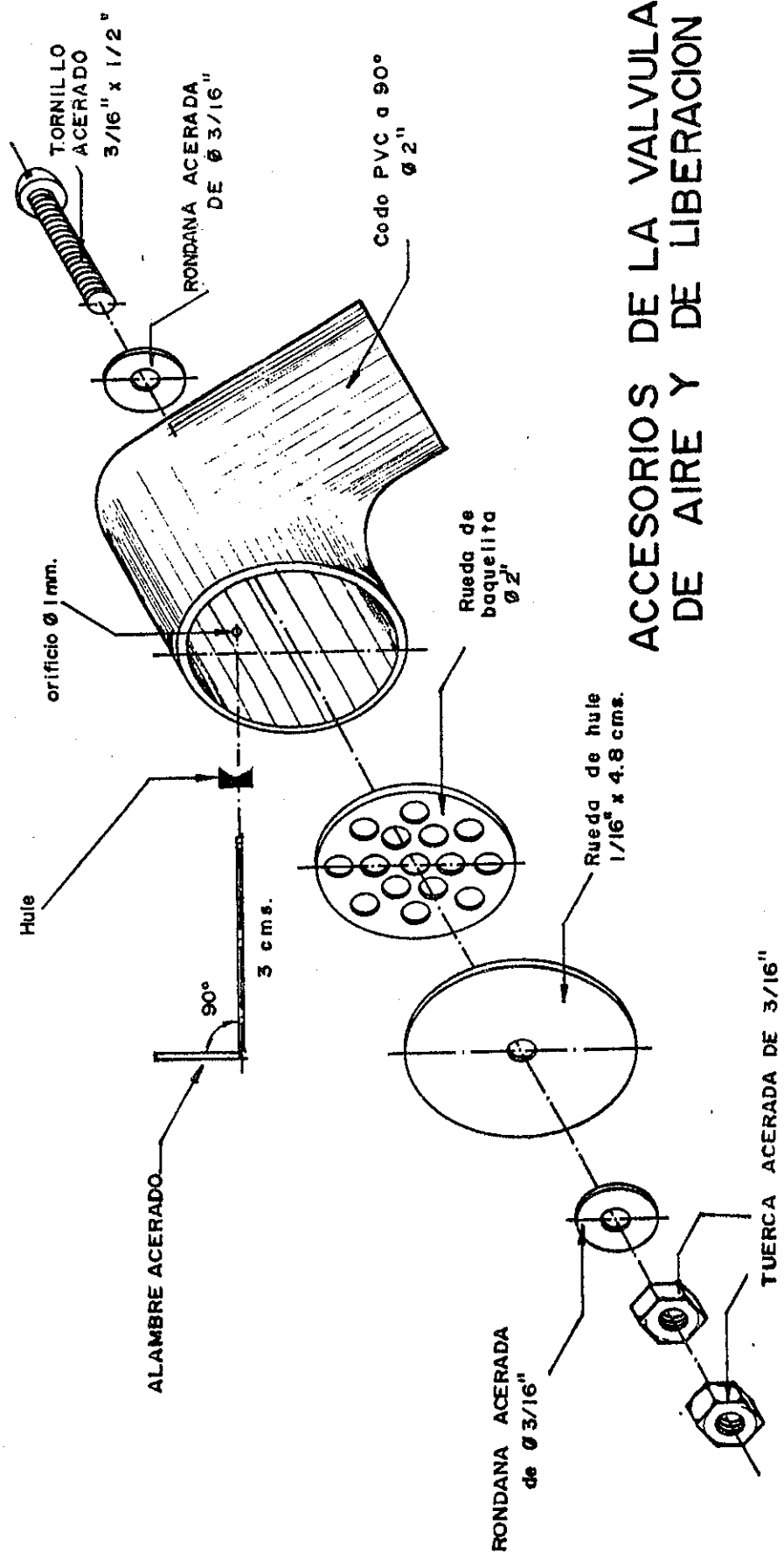
MODELO EXPLOTADO
SIN ESCALA



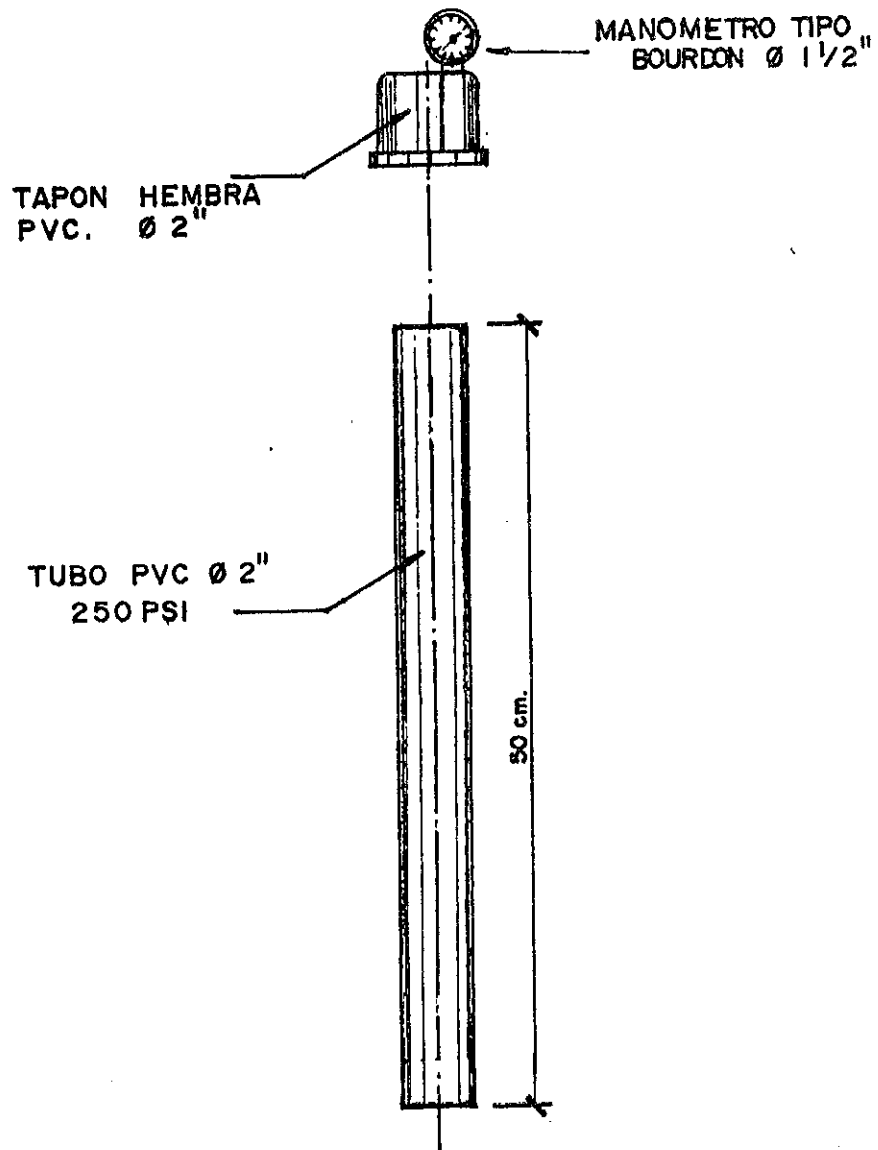
ELEMENTOS DE LA VALVULA DE IMPULSO



ACCESORIOS DEL ÉMBOLO



ACCESORIOS DE LA VALVULA DE AIRE Y DE LIBERACION



CAMARA DE AIRE

ANEXO B

**SECUENCIA FOTOGRAFICA DE LA REALIZACION DE UNA PRUEBA
AL MODELO CONSTRUIDO**



INSTALACION DEL ARIETE

Se aprecia al fondo, el depósito de abastecimiento, un tonel de 54 galones, colocado a una altura de 2.30 metros sobre el nivel de plano de referencia del ariete; a continuación la línea de conducción o impulso, formada por tubería PVC de pulgada y media de diámetro y 9 metros de largo; encima de la tubería costales de arena para garantizar rigidez de la misma; todo el conjunto colocado sobre una rampa de concreto. Seguidamente se aprecia el ariete en funcionamiento; y en la parte inferior izquierda de la fotografía parte de la línea de descarga formada por tubería PVC de 3/4" de diámetro. (1p)



ARIETE HIDRAULICO EN FUNCIONAMIENTO

Se observa el ariete en pleno funcionamiento, así también parte del caudal de desperdicio que cae al cuerpo del mismo; la línea de descarga apoyada sobre una escalera de madera.

Presentes en la prueba realizada el sustentante de tesis, acompañado del ingeniero asesor Oscar Flores Sandoval. (1p)



LÍNEA DE DESCARGA

Parte de la línea de descarga formada por tubería PVC de 3/4" de diámetro, colocada la descarga a una altura de 11 metros sobre el nivel del cuerpo del ariete. (1p)



AFORO EN LA LINEA DE DESCARGA

En la fotografía se aprecia el aforo volumétrico realizado en la prueba, para determinar el caudal que elevó el ariete en la línea de descarga. (1p)