

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA COMPACTA DE
ARIETE HIDRÁULICO PARA COMUNIDADES AISLADAS**

PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

POR LOS BACHILLERES:

ALEJANDRO CLEMENTE G
ALFREDO L GRANÉS R

PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO MECÁNICO

Caracas 2001

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA COMPACTA DE
ARIETE HIDRÁULICO PARA COMUNIDADES AISLADAS**

PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

POR LOS BACHILLERES:

Alejandro Clemente G
Alfredo L Granés R

PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO MECÁNICO

TUTOR ACADÉMICO
Ing. Rodolfo Berrios

Caracas 2001

Agradecimientos Generales:

Por el apoyo brindado para la realización de éste trabajo queremos agradecer a:

Sra. Maria, Sra. Otilia.

Prof. Rodolfo Berrios.

Prof. Maria Auxiliadora Hernández, Prof. Jesús Álvarez Pérez, Miembros del comité directivo del Convenio ITACAB-CDCH.

Klaus Muller, José Manuel Briceño, fundación Vuelta Larga, La Negra, Tomás, comunidades de La Pica, San Agustín y Cangrejera.

Alexander Fernandes, Alejandro Rosal, Rafael Rosal.

A la Universidad Central de Venezuela.

Alejandro Clemente.

Agradecimientos.

A Dios, Todopoderoso por otorgarme la vida...

A mi madre, que ha dado toda su vida a cambio de mi felicidad, conocimiento y protección...

A mi hermana, por su entrega y apoyo incondicional desde niño en los estudios y en mi vida...

A mi tía, por su constante e invaluable ayuda y fe en mi integridad...

A mis amigos: Kamal, Miguel, Leonardo, David, Arsenio, Alejandro, Alexander, Gabriela, Rafael, Alfredo, Ismael, por su compañía oportuna...

A Marilyn por su valioso amor éste último año...

En fin, a todos aquellos que de verdad extendieron su mano incondicionalmente...

Hoy les agradezco su presencia a mi lado y ayudarme a seguir a adelante con todas las cosas que he emprendido en mi vida... Es invaluable lo que han brindado...

Que dios los bendiga a todos...

Alfredo L Granés.

Agradecimientos.

A mi Madre y a mi Padre por todo el apoyo y valor que me han ofrecido durante toda la vida...

A mis hermanos Alejandro, German y Vane...

A mis compañeros y amigos, especialmente a: Rafael, Ismael, Luciano, David, Katy, Luis, Daniel, Ose, Arsenio, Alejandro, Kamal, Fidel, Zuriñe, Gramily.

Por saber compartir los mejores momentos...

A Todos los que me han apoyado y han ayudado de algún modo u otro a llenar éste espacio de experiencias es la vida.....

Celebremos por los buenos tiempos.....

..... Que están llegando.

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA COMPACTA DE ARIETE HIDRÁULICO PARA COMUNIDADES AISLADAS”

*ALEJANDRO CLEMENTE GUEVARA
ALFREDO LUIS GRANÉS RIVERO*

Tutor: Prof. Ing. Rodolfo Berrios T.

Trabajo Especial de Grado.

Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, Octubre 2001, 76 p.

RESUMEN

El siguiente trabajo se desarrolla en dos etapas. En la primera etapa del proyecto se diseñó, se construyó y se sometió a pruebas una Bomba Compacta de Ariete Hidráulico, bajo el concepto de fácil fabricación, fácil obtención de materiales en el mercado nacional, bajo costo, mínimo mantenimiento y rápida instalación, para su utilización en comunidades aisladas.

En la segunda etapa de este trabajo se instaló la Bomba Compacta de Ariete Hidráulico y se evaluaron las condiciones de instalación en el lugar. La comunidad elegida para la instalación es La Pica, ubicada a cuatro kilómetros del pueblo “El Pilar”, estado Sucre-Venezuela. La Pica es una comunidad rural de 7 casas que carecen de servicio de agua. La principal actividad económica de la región es la agricultura. Esta segunda etapa es llevada a cabo con el apoyo financiero del convenio ITACAB-CDCH (Instituto de Tecnologías Apropriadas Convenio Andrés Bello - Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico). La conclusión de ésta etapa contempla además de la instalación de la Bomba Compacta de Ariete Hidráulico el estudio del impacto ambiental y social.

INDICE

Introducción.....	1
Capitulo I	
Definición del Trabajo.	
1.1 Definición del Trabajo.....	3
1.2 Objetivo General.....	3
1.3 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Alcances.....	5
Capitulo II	
Entorno Investigativo.	
2.1 Reseña Histórica.....	5
2.2 Comunidades Aisladas.....	7
2.3 Tecnología Apropriada.....	8
2.4 Desarrollo Sustentable.....	9
Capitulo III	
Fundamentos Teóricos.	
3.1 Definiciones Generales.....	11
3.1.1 Flujo Permanente.....	11
3.1.2 Flujo No Permanente.....	11
3.1.3 Flujo Incompresible.....	11
3.1.4 Flujo Compresible.....	12
3.1.5 Ondas de Choque o de Presión.....	12
3.2 Golpe de Ariete.....	12
3.3 Teoría de la Columna Rígida de Agua.....	12
3.4 Teoría de la Columna Elástica de Agua.....	17
3.5 Golpe de Ariete para cierres de válvula rápidos.....	27
3.6 Gráficas del Golpe de Ariete.....	28
Capitulo IV	
Funcionamiento del Sistema de Bombeo.	
4.1 Descripción de los Elementos de una Bomba de Ariete Hidráulico.....	32

4.1.1 Válvula de Impulso.....	32
4.1.2 Válvula de Retención.....	33
4.1.3 Cámara de Aire.....	33
4.1.4 Cuerpo de la bomba.....	33
4.2 Descripción de los elementos del sistema de Bombeo.....	34
4.2.1 Fuente de Agua.....	34
4.2.2 Tubería de Suministro.....	34
4.2.3 Tubería de Servicio.....	35
4.2.4 Almacenamiento.....	35
4.2.5 Canal de desagüe.....	35
4.3 Funcionamiento de la Bomba de Ariete Hidráulico.....	36

Capítulo V

Diseño y Construcción de la Bomba de Ariete Hidráulico.

5.1 Factores de Diseño.....	37
5.1.1 Materiales y Dispositivos.....	37
5.1.2 Dimensiones.....	38
5.1.3 Equipos de Fabricación.....	38
5.1.4 Condiciones de Trabajo.....	38
5.1.5 Costos.....	39
5.2 Diseño de Componentes.....	39
5.2.1 Válvula de Impulso.....	39
5.2.2 Cámara de Aire.....	41
5.2.3 Válvula de Retención.....	43
5.2.4 Cuerpo de la Bomba.....	44
5.3 Construcción.....	44
5.3.1 Manual de Instrucciones de Ensamblaje.....	44
5.4 Costos.....	50

Capítulo VI

Instalación y Puesta en Marcha.

6.1 Recolección y Análisis de las Condiciones de Trabajo.....	53
6.1.1 En Referencia a la Bomba de Ariete Hidráulico.....	53

6.1.2	En Referencia al Lugar de Instalación.....	56
6.2	Instalación de Componentes del Sistema de Bombeo.....	56
6.2.1	Toma de Agua.....	56
6.2.2	Tubería de Suministro.....	59
6.2.3	Bomba de Ariete Hidráulico.....	60
6.2.4	Tubería de Servicio.....	62
6.2.5	Tanque de Almacenamiento.....	64
6.2.6	Canal de Desagüe.....	65
6.3	Puesta en Marcha.....	65
6.3.1	Acciones Previas.....	65
6.3.2	Accionamiento del Sistema.....	66
6.3.3	Cómo Detener el Sistema.....	67
6.3.4	Calibrando la Bomba.....	67
6.3.5	Mantenimiento.....	69
Capítulo VII		
Conclusiones y Recomendaciones.		
7.1	Conclusiones.....	72
7.2	Recomendaciones.....	74
Referencias Bibliográficas.....		75
Anexos.		
A. Instalación en Comunidad Aislada.		
B. Experimentación		
C. Nomenclatura Utilizada		
D. Esquemas y Planos		

Índice de Figuras.

Figura N° 1.....	6
Figura N° 2.....	13
Figura N° 3.....	14
Figura N° 4.....	17
Figura N° 5.....	20
Figura N° 6.....	21
Figura N° 7.....	27
Figura N° 8.....	29
Figura N° 9	30
Figura N° 10.....	34
Figura N° 11.....	36
Figura N° 12.....	40
Figura N° 13.....	44
Figura N° 14.....	48
Figura N° 15.....	49
Figura N° 16.....	50
Figura N° 17.....	57
Figura N° 18.....	58
Figura N° 19.....	58
Figura N° 20.....	59
Figura N° 21.....	59
Figura N° 22.....	60
Figura N° 23.....	60
Figura N° 24.....	61
Figura N° 25.....	63
Figura N° 26.....	69

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación N° 1.....	15
Ecuación N° 2.....	16
Ecuación N° 3.....	19
Ecuación N° 4.....	21
Ecuación N° 5.....	24
Ecuación N° 6.....	24
Ecuación N° 7.....	25
Ecuación N° 8.....	25
Ecuación N° 9.....	25
Ecuación N° 10.....	25
Ecuación N° 11.....	26
Ecuación N° 12.....	26
Ecuación N° 13.....	53
Ecuación N° 14.....	54

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1.....	18
Tabla N° 2.....	51
Tabla N° 3.....	55

INTRODUCCIÓN

La Bomba de Ariete Hidráulico, es un equipo idóneo para el abastecimiento de agua en comunidades aisladas. Sus características principales le permiten operar continuamente sin el uso de una fuente de energía externa como los combustibles o la electricidad y con un mínimo de mantenimiento. Por lo tanto la Bomba de Ariete Hidráulico es un sistema de bombeo que no perjudica el medio ambiente y satisface las necesidades de la comunidad en la cual se instala.

La bomba consta sólo de dos piezas móviles las cuales son dos válvulas automáticas de apertura intermitente, una con apertura vertical y otra de apertura horizontal, el poseer pocas piezas móviles permite que la bomba funcione por un largo período de tiempo con un mantenimiento mínimo. Otra característica de la Bomba de Ariete es la utilización de una cámara de aire que permite mantener la presión del tubo de descarga o servicio.

El funcionamiento se basa en un fenómeno conocido en la Hidráulica como Golpe de Ariete. Este es producido por el corte repentino del flujo de masa de agua por medio de una primera válvula. La energía cinética que trae el agua en movimiento, al ser detenida, ocasiona un aumento o golpe brusco de presión. Esa energía asociada al aumento de presión es aprovechada como impulso para la apertura de una segunda válvula, produciendo la elevación del agua que pasa a través de ésta válvula a una altura superior. La cámara de aire se ubica inmediatamente luego de la segunda válvula. El proceso es cíclico, dando lugar a una operación autónoma de la bomba.

En éste trabajo se ha diseñado, construido, probado e instalado una Bomba Compacta de Ariete Hidráulico. El diseño fue realizado con el objetivo de que el prototipo final tuviera las siguientes características: Debe ser fácil de construir, fácil de instalar, fácil de transportar y debe funcionar con el mínimo mantenimiento posible, además los materiales necesarios para la construcción deben ser todos de fácil obtención en el mercado nacional y de bajo costo. Al cumplir con todas éstas condiciones se trata de garantizar que

el uso de la Bomba Compacta de Ariete Hidráulico en una comunidad aislada sea lo más viable posible.

La Bomba Compacta de Ariete Hidráulico se instaló en la comunidad de La Pica, ésta es un caserío ubicado a cuatro kilómetros de la población de El Pilar Estado Sucre, no posee servicio de agua potable y su acceso se realiza por carretera de tierra. Ésta comunidad alberga a 30 personas distribuidas en 7 casas, su principal actividad económica es la agricultura y la cría de aves de corral. Esta ubicada en la ladera de una colina, y la fuente de agua más cercana es una quebrada ubicada 25 metros por debajo de la población. La comunidad no cuenta con los recursos económicos para la instalación de la bomba de ariete, éstos serán dotados por el convenio ITACAB-CDCH (Instituto de Tecnologías Apropriadas Convenio Andrés Bello - Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico) el cual es un instituto cuyo objetivo principal es la difusión y uso de las tecnologías apropiadas en el ámbito nacional.

CAPITULO I

DEFINICIÓN DEL TRABAJO

1.1 Definición del Trabajo.

El problema planteado es la dotación de suministro de agua a comunidades rurales aisladas, usando una bomba de ariete de diseño compacto.

1.2 Objetivo General.

Diseño y construcción de una bomba compacta de ariete hidráulico para comunidades aisladas.

1.3 Objetivos Específicos.

- Recolectar información de los sistemas de bombeo de ariete hidráulico existentes.
- Recopilar información acerca de los materiales, componentes y dispositivos existentes en el mercado venezolano utilizados en la construcción tales como: válvulas, tuberías, sellos, etc.
- Analizar la información obtenida.
- Estudiar la factibilidad de construcción en función de los costos.
- Diseñar y evaluar los componentes del sistema de bombeo.
- Elaborar el plano del diseño.
- Elaborar el procedimiento de construcción.
- Construir y evaluar el prototipo.

1.4 Alcances.

- Se llevará a cabo el estudio factibilidad de costos.
- Se diseñará una bomba que no supere un peso de 10 Kg.
- Se realizará un diseño de bomba con unas dimensiones menores o iguales a 70cm de alto x 30cm de ancho x 50cm de largo.
- Se elaboraran los planos del diseño obtenido.
- Se elaborará un manual de instrucciones de ensamblaje de la bomba diseñada.
- El prototipo diseñado será construido y puesto en marcha en una comunidad aislada.

CAPITULO II

ENTORNO INVESTIGATIVO

2.1 Reseña Histórica.

A través de los años, el hombre a medida que avanza en su desarrollo social y tecnológico, ha tratado de satisfacer sus necesidades implementando sistemas que otorguen la mejor adaptación a sus actividades diarias. El abastecimiento de agua como elemento básico de subsistencia humana y animal, toma un estatus prioritario a la hora de habitar alguna zona u área sobre el planeta tierra. En este sentido el desarrollo de sistemas de abastecimiento de agua en general, ha sido realmente amplio, siendo la obtención, transporte y distribución los puntos de ataque. Dentro de este esquema, el principal objetivo es la obtención de agua apta para el consumo humano, sin que agentes contaminantes perturben las condiciones mínimas de salubridad del agua a consumir. Así como también, un abastecimiento continuo del agua, ya que su carencia aumenta la probabilidad de aparición de enfermedades epidémicas y puede afectar la economía, sobre todo en el área de agricultura y producción de alimentos.

El desarrollo de sistemas de distribución de agua para zonas de difícil acceso, ha crecido en función de las necesidades e importancia de la zona, tomando en cuenta la factibilidad económica para el desarrollo. Bajo estas circunstancias, es de esperarse que existan comunidades en las cuales los sistemas de distribución de agua sean escasos o inexistentes. Por ésta razón las comunidades se abastecen de agua con la búsqueda de medios alternos, que les solventen su necesidad de abastecimiento. Sin embargo, ésta búsqueda alternativa se ve reflejada en pocas comunidades, ya que para la implementación de sistemas alternativos de abastecimiento de agua, es necesario la utilización de fuentes de energía tales como la electricidad o el combustible. Éstas fuentes de energía son de difícil obtención para ciertas comunidades por varias razones. Bajo éstas circunstancias, surgen alternativas de abastecimiento de agua más apropiadas para éstas regiones. Entre éstas

alternativas, se cuentan los sistemas activados por la fuerza manual o animal, también llamados “impulsados por sangre”, los sistemas de distribución por gravedad, en los cuales la cota de la toma de agua ésta por encima de la cota de la comunidad beneficiada, la recolección de agua de lluvia, utilizada solo en regiones muy húmedas y lluviosas, o los sistemas de elevación de agua que trabajan de forma autónoma, desde el punto de vista del suministro de fuentes de energía externa, éstos últimos llamados sistemas autónomos.

Dentro de los sistemas de abastecimiento de agua autónomos, se encuentran los que trabajan con energía solar, en los cuales el sol provee la energía necesaria para elevar el agua, los sistemas de bombeo eólicos, que aprovechan la energía del viento y los sistemas que aprovechan la energía proveniente de la caída natural del agua. Entre estos últimos se cuentan sistemas en los cuales existe un rodete que funciona como turbina que por medio de un eje impulsa a otro rodete que funciona como bomba, llamados también “turbo-bombas” y las llamadas Bombas de Ariete, las cuales extraen la energía proveniente del movimiento intermitente del agua dentro de una tubería producido por la gravedad y el fenómeno conocido como Golpe de Ariete Hidráulico.

Figura N° 1 Primer prototipo de Bomba de Ariete Hidráulico construido por Joseph Montgolfier a finales del siglo XVIII



La invención de la Bomba de Ariete Hidráulico se atribuye a Joseph Montgolfier (1749-1810) en el año de 1796, el hermano mayor de los inventores del globo aerostático. Desde ese año, el desarrollo de la Bomba de Ariete ha sido progresivo y diverso, adaptándose por ejemplo en las famosas fuentes del TAJ Mahal en la India y en Ameer en Afganistán.

A principios de siglo también se utilizó la Bomba de Ariete para comprimir el aire con el cual funcionaban los taladros de roca usados para la construcción de túneles en Francia e Italia. Sin embargo el desarrollo de la Bomba en el siglo XX no tuvo mucha influencia.

Actualmente existen diversas empresas extranjeras, en las cuales se manufacturan y comercializan las Bombas de Ariete Hidráulico, principalmente por Internet

2.2 Comunidades Aisladas.

Es considerada una comunidad aislada todo asentamiento de personas cuyo acceso resulta dificultoso, bien sea por su distanciamiento geográfico, precarias vías de comunicación y transporte o cualquier otra circunstancia que restrinja el acceso a la misma. Debido a esta característica primordial de las comunidades aisladas, no es factible económica y ecológicamente brindar de manera convencional los servicios básicos como electricidad, agua potable, gas, etc. a dicha comunidad. Otra característica de algunas comunidades aisladas es la carencia de servicios públicos asistenciales tales como la salud y educación.

En algunos casos los habitantes de las comunidades aisladas pertenecen a determinada etnia o cultura autóctona de la región, un ejemplo de ello son las comunidades indígenas de nuestro país. En estos casos hay que ser cuidadosos a la hora de ofrecer “soluciones” a los problemas de la comunidad. Se ha dado el caso de comunidades indígenas que viven en condiciones que se consideran infrahumanas o desventajosas en

nuestra sociedad, y al ofrecerle o tratar de imponer una solución a lo que nosotros asumimos es un problema en éstas comunidades, se origina un problema mayor de nivel cultural, social o ambiental.

Por otro lado existen comunidades aisladas cuyas culturas y tradiciones permiten la implementación de tecnología para solucionar lo que la misma comunidad considera que son sus problemas. Este tipo de comunidad es la que realmente necesita beneficiarse de algún tipo de tecnología acorde con sus necesidades.

La mayoría de las comunidades aisladas en Venezuela, se encuentran en un estado de depresión económica que no les permite costear los gastos de la adquisición de tecnologías convencionales que satisfagan las carencias de los servicios básicos que le permitan elevar su calidad de vida. Además éstas tecnologías convencionales producen impactos indeseables en el medio ambiente. Por otra parte las personas que normalmente conforman una comunidad aislada no poseen los conocimientos técnicos adecuados para el manejo de maquinarias de tecnologías convencionales.

2.3 Tecnologías Apropriadas.

La tecnología apropiada nace como alternativa de solución a un problema inherente a determinada comunidad, población o ciudad, con la previa existencia o no de tecnologías convencionales. Las tecnologías apropiadas son desarrolladas con materiales y técnicas propias de la región, lo cual trae como consecuencia que su aplicación perdure en el tiempo, así como su sustitución y reparación. En este sentido podemos decir que el desarrollo de éstas tecnologías surge de las iniciativas propias de la misma comunidad para solucionar sus problemas, ya que las personas que habitan determinada región conocen sus necesidades mejor que cualquier otra persona ajena a la región. Sin embargo con una visión más amplia, debe acondicionarse y difundirse el uso de tecnologías apropiadas preexistentes en otras regiones a nivel nacional o internacional en determinadas comunidades, con el fin de facilitar el aumento de la calidad de vida en un entorno de

cooperación y desarrollo sustentable, evitando el síndrome de “reinención de la rueda” (David Johnston 2001).

Las tecnologías apropiadas, se adaptan al medio ambiente, a las costumbres y las tradiciones de la comunidad, aminorando el impacto ambiental y el choque entre culturas, los cuales aumentan las posibilidades del surgimiento de problemas ambientales y sociales más profundos y difíciles de resolver.

El uso de tecnologías apropiadas aumenta el potencial productivo de las regiones rurales, al brindarles la posibilidad de mejorar el nivel de vida de sus pobladores sin depender de suministros provenientes de otras regiones.

Hay que destacar que las tecnologías apropiadas varían dependiendo de cada región, por ejemplo, no es apropiado instalar paneles solares en lugares con poca incidencia solar, o instalar generadores eólicos en lugares donde las corrientes de aire son débiles. Lo que es apropiado en un centro urbano, posiblemente no lo sea en lugares remotos. Esta es una característica esencial en las tecnologías apropiadas.

2.4 Desarrollo Sustentable.

El Desarrollo Sustentable es un concepto relativamente nuevo introducido a principios de los años ochenta. En ese momento se previó la necesidad de modificar los modelos de sociedad que estaban idealizados como “países desarrollados” o “primer mundo” para poder enfrentar los problemas que se ocasionarían al medio ambiente, a la salud y a la economía mundial, de seguir promoviendo tales modelos de desarrollo, los cuales se basan principalmente en sociedades de alta productividad y consumo. Para lograr éste objetivo se debe construir una “fórmula” de desarrollo que permita que la sociedad actual prospere sin comprometer el futuro de las generaciones venideras.

Entonces bajo éste ambiente nace la definición de Desarrollo Sustentable promovida por la Comisión para el Ambiente y el Desarrollo, (World Commission of Enviroment and Development 1987) la cual describe al Desarrollo Sustentable como “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades”.

La introducción de éste concepto ha traído cambios en la forma de explotar los recursos naturales y en los procesos de producción de artículos de consumo. Dichos procesos se venían realizando de manera tal que sólo se consideraban variables como la rentabilidad, productividad, consumo masivo, obsolescencia planificada, desechabilidad, etc. que al ser llevadas hasta sus máximas consecuencias provocan problemas realmente graves que todavía el día de hoy es difícil calcular sus efectos. Aunque en la actualidad los procesos productivos conservan muchas de éstas características, se hace cada día más evidente el interés de consumidores y productores por artículos biodegradables, ecológicos y que no produzcan efectos dañinos a la salud.

No obstante actualmente existe un gran debate sobre cual debe ser el camino que debe tomar la sociedad mundial para lograr el desarrollo deseado tanto por los países industrializados como por los países en vías de desarrollo. Este debate no solo se basa en los sistemas de producción, si no en la forma en la cual llevamos nuestras vidas y nuestra relación con el medio ambiente, animales, plantas, seres humanos y la forma en que afecta ésta relación a nuestra noción del desarrollo (Steve Troy 2001). Bajo éste marco de referencia han surgido nuevos conceptos como Tecnologías Apropriadas, Agua Gris, Materialismo Verde, Contaminación Psicológica etc. En el desarrollo de algunas de éstas nuevas áreas, la función del ingeniero es indispensable, ya que se necesitan personas que a través del uso de sus conocimientos propongan soluciones duraderas a los actuales problemas de las comunidades, sin generar problemas futuros.

CAPITULO III

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 Definiciones Generales.

3.1.1 Flujo Permanente.

Se dice que el flujo es permanente cuando las propiedades del fluido y las condiciones del movimiento en cualquier punto no cambian en el transcurso del tiempo. La expresión analítica que define éste concepto es: $(\partial V/\partial t) = 0$. También no existen cambios ni en la densidad ρ , ni en la presión P , ni en la temperatura T , con el tiempo en cualquier punto. (Streeter, Wylie 2000)

3.1.2 Flujo No Permanente.

El flujo es no permanente cuando las condiciones en cualquier punto, varían con transcurrir del tiempo, $(\partial V/\partial t) \neq 0$, $(\partial T/\partial t) \neq 0$, etc. Ejemplo: Bombeo por un sistema con caudal variable, creciente o decreciente. Éste flujo también es denominado flujo transitorio.

3.1.3 Flujo Incompresible.

Se denomina Flujo Incompresible a todo aquel flujo que mantiene su densidad relativamente constante en el tiempo mientras se mueve por un campo de flujo. Esto no indica que la densidad se mantiene constante en todos los puntos, ya que por ejemplo en los flujos que intervienen capas adyacentes de líquidos son flujos incompresibles, pero en los que la densidad varía no más del 3%. Tanto los flujos líquidos como los flujos de gases a baja velocidad, son considerados incompresibles.

3.1.4 Flujo Compresible.

Todo aquel flujo en el que la densidad varía significativamente en el tiempo mientras se mueve por un campo de flujo, se denomina Flujo Compresible. Estas variaciones de densidad son significativas tanto en los gases como en los líquidos. En los gases cuando se estudia la aerodinámica, el flujo en compresores y turbinas, y en los líquidos se considera cuando existen perturbaciones en el flujo en tuberías, dando lugar a un fenómeno conocido como Golpe de Ariete.

3.1.5 Ondas de Choque o de Presión.

Una onda de choque es una perturbación de gran amplitud que se propaga por un fluido. Esta perturbación en el caso de los líquidos viene dada por agentes externos, entre ellos el cierre instantáneo de válvulas. En general se genera una onda de choque cuando existe un cambio de presión brusco en un campo de flujo.

3.2 Golpe de Ariete.

Es llamado Golpe de Ariete al fenómeno producido por la excitación representativa del flujo en tuberías con la apertura o cierre de válvulas, funcionamiento de bombas o turbinas, ruptura de tubos y los eventos de cavitación. (Potter, Wiggert 1998).

3.3 Teoría de la Columna Rígida de Agua.

Cuando una tubería está llena de agua en movimiento, las leyes que gobiernan los cambios en la presión y el desplazamiento dependen de las condiciones bajo las cuales ocurre el flujo. Si el agua es considerada incompresible y la velocidad del agua que circula a través de cualquier tramo de la tubería se mantiene constante, la ecuación de la energía de Bernoulli es aplicable a cualquiera de las dos secciones de tubo mostradas en la Figura N°2.

De cualquier manera, cuando el movimiento del agua dentro de la tubería es inestable, es decir, cuando el caudal en cada sección varía rápidamente de un instante al próximo, ocurren cambios de presión violentos dentro de la tubería y la ecuación de Bernoulli no es aplicable. Estos cambios de presión a los que se hace referencia, son llamados Golpe de Ariete.

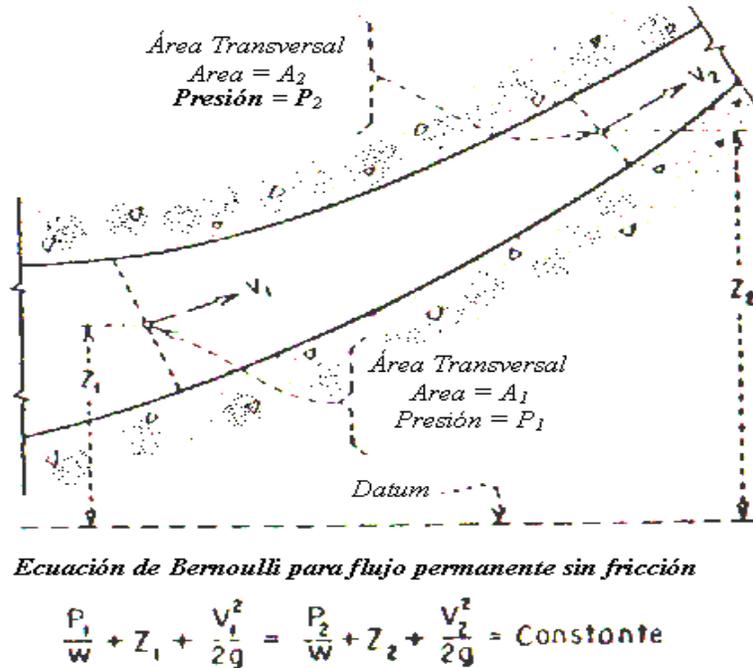


Figura N° 2

Para comprender mejor el comportamiento del fenómeno del Golpe de Ariete, consideraremos el efecto de las rápidas fluctuaciones en el flujo dentro de una tubería de área uniforme A y longitud finita L mostrada en la Figura N° 3. El tramo de tubería es conectado a un reservorio de agua en su extremo superior, y en su extremo inferior se instala una válvula o compuerta para regular la descarga de agua hacia la atmósfera. Para explicar la teoría en su forma más simple debemos hacer las siguientes consideraciones:

- a.- El agua dentro de la tubería es incompresible.

- b.- Las paredes de la tubería se mantienen inelásticas sin importar la presión dentro del tubo.
- c.- La tubería se mantiene llena de agua todo el tiempo y la presión mínima dentro de la misma es mucho mayor a la presión de vapor del agua.
- d.- Las pérdidas hidráulicas son despreciables comparadas con los cambios de presión.
- e.- La velocidad del agua en la dirección del eje de la tubería es uniforme a través de cualquier sección transversal del tubo.
- f.- La presión es uniforme en cualquier punto de una sección transversal del tubo y es igual a la presión en la línea central de la tubería.
- g.- El nivel de agua en el reservorio se mantiene constante durante el movimiento de la válvula de control.

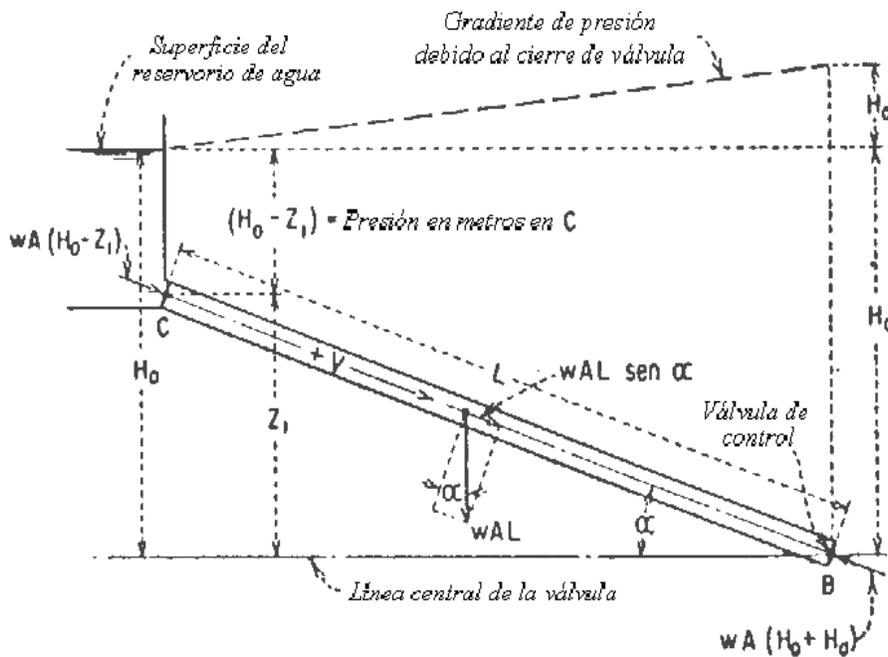


Figura N° 3

Sí el flujo de agua es alterado en la válvula de control, hay una fuerza no balanceada que actúa en la misma sobre la masa de la columna de agua. La magnitud de

ésta fuerza es calculada mediante la segunda ley de Newton. La desaceleración es $-dV/dt$, donde V se mide positivamente en la dirección del flujo. La masa de agua desacelerada en la longitud total de la tubería es wAL/g . Siendo H_a el ascenso de la presión debida a la desaceleración del flujo, la fuerza que actúa sobre la columna de agua es:

$$wA((H_o + H_a) - (H_o - Z_1) - L \operatorname{sen} \alpha)$$

Donde

w = Peso específico del agua (N/m^3).

A = Área transversal del tubo (m^2).

H_o = Presión debida al nivel de líquido en el reservorio (m).

H_a = Elevación de la presión (m)

Z_1 = Altura piezométrica a la entrada del tubo (m)

L = Longitud de la tubería. (m)

α = Ángulo de inclinación de la tubería

Como $L \operatorname{sen} \alpha = Z_1$, el resultado de la fuerza que actúa sobre la columna de agua es wAH_a . Entonces de la segunda ley de Newton se obtiene:

$$H_a = -\frac{L}{g} \cdot \frac{dV}{dt} \quad (1)$$

Previo al cierre de la válvula de control, el caudal que se vierte a la atmósfera viene dado por:

$$Q_o = AV_o = (C_d A_g)_o \sqrt{2gH_o}$$

Donde Q_o = Caudal (m^3/s)

$V_o =$ Velocidad antes del cierre (m/s)

$(C_d A_g)_o =$ Área efectiva de compuerta (m^2)

o

$$V_o = B_o \sqrt{H_o}$$

donde

$$B_o = \frac{(C_d A_g)_o \sqrt{2g}}{A} \qquad B_o = \text{Factor de apertura de compuerta (m}^2/\text{s)}$$

Entonces en cualquier instante durante el movimiento de la válvula:

$$V = B \sqrt{H_o + H_a}$$

y

$$\frac{V}{V_o} = \frac{B}{B_o} \sqrt{1 + \frac{H_a}{H_o}}$$

asignando $\tau = B/B_o$ tenemos:

$$V = \tau V_o \sqrt{1 + \frac{H_a}{H_o}} \qquad (2)$$

Donde τ es una función de tiempo que define el rango de efectividad del área abierta de la válvula de control durante el cierre, en comparación con la efectividad de la válvula abierta en el tiempo cero. Las ecuaciones 1 y 2 son las ecuaciones básicas del Golpe de Ariete para cierre de compuertas usando la teoría de la Columna Rígida de Agua.

Esta teoría tiene grandes limitaciones. En ella se asume que las paredes de la tubería son inelásticas y que el agua es incompresible. En consecuencia, los cambios de presión ocurridos en la válvula de control o compuerta se propagan inmediatamente a través de toda

la tubería. Para movimientos relativamente lentos de compuerta ésta teoría provee un cálculo sencillo de los efectos del Golpe de Ariete. Para movimientos rápidos de la compuerta debemos utilizar la teoría de La Columna Elástica de Agua descrita a continuación.

3.4 Teoría de la Columna Elástica de Agua.

La Teoría de la Columna Elástica de Agua es aplicable a una mayor gama de flujos, a los cuales la Teoría de la Columna Rígida de Agua no puede satisfacer. Para explicar ésta teoría se tomarán en cuenta las mismas consideraciones que en la teoría explicada anteriormente con la excepción de que en éste caso las paredes de la tubería se consideran elásticas y el agua se asume compresible bajo la acción de los cambios de presión.

Condición de equilibrio dinámico:

A continuación se estudiará la condición de equilibrio dinámico para el elemento de agua de longitud dx_1 ubicado dentro de la tubería mostrado en la Figura N° 4.

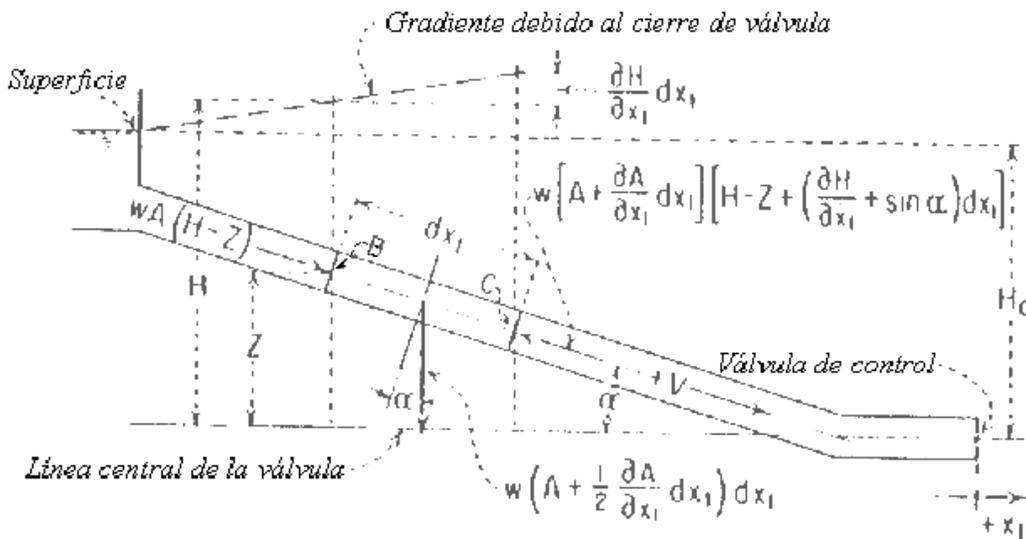


Figura N° 4

En el paso de la cara B a la cara C del elemento de longitud dx_1 , el área transversal del tubo se incrementa en una rata de $\partial A/\partial x_1$. Si el área en la cara B la definimos como A, el área en la cara C es entonces. La intensidad de la presión y las fuerzas actuantes en las caras B y C son determinadas de una manera similar y son mostradas en la Tabla N° 1.

Ubicación	Cara B	Cara C
Área	A	$A + \frac{\partial A}{\partial x_1} dx$
Presión	$w(H - Z)$	$w \left[H - Z + \left(\frac{\partial H}{\partial x_1} + \text{sen} \alpha \right) dx_1 \right]$
Fuerza	$wA(H - Z)$	$w \left(A + \frac{1}{2} \frac{\partial A}{\partial x_1} dx_1 \right) \left[H - Z + \left(\frac{\partial H}{\partial x_1} + \text{sen} \alpha \right) dx_1 \right]$

Tabla N° 1

En el centro del volumen diferencial estudiado, la fuerza de gravedad que actúa verticalmente hacia abajo sobre la masa del elemento es igual a:

$$w \left(A + \frac{1}{2} \frac{\partial A}{\partial x_1} dx_1 \right) dx_1$$

La fuerza no balanceada que actúa como desaceleradora en dirección del eje longitudinal del eje es:

$$w \left(A + \frac{1}{2} \frac{\partial A}{\partial x_1} dx_1 \right) \left[H - Z + \left(\frac{\partial H}{\partial x_1} + \text{sen} \alpha \right) dx_1 \right] - wA(H - Z) - w \left(A + \frac{1}{2} \frac{\partial A}{\partial x_1} dx_1 \right) dx_1 \text{sen} \alpha$$

Donde tomamos como positiva la dirección de la fuerza en sentido opuesto al movimiento normal del flujo. Después de eliminar términos despreciables la ecuación anterior se reduce a:

$$w \left[A \frac{\partial H}{\partial x_1} + (H - Z) \frac{\partial A}{\partial x_1} \right] dx_1$$

Tomando en cuenta que $w[(H - Z)\partial A/\partial x_1]dx_1$ es muy pequeño comparado con $wA(\partial H/\partial x_1)dx_1$, entonces la expresión de la fuerza desaceleradora no balanceada queda reducida a:

$$wA \frac{\partial H}{\partial x_1} dx_1$$

Observando que la masa del elemento de agua a ser movido es $wAdx_1/g$ y su desaceleración es $-dV/dt$. Entonces la segunda ley de Newton viene expresada por:

$$-wA \frac{\partial H}{\partial x_1} dx_1 = \frac{wA}{g} \frac{dV}{dt} dx_1 \quad g = \text{aceleración de la gravedad (m/s}^2\text{)}$$

Como la velocidad es una función de x_1 y de t , entonces

$$\frac{\partial H}{\partial x_1} = -\frac{1}{g} \left(\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x_1} \right) \quad (3)$$

La ecuación 3 de equilibrio dinámico para el elemento de agua.

Condición de continuidad:

La segunda ecuación que relaciona H y V es extraída de la condición de continuidad. La Figura N° 5a muestra un elemento de agua de longitud BC igual a dx_1 para un tiempo t . Para un instante de tiempo dado la rata de cambio de la velocidad entre la cara B y la cara C del elemento es dV/dx_1 , y la velocidad en las caras B y C son V y $V + (\partial V/\partial x_1)dx$ respectivamente. En la Figura N° 5b se observa el cambio en el elemento diferencial de agua desde una posición BC a la posición DF pasado un tiempo diferencial dt .

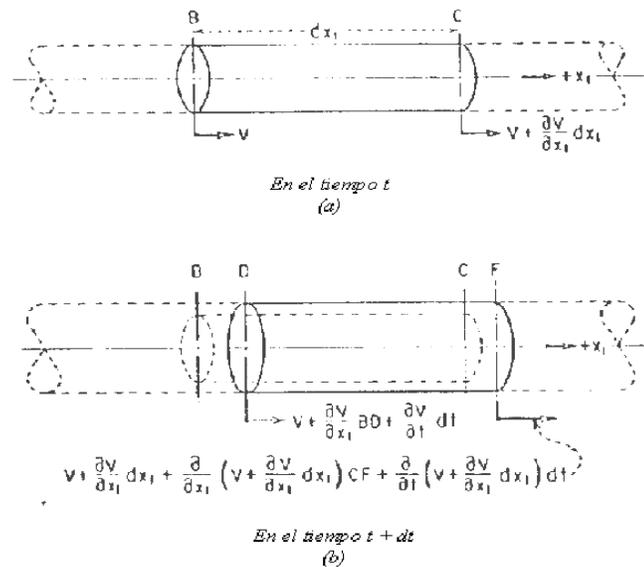


Figura N° 5

El cambio en longitud del elemento dx_1 en el movimiento desde BC a DF es BD - CF . La velocidad de la cara B en su movimiento hacia D durante el intervalo de tiempo dt es:

$$V + \frac{1}{2} \frac{\partial V}{\partial t} BD + \frac{1}{2} \frac{\partial V}{\partial t} dt$$

y la distancia recorrida BD en el intervalo dt es:

$$BD = \left(V + \frac{1}{2} \frac{\partial V}{\partial x_1} BD + \frac{1}{2} \frac{\partial V}{\partial t} dt \right) dt$$

de manera similar:

$$CF = \left[V + \frac{\partial V}{\partial x_1} dx_1 + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial x_1} \left(V + \frac{\partial V}{\partial x_1} dx_1 \right) CF + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} \left(V + \frac{\partial V}{\partial x_1} dx_1 \right) dt \right] dt$$

Luego de eliminar términos de menor orden tenemos.

$$BD - CF = -\frac{\partial V}{\partial x_1} dx_1 dt \tag{4}$$

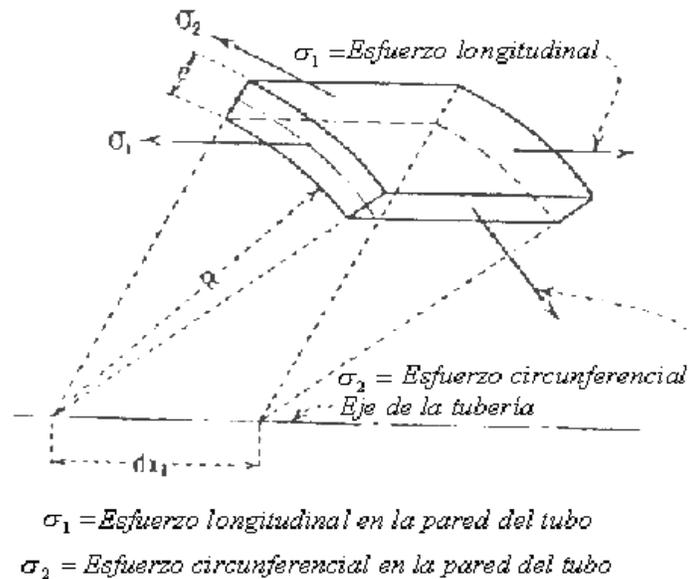


Figura N° 6

El cambio en la longitud del elemento dx_1 es consecuencia de dos factores. En primer lugar el cambio en la presión causa una expansión en la corteza del tubo. El resultado de este cambio de dimensión de la sección transversal es un cambio en la longitud del elemento diferencial, para mantener el mismo volumen de agua. En segundo lugar, a

consecuencia de la compresibilidad del agua, un cambio en la presión origina un cambio en el volumen de agua dentro del elemento. Debe calcularse el cambio total en la longitud del elemento, considerando al mismo tiempo la elasticidad del agua y la elasticidad de la corteza del tubo. Tomando como referencia la Figura N° 6, la deformación en el elemento de la corteza de tubo producido por esfuerzos longitudinales y circunferenciales es:

$$\Delta R \cong \frac{R}{E}(\Delta\sigma_2 - \mu\Delta\sigma_1) \quad \text{y} \quad \delta x_1 = \frac{dx_1}{E}(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_2)$$

E = Módulo de elasticidad del material del tubo (N/m²).

Donde $\Delta\sigma_1$ y $\Delta\sigma_2$ representan el cambio en los esfuerzos longitudinales y circunferenciales respectivamente, producidos por un cambio en la presión. El volumen encerrado dentro del elemento después de aplicados los esfuerzos es $\pi(R + \Delta R)^2(\delta x_1 + dx_1)$ y el cambio en longitud del elemento original BC compatible con el cambio de volumen es:

$$\delta x_1 + \frac{2\pi R}{R} dx_1$$

El cambio en el esfuerzo longitudinal depende de la habilidad de la tubería para moverse en dirección axial, se estudiarán tres casos de restricción de movimiento axial en tuberías:

A .- Para una tubería anclada únicamente en su extremo superior:

$$\delta x_1 + \frac{2\pi R}{R} dx_1 = \frac{wD}{Ee} \frac{dH}{4} \left(\frac{5}{4} - \mu \right) dx_1 \quad e = \text{Ancho de la pared del tubo (m)}$$

B .- Para tuberías con anclajes en ambos extremos que no permiten movimiento en la dirección axial a la tubería.

$$\delta x_1 + \frac{2\pi R}{R} dx_1 = \frac{wD}{Ee} dH (1 - \mu^2) dx_1$$

C .- Para tuberías con juntas de expansión.

$$\delta x_1 + \frac{2\pi R}{R} dx_1 = \frac{wD}{Ee} dH \left(1 - \frac{\mu}{2}\right) dx_1$$

De donde podemos decir que la ecuación usada para los tres casos es:

$$\delta x_1 + \frac{2\pi R}{R} dx_1 = \frac{wD}{Ee} dH c_1 dx_1$$

Para los tres casos:

$$A .- c_1 = \left(\frac{5}{4} - \mu\right); \quad B .- c_1 = (1 - \mu^2); \quad C .- c_1 = \left(1 - \frac{\mu}{2}\right)$$

El cambio en la longitud total del elemento de agua dx_1 debido al efecto del cambio de presión $w dH$, considerando la elasticidad del agua y la deformación en la tubería se reduce a:

$$w \left(\frac{1}{K} + \frac{Dc_1}{Ee} \right) dH dx_1$$

K = Módulo de elasticidad volumétrica del agua (N/m²)

Donde H es una función de x_1 y t , con $dV/dx_1 = V$ tenemos lo siguiente:

$$dH = \frac{\partial H}{\partial t} dt + \frac{\partial H}{\partial x_1} dx_1 = \left(\frac{\partial H}{\partial t} + V \frac{\partial H}{\partial x_1} \right) dt$$

Si introducimos la definición producida en la ecuación 4:

$$BD - CF = -\frac{\partial V}{\partial x_1} dx_1 dt$$

El cambio en la longitud total del elemento queda:

$$BD - CF = w \left(\frac{1}{K} + \frac{Dc_1}{Ee} \right) \left(\frac{\partial H}{\partial t} + V \frac{\partial H}{\partial x_1} \right) dx_1 dt$$

Igualando las dos ecuaciones anteriores queda:

$$\frac{\partial V}{\partial x_1} = -w \left(\frac{1}{K} + \frac{Dc_1}{Ee} \right) \left(\frac{\partial H}{\partial t} + V \frac{\partial H}{\partial x_1} \right)$$

Simplificando:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + V \frac{\partial H}{\partial x_1} = -\frac{a^2}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial x_1} \tag{5}$$

Donde:

$$a = \sqrt{\frac{1}{\frac{w}{g} \left(\frac{1}{K} + \frac{Dc_1}{Ee} \right)}} \tag{6}$$

Siendo a (Ecuación 6) la expresión de la velocidad a la cual se mueven las ondas de presión producidas por el golpe de ariete dentro de una tubería llena por un líquido. Como se puede apreciar a depende de las condiciones en las cuales se encuentra el fluido y las propiedades de la tubería. Cuando la tubería es muy rígida (E tiende a infinito) a es equivalente a la velocidad del sonido, pero cuando la tubería es menos rígida el valor de a disminuye porque una porción de la energía de las ondas se pierde.

Para obtener las ecuaciones fundamentales que describen el golpe de ariete resolveremos simultáneamente las ecuaciones 3 y 5.

Para empezar debemos asumir que el término $V(\partial V/\partial x_1)$ de la ecuación 3 es pequeño comparado con $\partial V/\partial t$. Y en la ecuación 5 el término $V(\partial H/\partial x_1)$ es despreciable comparado con $\partial H/\partial t$. De ésta manera rescribiendo las ecuaciones 3 y 5 tenemos:

$$\frac{\partial H}{\partial x_1} = -\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} \quad (7)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} = -\frac{a^2}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial x_1} \quad (8)$$

Las soluciones generales para éstas ecuaciones diferenciales son respectivamente:

$$H - H_o = f\left(t - \frac{x_1}{a}\right) + F\left(t + \frac{x_1}{a}\right) \quad (9)$$

$$V - V_o = \frac{g}{a} \left[f\left(t - \frac{x_1}{a}\right) - F\left(t + \frac{x_1}{a}\right) \right] \quad (10)$$

Con el fin de facilitar el estudio del efecto del golpe de ariete hidráulico, es conveniente expresar la variable V como positiva en la dirección espontánea del fluido, en este caso cuando el vector apunta desde el reservorio de agua hacia la compuerta en el nivel mas bajo de la tubería. También resulta provechoso cuando se estudian problemas que involucran compuertas en el extremo inferior de la tubería medir la variable x_1 a partir de dicha compuerta y en sentido positivo opuesto al movimiento del fluido, es decir desde la compuerta hasta el reservorio, esto debido a que la perturbación inicial en el flujo ocurre en el extremo inferior de le tubería y luego se mueve hacia el extremo superior de la misma.

Tomando ésta última consideración en cuenta las ecuaciones 9 y 10 quedan de la siguiente manera:

Haciendo $-x = x_1$

$$H - H_o = F\left(t - \frac{x_1}{a}\right) + f\left(t + \frac{x_1}{a}\right) \quad (11)$$

$$V - V_o = \frac{g}{a} \left[F\left(t - \frac{x_1}{a}\right) - f\left(t + \frac{x_1}{a}\right) \right] \quad (12)$$

Las ecuaciones 11 y 12 son las ecuaciones fundamentales del golpe de ariete hidráulico. (Parmakian 1963).

En donde:

$$F\left(t - \frac{x_1}{a}\right) \quad \text{y} \quad f\left(t + \frac{x_1}{a}\right)$$

Son funciones arbitrarias que representan respectivamente la onda de presión que se mueve desde la válvula al reservorio y la onda de presión que recorre la tubería desde el reservorio hasta la válvula.

Para fines prácticos el método más recomendado para la solución de problemas de Golpe de Ariete es el método de las características, en el cual se convierten las dos ecuaciones diferenciales parciales producto de los análisis de equilibrio dinámico y de continuidad en cuatro ecuaciones diferenciales totales. Éstas cuatro ecuaciones son expresadas en forma de diferencia finita usando el método de intervalos de tiempo. Las soluciones son obtenidas mediante el uso de un computador.

3.5 Golpe de Ariete para cierres de válvula rápidos.

Para explicar el movimiento de las ondas de presión en una tubería luego del cierre repentino de una válvula, consideraremos una tubería recta y dispuesta Horizontalmente conectada a un depósito como lo indica la Figura N° 7 , la cual se encuentra llena de agua para cualquier tiempo t y no tiene roce con el fluido, es decir las pérdidas por fricción son despreciables.

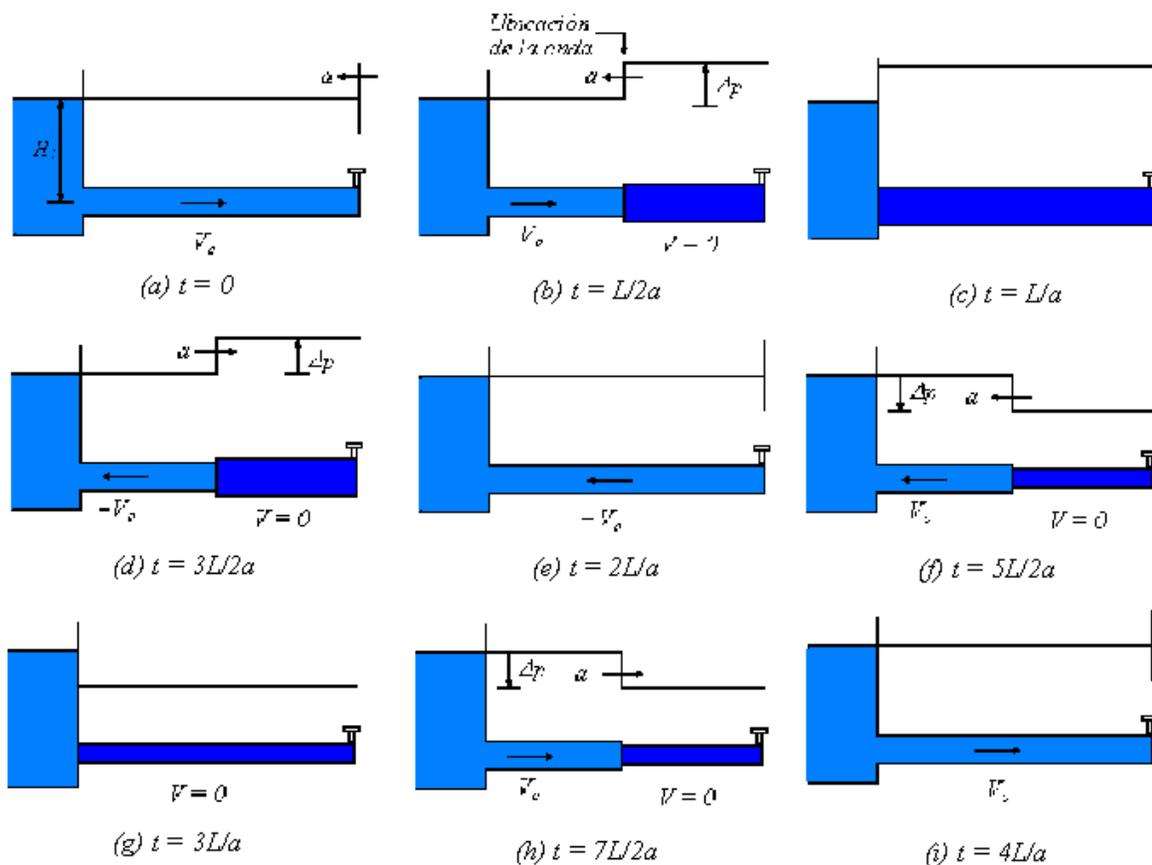


Figura N° 7

En la Figura N° 7a existe una condición inicial estable, la velocidad del agua es V_o y la válvula se cierra horizontalmente en $t=0$. Observe que cuando no se considera la fricción, la línea de declive hidráulico es horizontal. Después de cerrarse la válvula, la onda

viaja corriente arriba Figura N° 7b. Detrás de la onda, La velocidad se reduce a cero, La presión aumenta en Δp , el líquido queda comprimido y la tubería se expande un poco. En el instante L/a la onda llega al depósito y hay una fuerza no balanceada en la entrada del tubo Figura N° 7c (obsérvese la línea de declive hidráulico). En el tubo la presión se reduce a la presión del depósito y la velocidad cambia repentinamente de dirección; este proceso se inicia en el extremo corriente arriba y se propaga corriente abajo a la velocidad de la onda a . Figura N° 7d. Cuando la onda llega a la válvula en el instante $2L/a$, la velocidad tiene magnitud $-V_o$ en todos los puntos de la tubería Figura N° 7e. Junto a la válvula, que ahora está cerrada, la velocidad se reduce a cero y la presión se reduce en la cantidad Δp Figura N° 7f. La onda de baja presión viaja corriente arriba con velocidad a , y detrás de la onda el líquido se expande y la pared del tubo se contrae. Cabe señalar que si la presión detrás de la onda se reduce a la presión de vapor, habrá cavitación y parte del líquido se vaporizará. Cuando la onda de presión llega al depósito en el instante $3L/a$. ocurre otra vez una condición de desequilibrio, opuesta en magnitud a la que ocurre en el instante L/a Figura N° 7g. El equilibrio de fuerzas hará ahora que una onda viaje corriente abajo, con la presión incrementada en Δp y la velocidad igual $a + V_o$ detrás del frente Figura N° 7h. Cuando la onda llega a la válvula en el instante $4L/a$, las condiciones de estado estable iniciales vuelven a prevalecer en todo la tubería Figura N° 7i. (Potter, Wiggert 1998)

El proceso se repite cada $4L/a$ segundos. En la situación ideal sin fricción que se muestra aquí, el movimiento se perpetúa. En el caso de un sistema de tuberías real, la fricción, el movimiento del tubo y el comportamiento no elástico del material del tubo hacen que la oscilación tarde o temprano se amortigüe y cese.

3.6 Gráficas del Golpe de Ariete.

A continuación se presentan algunas graficas del Golpe de Ariete obtenidas experimentalmente, para la realización de éste experimento se usó un sistema de adquisición de datos por computadora. (Ramírez, Palmieri 1997).

En la Figura N° 8 se muestran dos gráficas de presión relativa versus tiempo obtenidas al generar el Golpe de Ariete en una tubería recta horizontal acoplada a un reservorio, en un extremo de la tubería se encuentra el reservorio y en el otro una válvula de cierre rápido. La diferencia de altura piezométrica entre la válvula y la superficie del agua en el reservorio es de un metro (1 m) y siempre se mantiene constante durante todo el experimento. La presión relativa es medida por una celda de presión eléctrica ubicada junto a la válvula de cierre rápido, éste es el punto en el cual se espera el mayor crecimiento de la presión.

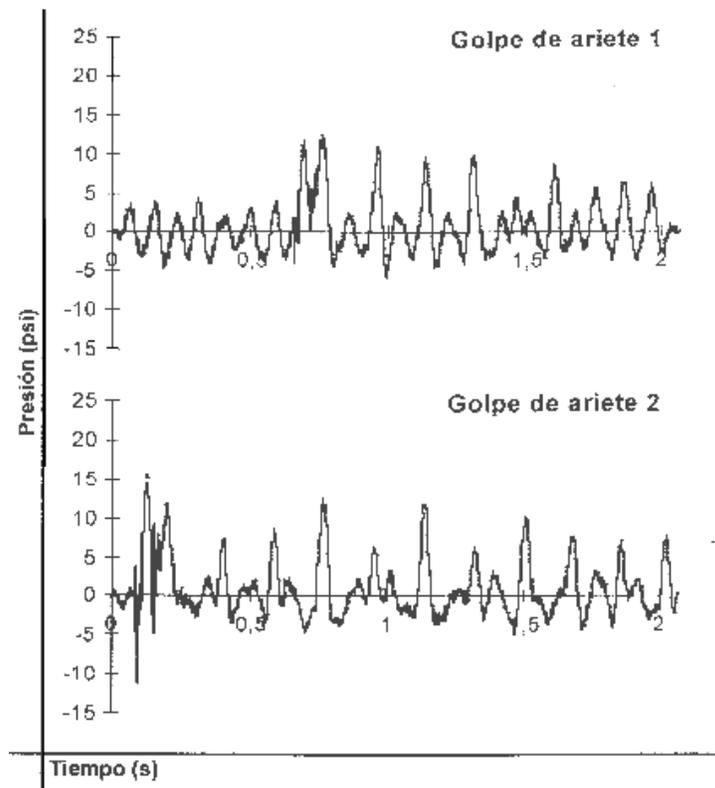


Figura N° 8

Puede decirse que el comportamiento del Golpe de Ariete bajo éstas condiciones de contorno es senosoidal y que se atenúa al transcurrir el tiempo. Otra observación importante es que la máxima presión medida dentro de la tubería es de 15 psi, mientras la menor

presión medida es -5 psi, la diferencia entre los dos valores absolutos es de 10 psi, dicho de otra forma la presión positiva es el triple del valor absoluto de la presión negativa, éste dato contrasta con la teoría, la cual dice que la onda de presión positiva tiene el mismo valor que la onda de presión negativa.

En la Figura N° 9 se muestran las gráficas de presión relativa versus tiempo obtenidas al generar el golpe de ariete en la misma tubería del experimento anterior. En un extremo de la tubería se encuentra el mismo reservorio, pero en el otro extremo se ha acoplado una Bomba de Ariete Hidráulico.

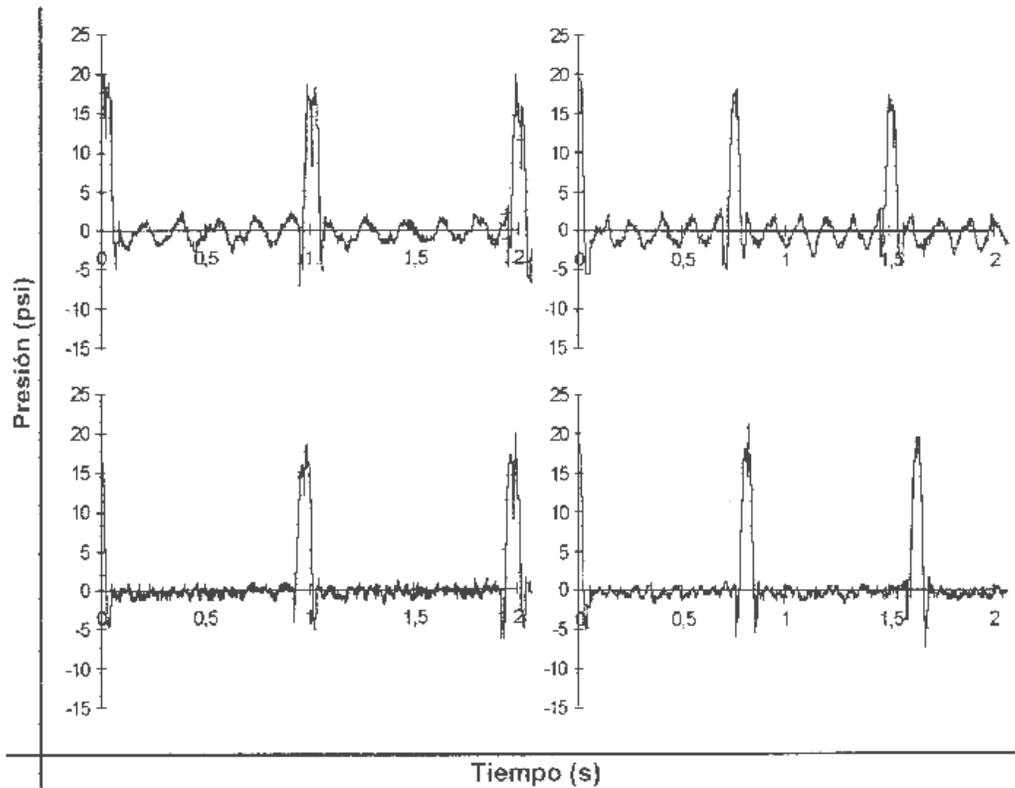


Figura N° 9

Con éste cambio en las condiciones de contorno, el comportamiento del Golpe de Ariete es totalmente diferente. En éste caso la curva descrita en la gráfica no describe a la

función *seno*, si no un comportamiento pulsátil en el cual la presión relativa se mantiene baja por un largo período y de repente sube en muy poco tiempo hasta 20 psi para luego volver a bajar tan rápidamente como subió. También hay que resaltar que la menor presión registrada es de -5 psi cuyo valor absoluto (5 psi) es $1/4$ de la presión máxima registrada. En éste caso tampoco se cumple que el valor absoluto de las dos ondas de presión (positiva y negativa) es igual.

La otra gran diferencia del segundo experimento con el primero es que el fenómeno del Golpe de Ariete se repite indefinidamente en el tiempo hasta que algún agente externo detiene el funcionamiento de la Bomba de Ariete, esto quiere decir que la subida de la presión no se atenúa en el tiempo, si no que pasado un periodo el ciclo se repite con la misma energía que la primera vez.

Visto de ésta manera no podemos tratar de igual forma al fenómeno de Golpe de Ariete producido en una tubería simple y al producido por una Bomba de Ariete, ya que las condiciones de contorno inherentes a la instalación de una Bomba de Ariete cambian de manera considerable el comportamiento del fenómeno del Golpe de Ariete Hidráulico.

CAPITULO IV

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO

El primer paso para conocer como funciona éste el sistema de bombeo, es la descripción de la Bomba de Ariete Hidráulico, que en éste caso es el principal elemento.

4.1 Descripción de los Elementos de una Bomba de Ariete Hidráulico.

Antes de la visualización del funcionamiento completo de la Bomba de Ariete Hidráulico con todos sus elementos en conjunto, se debe previamente hacer una descripción detallada de cada una de sus partes por separado. A continuación se presenta una descripción detallada de cada uno de los elementos, a saber: Válvula de Impulso, Cámara de Aire, Válvula de Retención y demás elementos de acople, éstos últimos se reúnen en un solo ítem como Cuerpo de la Bomba.

4.1.1 Válvula de Impulso.

Este es el principal elemento móvil de los dos elementos móviles de toda Bomba de Ariete Hidráulico. Por medio del funcionamiento de la Válvula de Impulso se inicia y se mantiene cíclicamente el fenómeno de Golpe de Ariete, aprovechado para la elevación o traslado del agua de un lugar a otro.

La finalidad de la Válvula de Impulso es producir un cambio instantáneo de presión sobre el flujo de masa de agua que se introduce dentro de la bomba. Este cambio de presión instantáneo, se logra por medio del desalojo intermitente de cierta cantidad de la masa de agua que entra continuamente a la bomba. Esto con el objeto de que la masa de agua presente en ese momento en la tubería de suministro tome la velocidad necesaria e indispensable para la producción del fenómeno conocido como el Golpe de Ariete, el cual produce una onda de presión que viaja aproximadamente a la velocidad del sonido a través

del agua que se encuentra encerrada en el cuerpo de la bomba y la tubería de suministro. Esta onda se traduce en energía útil para cumplir con el objetivo primordial de la bomba: la elevación de determinado caudal de agua de un lugar a otro de mayor altura.

4.1.2 Válvula de Retención.

La Válvula de Retención es el segundo elemento móvil de la Bomba de Ariete Hidráulico. Su uso permite el paso del agua bombeada hacia la tubería de servicio evitando que la misma retorne hacia el cuerpo de la bomba.

4.1.3 Cámara de Aire.

Este elemento es utilizado con la finalidad de amortiguar las ondas de presión intermitentes provenientes del Cuerpo de la Bomba, garantizando continuidad y uniformidad en el flujo de agua en la tubería de servicio. En cada ciclo de bombeo un pequeño volumen de agua pasa a través de la válvula de retención, entrando a la cámara de aire, en un corto período de tiempo. El aire dentro de la cámara actúa como un resorte, comprimiéndose rápidamente por cada golpe y expandiéndose suavemente cuando la válvula de retención se cierra. Esto mantiene el flujo constante en la tubería de servicio a pesar del hecho de que la bomba está trabajando por pulsos.

4.1.4 Cuerpo de la Bomba.

Se denomina Cuerpo de la Bomba a la estructura que sirve de acople entre la Tubería de Suministro, la Válvula de Impulso y la Válvula de Retención. Dentro de ésta estructura se produce el aumento más alto de presión producido por el Golpe de Ariete.

4.2 Descripción de los Elementos del Sistema de Bombeo.

4.2.1 Fuente de Agua.

La Bomba de Ariete Hidráulico requiere de un cuerpo de agua para la alimentación del sistema que cumpla con las condiciones mínimas (garantizadas a través del tiempo) de caudal y altura piezométrica necesarias para el funcionamiento. Estos dos parámetros que determinan los límites del caudal y la altura a la cual puede elevarse el agua de servicio.

4.2.2 Tubería de Suministro.

La Tubería de Suministro luego de la bomba, es uno de los elementos más importantes dentro del sistema. A través de éste se transporta el agua desde la fuente hasta la entrada de la bomba a la velocidad y presión necesarias para generar el Golpe de Ariete en la Válvula de Impulso por medio de la fuerza de gravedad. Esta tubería en particular debe ser exclusivamente de materiales rígidos (acero o PVC para aguas blancas).

De tal manera que se cumplan las condiciones de velocidad y presión necesarias para que la Válvula de Impulso produzca el golpe de ariete y se haga funcionar el sistema adecuadamente, se deben garantizar que determinada masa de agua esté circulando a cierta velocidad por la Tubería de Suministro en el momento en el cual la Válvula de Impulso cierra. Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, la Tubería de Suministro debe satisfacer ciertas dimensiones dependiendo de la Carga de Suministro bajo la cual será instalado el sistema

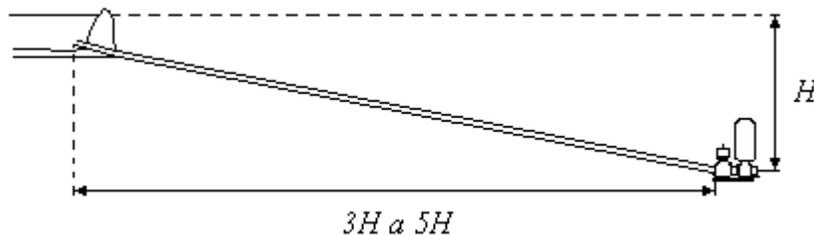


Figura N° 10

Como norma general la Tubería de Suministro debe tener un recorrido horizontal entre 3 y 5 veces la Carga de Suministro H, siendo 5 metros el recorrido horizontal mínimo recomendado para instalar una la Bomba de Ariete. Tal como lo indica la Figura N° 10 (www. riferams.com 2001)

La definición de Carga de Suministro (H) y como se mide ésta variable, se encuentra en el ítem 5.1.2.

4.2.3 Tubería de Servicio.

Es la tubería de transporte que conduce el agua desde la bomba hasta el sitio de distribución o almacenamiento en el cual se va a aprovechar. Éste tramo de tubería puede ser de un material rígido o flexible (manguera).

4.2.4 Almacenamiento.

El tanque de almacenamiento debe ser capaz de albergar la cantidad de agua de servicio necesaria que va a ser consumida en por lo menos un día. A partir del Tanque de Almacenamiento puede construirse un sistema de distribución de agua hacia determinados puntos de la comunidad.

4.2.5 Canal de Desagüe.

A través de éste dispositivo, se conduce el agua de trabajo desde la Válvula de Impulso al río por medio de la fuerza de gravedad. Este canal debe garantizar la fluidez del agua de trabajo, evitando estancamientos de agua en el cuerpo y la base de la bomba y evitando la erosión del terreno en los alrededores de la base de la bomba producto del flujo del agua de trabajo sobre el terreno desde la base de la bomba hasta el río. Para su construcción se recomienda la utilización de tubería de PVC para aguas negras.

4.3 Funcionamiento de la Bomba de Ariete Hidráulico.

Inicialmente se tiene una masa de agua fluyendo a través de la Tubería de Suministro A, ver Figura N° 11. En este momento la Válvula de Impulso B se encuentra abierta dejando escapar el agua de trabajo T y la Válvula de Retención C se encuentra cerrada. La Válvula de Impulso B se cierra súbitamente debido a la acción de la energía cinética de la masa de agua proveniente de la Tubería de Suministro A, al ocurrir este cierre se produce el Golpe de Ariete Hidráulico que genera una onda de presión positiva.

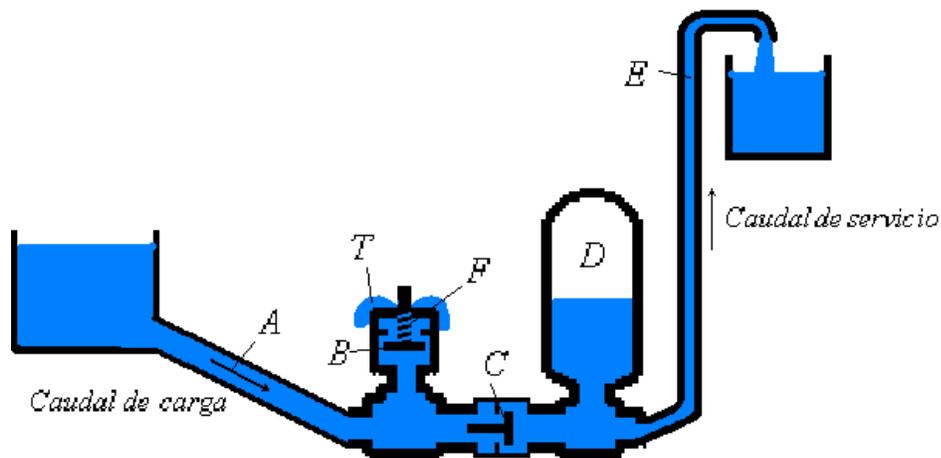


Figura N° 11

Esta onda de presión obliga la apertura de la Válvula de Retención C y con ello el paso de cierta cantidad de agua hacia la Cámara de Aire D y la Tubería de Servicio E. Una vez la presión de la onda sea igual a la presión ejercida tanto por el resorte de la Válvula de Retención C como por la Cámara de Aire D, la Válvula de Retención C se cierra. Luego de este cierre, por acción del resorte F se abre la Válvula de Impulso B iniciando de esta manera un nuevo ciclo. Cada ciclo de funcionamiento ocurre aproximadamente en un segundo.

CAPITULO V

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA BOMBA COMPACTA DE ARIETE HIDRAULICO

5.1 Factores de Diseño.

Antes de iniciar el diseño de un equipo o máquina se deben establecer varios factores que determinan las características prevalecientes en el diseño final, de tal manera que el prototipo satisfaga óptimamente las necesidades para las cuales fue concebido. A continuación se presentan los Factores de Diseño tomados en cuenta para el desarrollo de una Bomba Compacta de Ariete Hidráulico.

5.1.1 Materiales y Dispositivos.

Para sistemas de bombeo y tuberías forzadas los elementos de máquina deben ser construidos con materiales que garanticen un óptimo funcionamiento a las presiones y condiciones ambientales a las cuales serán sometidos dichos elementos.

El equipo diseñado debe ser capaz de soportar una presión máxima mayor a la generada por el Golpe de Ariete.

Por otra parte todos los elementos que forman parte del sistema de bombeo deben tener buenas características de resistencia a la corrosión tomando en cuenta las condiciones ambientales y de funcionamiento del sistema.

Otro parámetro de importancia en la escogencia de materiales y dispositivos, es su disponibilidad en el mercado Venezolano, ya que se quiere lograr que el prototipo pueda ser fabricado posteriormente evitando problemas en el suministro de materiales y garantizando a su vez los bajos costos de construcción y mantenimiento.

Tomando en cuenta todos los aspectos anteriores se eligen los materiales idóneos para la fabricación de los dispositivos de la máquina. En la mayoría de los casos los elementos de la máquina se encontraban prefabricados y fueron adaptados con leves modificaciones, ésta obtención de materiales prefabricados permite que la bomba sea aún más fácil de construir.

5.1.2 Dimensiones.

Para el dimensionamiento de la Bomba Compacta de Ariete Hidráulico, principalmente se tomó en cuenta su facilidad de transporte, ya que su utilización será en comunidades aisladas las cuales se caracterizan por su difícil acceso. Considerando ésta característica, se diseñó un modelo compacto y relativamente liviano, sin desmejorar las capacidades operativas de la bomba.

5.1.3 Equipos de Fabricación.

Dadas las condiciones de las comunidades aisladas, los equipos que se utilizarán para la fabricación de la bomba deben estar disponibles lo más cerca posible de dicha comunidad. Así como también, el proceso de fabricación debe ser lo más simple posible, procurando no usar mano de obra altamente calificada, que por lo general no está disponible en zonas aledañas a la comunidad aislada e incrementa los costos de fabricación.

5.1.4 Condiciones de Trabajo.

Otro factor que influye en el diseño son las condiciones de trabajo a las cuales debe funcionar la Bomba de Ariete Hidráulico. Estas condiciones son principalmente la carga de suministro, el caudal de suministro, la carga de servicio y el caudal de servicio. El prototipo trata de ser lo más versátil posible, lo cual le permite adaptarse con más facilidad a las condiciones de trabajo inherentes a una comunidad aislada, tomando en cuenta que las condiciones de funcionamiento varían considerablemente entre diferentes localidades, e inclusive en la misma comunidad dependiendo de la época del año.

5.1.5 Costos.

Con relación a los costos de fabricación se debe tener presente que la Bomba de Ariete Hidráulico diseñada, está dirigida a comunidades rurales, pequeñas y de bajos recursos. Por lo tanto los costos asociados a la construcción, deben ser acordes a las capacidades de adquisitivas de dichas comunidades. Siendo el costo de fabricación uno de los parámetros de más peso a la hora de elección de procesos de fabricación. También debe procurarse usar materiales de bajo costo pero sin sacrificar la calidad del producto final.

5.2 Diseño de Componentes.

5.2.1 Válvula de Impulso.

Para el diseño de la válvula de impulso se deben tomar en cuenta dos factores en particular: La fricción del agua al fluir a través de la válvula y el sello de la válvula.

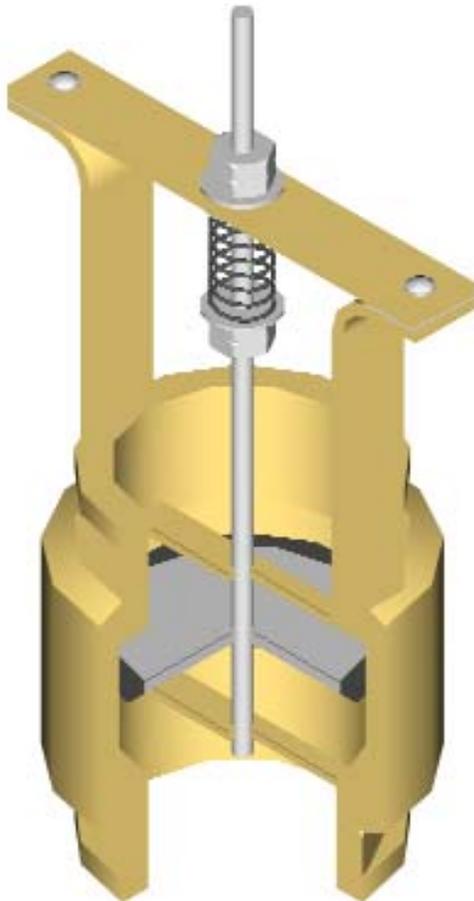
Fricción: Algunas de las Bombas de Ariete Hidráulico disponibles en el mercado internacional, están sobredimensionadas en relación con su capacidad de bombeo. Los sistemas utilizados por estas bombas son innecesariamente costosos debido a que la tubería de suministro es más grande de lo necesario y son ineficientes ya que al ser el diámetro de la tubería más grande se reduce la velocidad del agua.

Por otra parte, el diseño de la Válvula de Impulso debe facilitar el paso del agua de trabajo al exterior del cuerpo de la bomba para tratar de no restar energía a la masa de agua que proviene de la tubería de suministro.

Como regla general para el diseño de válvulas de impulso debe asegurarse que el área disponible en cualquier punto del cuerpo de la bomba y la Válvula de Impulso sea igual o superior que el área interna de la tubería de suministro.

Sello: Todo diseño de válvula de impulso debe garantizar un buen sellado cuando la válvula se encuentra cerrada. Algunos diseños cuentan con sellos de contacto metal-metal, pero ésta clase de sellado requiere de mucha precisión y deben ser hechos del material adecuado. Por ello se hace más fácil la utilización de un material flexible como la goma. Sin embargo se hace complicada la obtención de una goma o material flexible que garantice el sellado y no sufra un desgaste rápido.

Tomando en cuenta los factores de fricción, sellado y las condiciones inherentes al diseño explicadas en el punto 4.1 de este Capítulo, se obtuvo el siguiente prototipo:



Características:

- Válvula de retención de 2" modificada.
- Presión máxima 300 psi.
- Cuerpo: Latón aleación cobre-zinc (60% Cu, 40% Zn) Norma ASTM B-124
- Sello: Goma de Nitrilo vulcanizado.
- Soldadura de Latón, Oxiacetilénica.
- Puente: Latón aleación cobre-zinc (60% Cu, 40% Zn)
- Resorte de compresión de acero.
- Vástago Guía y varilla roscada Latón aleación cobre-zinc.

Figura N° 12 Válvula de Impulso

La tuerca superior roscada al vástago, limita la carrera de apertura de la válvula de impulso al hacer contacto con la pletina del puente guía atornillado (ver Figura 22). Éste vástago en su extremo superior consta de una varilla roscada, en la cual se encuentra la tuerca ajustable superior, un resorte de compresión y la tuerca ajustable inferior. El resorte de compresión comienza a comprimirse un instante antes de que el cierre de la válvula sea máximo, ayudando a la apertura de la misma, el resorte de compresión es retenido y calibrado por la tuerca ajustable inferior. La función de la pletina es guiar al vástago de la válvula en su carrera de apertura y cierre, y servir de tope para la calibración del resorte de compresión y la apertura de la válvula, la cual va a depender de las exigencias del sistema y las condiciones del lugar de instalación.

Este diseño ofrece una alta resistencia a la corrosión y a la fatiga, debido a las propiedades del material. A su vez ofrece facilidades de fabricación, reemplazo del resorte y también ofrece la posibilidad de ajuste de la apertura de la válvula y de la tensión del resorte, para adaptar la bomba a las condiciones de funcionamiento deseadas, aumentando la versatilidad del diseño.

5.2.2 Cámara de Aire.

La Cámara de Aire debe garantizar que el flujo en la tubería de servicio sea uniforme. De no ocurrir esto, la columna de agua en la tubería de servicio sería acelerada en cada ciclo, gastando energía y reduciendo la cantidad de agua bombeada. Para obtener un buen desempeño de la bomba es necesario que se mantenga una cantidad suficiente de aire dentro de la cámara todo el tiempo. Si el volumen de aire en la cámara es muy pequeño para absorber el súbito impacto, el fluido en la tubería de servicio sería afectado.

Por estas razones la Cámara de Aire debe ser dimensionada para asegurar que el volumen de agua que entra en cada ciclo sea pequeño en comparación con el volumen del aire dentro de la cámara. Como una guía, el volumen de aire debe ser como mínimo 20

veces el máximo volumen de agua bombeado por cada ciclo y preferiblemente no mayor de 50 veces para no elevar los costos. (Jeffery, Thomas 1994).

Ejemplo:

Para una bomba en particular, a baja altura de servicio (baja presión en la tubería de servicio), el máximo caudal esperado es de 20 litros / minuto, con una frecuencia de 80 ciclos / minutos. Por consiguiente por cada ciclo de bombeo entran en la cámara: $20/80 = 0.25$ litros. Entonces:

El mínimo volumen de aire dentro de la cámara es $= 20 * 0.25$ litros = 5 litros.

El volumen de aire óptimo dentro de la cámara es $= 50 * 0.25$ litros = 12.5 litros.

Para una Bomba de Ariete en particular, se requiere una cámara de aire grande si la carga en la tubería de servicio es baja, por que el volumen de agua que entra a la cámara en cada ciclo es relativamente grande.

Para sistemas que requieren de elevadas cargas en la Tubería de Servicio es utilizada una cámara pequeña ya que entra muy poca agua por cada ciclo de bombeo.

Al construir una cámara de aire más grande se pueden incrementar los costos. La decisión se basa en un balance entre el costo y desempeño.

Las características de la cámara de la Bomba Compacta de Ariete son:

Características:

- Bombona de Gas domestico de 10 KG. Sin válvula reguladora de presión.
- Volumen aproximado: 28 Litros
- Presión máxima: $16,73 \text{ Kg/cm}^2$

5.2.3 Válvula de Retención.

La válvula de Retención permite que el agua fluya en una sola dirección evitando que ésta retorne. Cuando la Válvula de Impulso ésta en su fase de cierre, la presión en la bomba comienza a elevarse en proporción a la reducción de velocidad del agua. La presión se eleva tan rápidamente que se alcanza la carga de servicio en pocos milisegundos. Idealmente la Válvula de Retención necesita tan solo un pequeño diferencial de presión a través de ella para abrirse rápidamente. Si por alguna razón la Válvula de Retención abriese lentamente u opusiera una gran resistencia al paso del agua a través de ella la presión en el cuerpo de la bomba aumentaría muy por encima de la presión en la tubería de servicio y efectivamente se perdería energía útil para el bombeo de agua, por consiguiente la eficiencia de la bomba se reduciría.

Mientras la Válvula de Retención se encuentra abierta existen ondas de choque viajando a través de la tubería de suministro. La velocidad del agua que se mueve dentro de la tubería de suministro y a través de la Válvula Retención se reduce como producto de éstas ondas. Cuando la velocidad del agua es insuficiente, la presión en el cuerpo de la bomba cae bruscamente y la Válvula de Retención se cierra. (Jeffery, Thomas 1994).

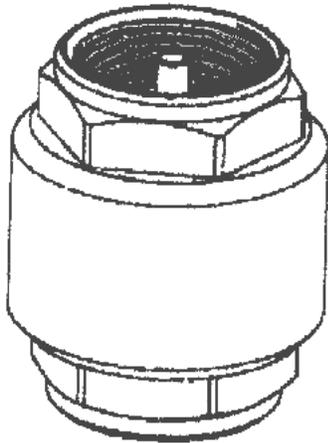
La Válvula de Retención debería cerrarse rápidamente tan pronto la presión en el cuerpo de la bomba está por debajo de la presión de la cámara de aire. En la practica ésta caída de presión es demasiado rápida y la válvula posiblemente no cierre simultáneamente, por lo cual alguna porción de fluido se devuelve al Cuerpo de la Bomba.

Con base en la descripción anterior de la operación de la Válvula de Retención, se puede decir que el dispositivo en cuestión debe cumplir los siguientes requisitos.

- La válvula deberá moverse desde su posición de totalmente cerrada a totalmente abierta y viceversa lo más rápido posible con un mínimo diferencial de presión a través de ella.

- La resistencia al movimiento de la válvula debe ser lo más pequeño posible.
- El área disponible para el flujo de agua a través de la válvula cuando está abierta debe ser lo más grande posible, de esta manera se reducen las pérdidas hidráulicas en este dispositivo.
- Sella completamente cuando esta cerrada.
- Opera por largos períodos de tiempo.

La Válvula de Retención seleccionada para el diseño fue la siguiente:



Características:

- Válvula de Retención de 1”
- Presión máxima 300 psi.
- Cuerpo: Latón aleación cobre-zinc (60% Cu, 40% Zn) Norma ASTM B-124
- Sello: Goma de nitrilo vulcanizada.

Figura N° 13 Válvula de Retención

5.2.4 Cuerpo de la Bomba.

El Cuerpo de la Bomba está conformado por todos aquellos elementos de acople entre los dispositivos donde ocurre el Golpe de Ariete, a saber: la Válvula de Impulso y la Válvula de Retención. Las principales características del Cuerpo de la Bomba son: Brindar un buen acople y sello entre las válvulas para evitar fugas y pérdidas de energía y permitir un rápido y fácil ensamblaje y desarme.

Estos elementos de acople para el diseño son los siguientes:

- “T” de 2” de acero galvanizado.

- Niple de 2" * 5 cm de acero galvanizado
- Niple de 1" * 5 cm de acero galvanizado
- Bushing de 2" a 1" de acero galvanizado.

(ver figura en los planos anexos)

5.3 Construcción

5.3.1 Manual de Instrucciones de Emsamblaje

En el siguiente instructivo se describe paso a paso el preparado de las piezas y materiales para el ensamblaje de la Bomba Compacta de Ariete Hidráulico.

Herramientas necesarias para la construcción y ensamblaje:

- Llave de tubo (inglesa) de hasta 2"
- Llave de tubo (inglesa) de hasta 1"
- Alicata
- Destornillador plano.
- Sierra manual para metales (segueta de hoja flexible).
- Martillo
- Taladro
- Mecha de 1/4"
- Mecha de 1/8"
- Equipo de Soldadura oxiacetilénica (soplete)

Materiales necesarios para la construcción y ensamblaje:

- Una (1) válvula de retención de latón de 2"
- Una (1) válvula de retención de latón de 1"
- Una (1) pletina de latón de 3/4" x 1/8" (1.9 x 0,32 cm) de 50 cm de longitud.

- Una (1) varilla roscada de latón de diámetro 1/4" y longitud 14 cm, preferiblemente de rosca gruesa.
- Dos (2) tornillos de diámetro 3/4"
- Cuatro (4) arandelas de presión de diámetro interno 3/4"
- Cuatro (4) tuercas de diámetro 3/4"
- Cuatro (4) tuercas de diámetro 1/4"
- Tres (3) arandelas diámetro 1/4"
- 1 resorte de acero.
- Una (1) union T de 2"x2"x2" de acero galvanizado.
- Una (1) union T de 3/4"x3/4"x3/4" de acero galvanizado.
- Tres (3) niples de 3/4", uno de 9 cm, otro de 3 cm y el último de 2 cm, de acero galvanizado.
- Un (1) niple de 1"x 5 cm de acero galvanizado.
- Un (1) niple de 2"x 5cm de acero galvanizado.
- Una (1) reducción de 1" a 3/4" (Bushing).
- Una (1) reducción de 2" a 1" (Bushing).
- Una bombona de gas de 10 kg. (vacía y sin la válvula reguladora).
- Teflon para uniones roscadas.

Previo al ensamblaje de la Bomba, se deben tomar en cuenta los siguientes puntos:

- No empezar a ensamblar la bomba antes de leer todas y cada una de las instrucciones descritas en este manual, en especial las referentes a la soldadura.
- Todas las roscas machos de los niples y los bushing deben, ser envueltas con una pequeña capa de teflon, para el sello de la unión y facilitar el roscado.
- Deben darse por lo menos 5 vueltas a las piezas a roscar, es decir, se debe introducir por lo menos 1cm de rosca macho a la hembra.

Con respecto a las piezas soldadas:

- Tomar precaución en las indicaciones dadas para las piezas a soldar.
- Las superficies a soldar deben estar libres de impurezas y oxido. Para ello se recomienda su limpieza con papel de lija u otro material que asegure lo anterior. Inclusive, las superficies roscadas deben estar libres de impurezas.
- Para soldar cada una de las piezas a la válvula de retención de 2", la misma debe ser sostenida firmemente de forma vertical, en sentido contrario del flujo a través de ella. Antes de depositar los cordones de soldadura, y en especial el de la unión entre la varilla roscada y vastago de la valvula, **debe protegerse el sello o goma de la válvula con agua, para no dañarla con el calor que genera la soldadura.** Para ello debe introducirse un suplemento de un material no inflamable dentro de la válvula de retención de 2" para evitar que ésta se cierre y exista contacto entre el metal y la goma del sello. Además también puede introducirse en la válvula una estopa bien humedecida con agua para evitar que el calor de la llama afecte el sello.
- Una vez hechas las soldaduras dejar enfriar al aire libre para obtener una buena unión.

Fabricación de Válvula de Impulso:

1. Cortar con la segueta, tres partes de la pletina de latón de 3/4" x 1/8" (1.9 x 0,32 cm) a las medidas indicadas para fabricar el puente guía. Dos partes iguales de 11cm para los parales y otra de 13 cm para la pletina atornillada.
2. Una vez cortadas las tres partes de la pletina de latón original, tomar la que se utilizará como pletina atornillada (la que mide 13 cm) y abrirle agujeros de 1/8" (3,2mm) a una distancia de 1 a 1,5 cm de los extremos de la misma
3. Abrir un agujero de 1/4" (6,5mm) en el centro de la pletina atornillada.

4. Tomar las 2 pletinas restantes (parales) de 11 cm cada una y abrir un agujero de 1/8" (3,2mm) a cada una en uno de sus extremos a una distancia de 1 a 1,5 cm del mismo extremo.
5. Las dos pequeñas pletinas que se utilizarán como parales, deben ser dobladas lentamente a 90° en los extremos perforados para obtener así, una pequeña superficie plana de 2 a 3 cm a 90° con respecto al resto de la pieza (Ver figura de la válvula de impulso). Esta pequeña superficie plana es para que asiente la pletina atornillada.
6. Extraer cuidadosamente el resorte interno de la válvula de retención de 2", haciendo palanca a cada una de las espiras del resorte hacia a fuera, comenzando por uno de los extremos del mismo resorte.
7. Tomar la varilla roscada y soldar uno de sus extremos al extremo superior del vastago de la válvula de retención de 2" con soldadura oxiacetilénica y latón como material de aporte. La varilla roscada y el vastago deben estar debidamente alineados para realizar la soldadura, la cual debe efectuarse alrededor de la unión. Para realizar éste proceso debe tenerse cuidado de no quemar la goma del sello de la válvula. La posición de la válvula al soldar debe ser como muestra la Figura N° 14.

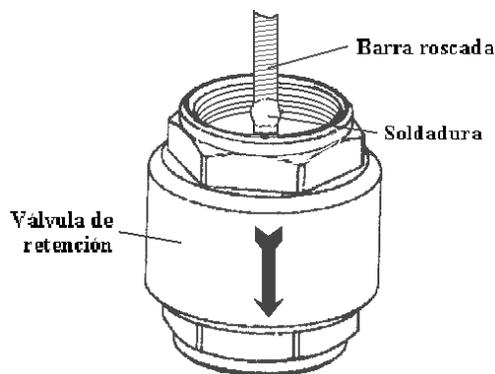


Figura N° 14

8. Tomar uno de los parales (pletinas de 11 cm) y soldar el extremo no doblado al centro de alguna de las caras externas de la "tuerca" de la válvula de retención de 2", que se utiliza de apoyo para roscar la válvula a otra pieza. Estas superficies

planas de la válvula son ocho y rodean a toda la válvula formando un octágono. El cordón debe depositarse como ilustra la Figura N° 15. Soldar similarmente el otro paral en la cara externa de la “tuerca” de la válvula” diametralmente opuesta a la primera, de tal forma que quede alineado con respecto al primer paral soldado.

9. Roscar o instalar en la varilla roscada de 1/4", los siguientes elementos en el mismo orden que se listan: dos tuercas, una arandela, resorte, arandela, pletina atornillada, arandela y dos tuercas.
10. Ajustar la pletina con los tornillos, las tuercas y las arandelas, a los parales del puente guía atornillado. Deben colocarse dos tuercas por cada tornillo para que no hallan desajustes de la pletina atornillada durante el funcionamiento de la bomba.

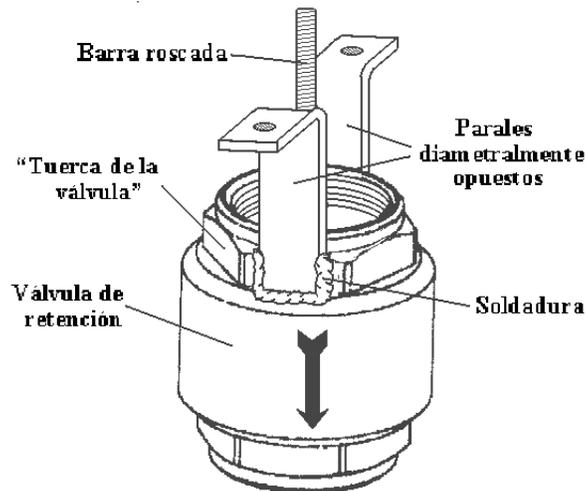


Figura N° 15

Para el cuerpo y demas elementos del conjunto de la bomba:

1. Tomar la bombona de gas y cortarle un recuadro de su asa, con una herramienta para metal, tal como lo indica la Figura N° 16. Se recomienda el uso de una segueta de hoja flexible para metal.
2. Roscar el niple de 3/4" x 3cm en la salida de la bombona.

3. Roscar al niple anterior, la "T" de 3/4", de tal forma de que quede alineada una de sus roscas hembras hacia el centro del corte hecho a la bombona en el ítem 1.
4. Roscar los niples de 3/4" x 9cm y 3/4" x 2cm, a la "T" de 3/4" anterior, el primero hacia el corte de la bombona y el segundo hacia el lado opuesto respectivamente.

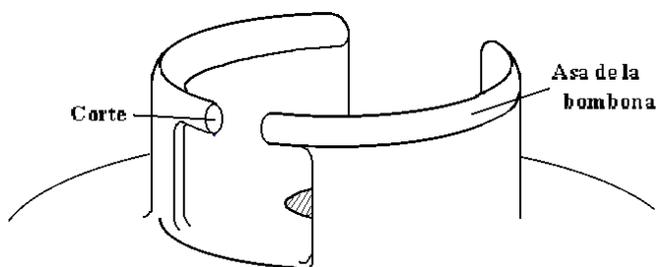


Figura N° 16

5. Roscar el bushing de 1" a 3/4" al niple de 3/4 x 2cm y roscar la válvula retención de 1" a este bushing. La válvula debe quedar roscada con la flecha de flujo marcada en su cuerpo apuntando hacia la bombona.
6. Roscar el niple de 1" x 5cm a la válvula de retención de 1", y el bushing de 2" a 1" a este niple.
7. Roscar la "T" de 2" al bushing de 2" a 1", de tal manera que la salida del pie de la "T" quede paralelo a la bombona y hacia la base de la misma.
8. Acoplar en la rosca hembra ortogonal de la "T" de 2" el niple de 2"x 5cm.
9. Roscar la válvula de impulso a éste último niple.

5.4 Costos.

Para calcular los costos de fabricación se investigó el precio de los componentes de fontanería en varios establecimientos comerciales de la ciudad de Caracas y se calculó el promedio de costos. En el caso de la válvula de impulso, en la tabla N° 4 aparece el costo de la pieza totalmente fabricada, la mano de obra más costosa empleada para construir ésta

pieza fue la soldadura oxiacetilénica y su valor fue obtenido de manera similar a los costos de los materiales de construcción.

A continuación se muestra una tabla de los componentes de la Bomba Compacta de Ariete Hidráulico, su precio unitario y el precio total de la bomba. Luego se muestra el precio de algunas bombas de tamaño y desempeño similar disponibles en internet.

Componentes	Precio/unidad (Bs)	Cantidad	Total (Bs)
Válvula de Impulso	20.000	1	20.000
Válvula de retención 1"	5700	1	5700
Niple de 2"	800	1	800
Niple de 1"	800	1	800
Niple de ¾"	700	3	2100
T de 2"	2700	1	2700
T de ¾"	500	1	500
Reducción de 2" a 1"	800	1	800
Reducción de 1 a ¾	400	1	400
Bombona de Gas de 10 Kg Nueva (vacía)	16.000	1	16.000
Bombona de Gas de 10 Kg Usada (vacía)	7.000 (opcional)	1	7.000
		Total	49.800

Tabla N° 2

El precio total de la Bomba Compacta de Ariete Hidráulico es de Bs 49.800, pero utilizando una bombona de gas usada el costo se reduce a Bs 40.800. Tomando como referencia el dolar a Bs 750/dolar los costos anteriores son : \$ 66.4 y \$ 54.4 respectivamente.

A continuación se presentan precios de varios fabricantes internacionales de Bombas de Ariete similares.

The Ram Company U.S.A.

Bomba de Ariete 2"\$ 337.00

Es fabricada en PVC para aguas blancas.

Rendimiento: 50%- 65%

Caudal bombeado: 2650 a 15000 litro diarios.

www.theramcompany.com

VSV Comercio e industria. Portugal

Bomba de Ariete 2"\$ 390.00

Fabricada en acero

Rendimiento 55%

Caudal Bombeado: 6000 a 53500 Litros diarios.

www.vsv.com

Hay que tomar en cuenta que los costos anteriores no incluyen impuestos de compra ni el transporte desde el país de origen al destino final de la bomba.

Comparando los precios de éstas bombas de fabricación foránea con los costos de construcción de la Bomba Compacta de Ariete Hidráulico, podemos concluir que vale la pena construir éste último modelo. Además de la ventaja de los costos iniciales, también existe la ventaja de que en caso de falla de algún componente de la Bomba Compacta de Ariete éste puede conseguirse fácilmente en el mercado nacional y reemplazarse de inmediato.

CAPITULO VI

INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA

6.1 Recolección y Análisis de las Condiciones de Trabajo.

Cada diseño de Bomba de Ariete Hidráulico tiene un rango de condiciones de entrada y de salida bajo las cuales puede operar. A continuación se presentan las variables que determinan las condiciones de trabajo.

6.1.1 En referencia a la Bomba de Ariete Hidráulico.

Eficiencia del Sistema (η): La eficiencia de una Bomba indica que cantidad de energía que entra a la bomba es convertida en energía útil. Los valores de eficiencia en una Bomba de Ariete pueden cambiar dependiendo de las condiciones de funcionamiento de la bomba en el sitio que ha sido instalada. Altos valores de eficiencia son asociados normalmente a bajos valores del caudal de suministro, mientras los bajos valores de eficiencia son producto de altos caudales de suministro. Un buen diseño de Bomba de Ariete tiene eficiencia del 50% aproximadamente. Para calcular la Eficiencia del Sistema utilizamos la siguiente formula:

$$\eta = \frac{q_s \cdot h_s}{Q_c \cdot H_c} \quad (13)$$

Siendo η un valor adimensional. Las variables de la ecuación 13 son descritas a continuación.

Caudal de Suministro (Q_c): El Caudal de Suministro es la totalidad del volumen de agua conducida desde la toma hasta la bomba a través de la tubería de suministro en un determinado periodo de tiempo. Existe un rango de caudales de suministro para el

funcionamiento de las Bombas de Ariete, el mínimo caudal al cual puede trabajar una bomba se le llama $Q_{c \min}$ y el máximo caudal que se puede conducir hasta la bomba a través de la tubería de suministro será $Q_{c \max}$. El Caudal de Suministro real depende de las variables del sitio de instalación y de la calibración de la Válvula de Impulso, a éste se le asigna la notación Q_c .

Carga de Suministro (H_c): Para fines prácticos, se puede decir que la Carga de Suministro es la diferencia de nivel entre la superficie de la toma hasta la entrada de la Bomba de Ariete Hidráulico. Las Bombas de Ariete son capaces de operar en un amplio rango de Carga de Suministro. La Carga de Suministro mínima para que la bomba funcione se denota $H_{c \min}$, algunas bombas pueden funcionar con Carga de Suministro mínimas por debajo de un metro, pero en condiciones normales se estima que la Carga de Suministro mínimas debe ser de al menos dos metros.

Caudal de Servicio (q_s): El Caudal de Servicio es el volumen de agua conducida a través de la tubería de servicio desde la bomba hasta el lugar de almacenamiento o utilización en un determinado periodo de tiempo. El Caudal de Servicio requerido por determinada comunidad se estima dependiendo del número de personas y animales a los cuales se prestará servicio, según la tabla N° 3.

Se debe tomar en cuenta que el numero de personas y animales crece en el tiempo, por ello el sistema ha instalar debe poseer una capacidad de servicio un poco mayor a la calculada mediante el uso de la clasificación anterior. Esto es válido en la medida que las condiciones naturales de la fuente de agua lo permitan. (www. theramcompany.com 2001).

Luego de haber estimado el Caudal de Servicio requerido por la comunidad se procede a calcular el Caudal de Servicio Teórico utilizando la siguiente fórmula.

$$q_s = \frac{\eta \cdot Q_c \cdot H_c}{h_s} \quad (14)$$

Cantidad de agua requerida por día en zonas rurales	
Usuario	lts/día
Una Persona	100-200
Un Alumno escolar	10-15
Un Paciente de hospital	100-400
Un Caballo o vaca de carne	20-50
Una Vaca lechera	120
Animal mediano (cerdo, oveja, etc.)	10-20
Animal pequeño (ave, conejo, etc.)	2-5

Tabla N° 3

El valor de Q_c es introducido en litros por minuto y los valores de H_c y h_s en metros, el resultado q_s se obtiene en litros por minuto. Aunque es preferible expresarlo luego en litro por día. Comparando los dos resultados, el Caudal de Servicio Requerido y el Caudal de Servicio Teórico se puede concluir si sería satisfactorio instalar la Bomba de Ariete. Para que sea satisfactoria dicha instalación, el Caudal de Servicio Requerido debería ser menor al Caudal de Servicio Teórico

Carga de Servicio (h_s): Para fines prácticos se puede decir que la Carga de Servicio es la diferencia de nivel entre la bomba y el lugar de almacenamiento o utilización del agua bombeada. Existe un máximo valor de Carga de Servicio a la cual la bomba puede operar, este valor se denota como $h_{s \text{ max}}$, si este valor es excedido, la bomba puede continuar operando pero los altos esfuerzos durante la operación pueden inducir a una falla. Si no se conoce la Carga de Servicio máxima para una bomba en particular, puede asumirse 100 mts. Para bombas construidas de acero. . (Jeffery, Thomas 1994).

6.1.2 En referencia al lugar de Instalación.

Caudal Disponible (Q_d): El Caudal Disponible es el caudal que puede suministrar la fuente o cuerpo de agua. La cantidad de agua disponible en ríos y manantiales varían según las estaciones del año y la región donde se instale el sistema. Ésta variable debe ser medida en la estación de sequía para garantizar el uso de la bomba durante todo el año, ya que durante esta estación la disponibilidad del agua de la fuente es reducida y por ende el servicio.

Carga de Suministro Disponible (H_{cd}): La Carga de Suministro es la máxima caída de agua que puede aprovecharse en el sitio donde se instalará el sistema. Debe procurarse que el desnivel de la caída de agua se produzca en la menor distancia horizontal posible. Esto significa que una mayor pendiente influye positivamente en el funcionamiento de la bomba. Aunque la Bomba de Ariete puede funcionar en pendientes poco pronunciadas, su instalación eleva los costos debido a la gran longitud de la tubería de suministro.

6.2 Instalación de Componentes del Sistema de Bombeo.

A continuación se describe la instalación de los Componentes del Sistema por separado.

6.2.1 Toma de agua.

La Toma es la estructura que permite la entrada del agua a la tubería de suministro, manteniendo un caudal y nivel constante para cumplir con las condiciones de entrada de agua a la bomba para satisfacer un determinado servicio. Otra función de la Toma es eliminar cualquier tipo de objetos presentes en el flujo de agua de la fuente como hojas, arena o pequeñas piedras, que puedan perturbar el funcionamiento óptimo de la bomba de ariete.

Dependiendo del cuerpo de agua que se disponga para la instalación de la bomba, bien sea un manantial, una quebrada, un río caudaloso, etc., debe elegirse entre las diferentes alternativas para la construcción de la Toma de agua. A continuación se describen algunas de las alternativas más comunes:

Toma de Agua en Manantiales: Las características generales de la Toma en Manantiales son las siguientes:

- La construcción de un dique o caja para coleccionar el agua del manantial.
- Se provee a la Toma de un cobertor o techo para evitar la contaminación.
- El desvío de cualquier flujo de agua de los alrededores para evitar mezclar el agua del manantial con el agua de lluvia.

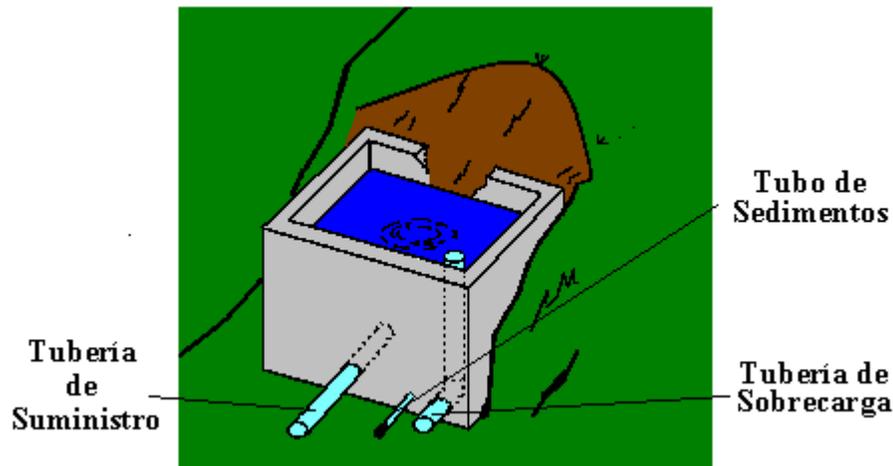


Figura N° 17 Toma en manantial

Toma de Agua con Dique: Este sistema es usado cuando la fuente de agua es una quebrada, arroyo o un río de poco caudal, actuando como desvío de todo o parte del caudal del cuerpo de agua hacia la tubería de suministro. Los materiales de construcción del Dique pueden variar dependiendo de las exigencias de la instalación, entre los cuales se tienen las piedras o concreto. Los principales componentes del Dique son desagüe o vertedero, conexión para la tubería de suministro, rejilla o pantalla y la purga.

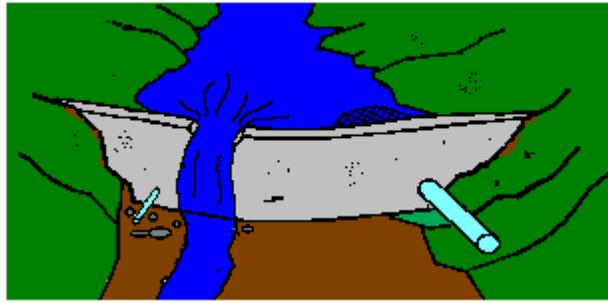


Figura N° 18 Esquema del dique

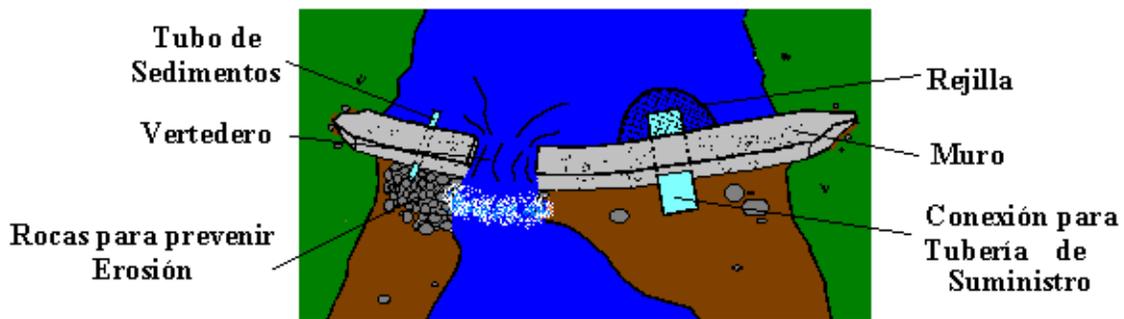


Figura N° 19

Toma Adjunta: Éste sistema se utiliza cuando el cuerpo de agua es un río muy caudaloso, para facilitar el flujo del agua que no se va a utilizar y la construcción misma de la toma, nótese en la Figura N° 20 que la construcción permite que el río siga su curso en libertad. Debido a las características del cuerpo de agua deben emplearse materiales resistentes como concreto y acero. El diseño contempla la magnitud de las crecidas del río evitando su destrucción y permitiendo un servicio continuo de la bomba en estas eventualidades.

Cualquiera que sea la Toma instalada, la misma debe poseer una válvula de paso entre la toma y la, para el mantenimiento de la tubería de suministro o su reemplazo.

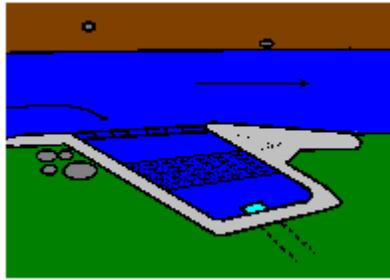


Figura N° 20

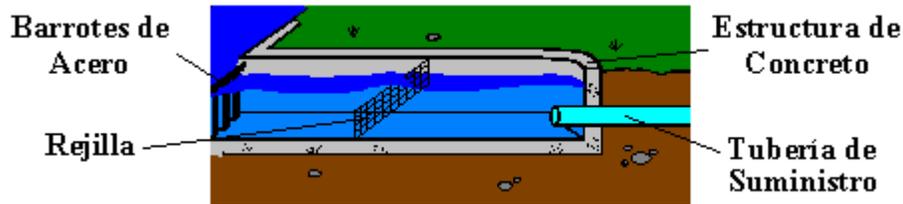


Figura N° 21 Corte longitudinal

6.2.2 Tubería de Suministro.

La Tubería de Suministro debe instalarse de tal manera que sea lo más recta posible, evitando al máximo la flexión de la misma. Debe tomarse en cuenta que en algunos puntos de la Tubería pueden acumularse considerables cantidades de aire si la misma posee elevaciones intermedias.

En la medida de lo posible la Tubería de Suministro debe instalarse bajo tierra para su protección. Y en caso de superficies rocosas se recomienda el uso de capas de cemento que protejan a la tubería. En lugares donde la tubería no pueda ser enterrada deben usarse anclajes de cemento y acero, que garanticen su inmovilidad mientras la bomba está en funcionamiento. Es recomendable el uso de anclajes a cada tres metros de Tubería.

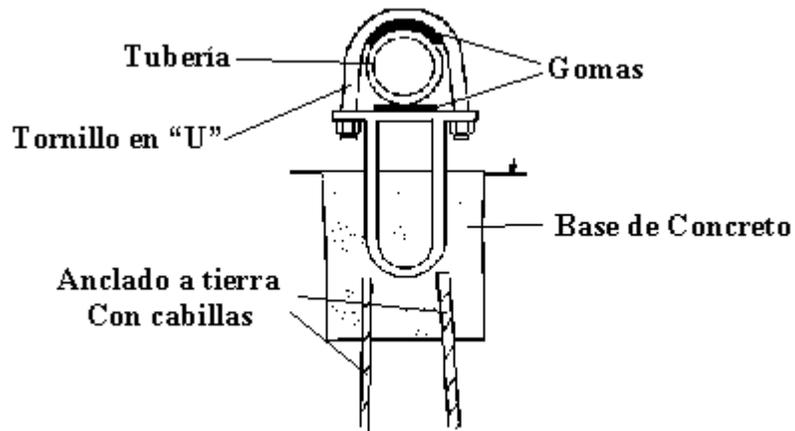


Figura N° 22 Esquema de Anclaje

La conexión entre la Tubería de Suministro y la bomba debe poseer una válvula de globo para permitir el mantenimiento a la bomba sin descargar la Tubería de Suministro. La conexión entre la toma y la Tubería de Suministro debe efectuarse preferiblemente con una junta flexible.

También hay que recordar que la Tubería de Suministro debe tener un recorrido horizontal entre 3 y 5 veces la Carga de Suministro para que pueda funcionar adecuadamente el sistema.



Figura N° 23 Tubería de Suministro

6.2.3 Bomba de Ariete Hidráulico.

La Bomba de Ariete Hidráulico debe ser instalada sobre una base con las siguientes características:

- **Estabilidad:** Debe ser construida sobre suelo firme que evite el movimiento bajo las condiciones de vibración a las cuales la Bomba opera. Cuando la Bomba se instale sobre suelo inestable, la base debe ser anclada usando cabillas de acero que penetren en el suelo evitando el movimiento de la base.
- **Tamaño:** La base debe ser lo suficientemente grande para acomodar el número de bombas que serán usadas, dejando espacio entre ellas para las actividades de mantenimiento. La base debe tener al menos 15 cm de profundidad y una distancia entre cada bomba y las paredes de al menos 50cm.
- **Refuerzos:** Preferiblemente debe existir una estructura de acero dentro del concreto de la base para evitar que ésta se quiebre.
- **Orientación:** La bomba de Ariete y su base debe estar particularmente alineada con la tubería de suministro para evitar esfuerzos y pérdidas en la conexión.
- **Drenaje:** la superficie de la base de la bomba debe permitir el adecuado drenaje del agua de trabajo hacia el canal de desagüe, por medio de cierta inclinación.
- **Protección:** Se recomienda la construcción de una caja protectora para albergar a la bomba, para evitar el contacto de animales con la bomba que puedan ocasionar daño al sistema o interrumpir su funcionamiento.
- **Anclajes:** La bomba debe estar anclada a la base mediante uñas atornilladas a la base. La base debe poseer una estructura que permita dicho anclaje, esto se puede lograr mediante la implementación de perfiles IPN en la base.

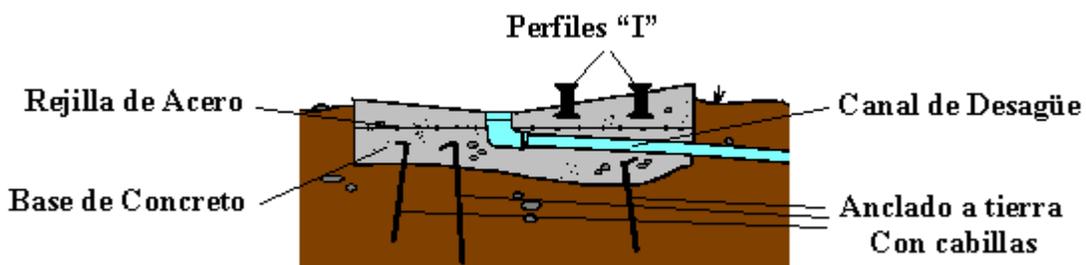


Figura N° 24 Base de la Bomba

En términos generales la base la bomba debe ser construida de concreto, ya que es el material de construcción que garantiza que la base de la bomba cumpla con todas las características anteriores.

La instalación de la bomba requiere de ciertos accesorios que dependen de las condiciones de trabajo de la bomba en el lugar de instalación. (ver Anexo III)

Accesorios

- **Válvula de paso:** Permite detener el paso de agua desde la tubería de suministro hacia la bomba. Instalar para alturas de suministro mayores a 5 metros. Preferiblemente usar una válvula de globo del mismo diámetro nominal de la tubería de suministro.
- **Válvula de alivio:** Permite accionar el sistema en instalaciones con alturas de suministro mayores a 5 metros. Debe ser exclusivamente una válvula de globo.
- **Válvula de Mantenimiento:** Permite descargar el agua contenida en la cámara de aire, para hacer el mantenimiento de la misma sin descargar la tubería de servicio. Se recomienda su uso en instalaciones con alturas de servicio mayores a 10 metros. Debe ser utilizada una válvula de compuerta.
- **Válvula de servicio:** Cierra el paso de agua desde la bomba hacia la tubería de servicio y viceversa. Es útil para hacer mantenimiento a la bomba o a la tubería de servicio sin necesidad de descargar la cámara de aire.

6.2.4 Tubería de Servicio.

La Tubería de Servicio debe instalarse bajo tierra a poca profundidad, para protegerla de animales, personas, etc. Debe utilizarse la Tubería adecuada para la presión de trabajo a la cual se va a llevar el servicio, colocando tuberías más fuertes en los primeros tramos cercanos a la bomba y tuberías menos resistentes hacia el tanque de almacenamiento, esto con el objeto de reducir los costos de Tubería de Servicio. La

conexión entre la bomba y la Tubería de Servicio debe ser preferiblemente de material flexible.

Al instalar la Tubería de Servicio deben evitarse los puntos altos en los cuales puedan acumularse cantidades de aire indeseables.

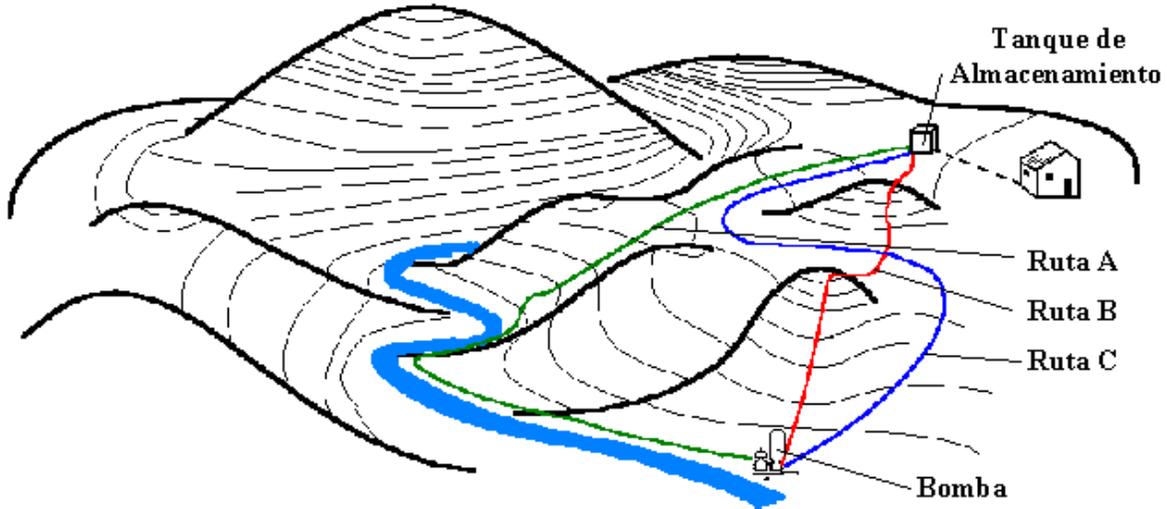


Figura N° 25 Tubería de Servicio

En la Figura N° 25 se ilustran tres rutas a seguir por la tubería de servicio. En la ruta A dibujada en color verde se observa que un gran trayecto de la tubería es realizado a baja altura, esto trae como consecuencia que la presión es alta en un gran tramo de la tubería, la cual debe resistir dicha presión y por lo general las tuberías para altas presiones son más costosas. En la ruta B dibujada en color rojo se puede observar que existen puntos elevados intermedios en la tubería, en éstos punto pueden concentrarse cantidades de agua considerables y como consecuencia de esto la eficiencia del sistema puede reducirse. La ruta C es la ruta más adecuada, ya que se evitan largos trayectos a altas presiones, así como también los puntos elevados intermedios.

6.2.5 Tanque de Almacenamiento.

El tanque de almacenamiento puede ser construido de materiales propios del lugar de instalación. Para grandes sistemas de bombeo, un gran volumen de agua debe ser almacenado durante la noche y un tanque lo suficientemente grande y resistente para este almacenamiento, puede ser muy costoso no solo por el tamaño del tanque sino por las fundaciones sobre las cuales debe ser instalado. Actualmente existen Tanques prefabricados de poliuretano que pueden cumplir con el almacenamiento deseado, o si se requiere de un tanque de mayor volumen, puede fabricarse en el sitio con concreto. Se deben tomar en cuenta las condiciones del suelo a la hora de construcción de un tanque. En ciertos lugares las condiciones del suelo no son las más adecuadas, por lo cual hay que construir fundaciones y bases capaces de soportar el peso que otorgan los tanques llenos de agua, incrementándose así los costos de instalación considerablemente; en ocasiones los costos de instalación de los Tanques de Almacenamiento incluyendo sus bases llegan a abarcar el 50% de los costos totales de la instalación del sistema completo de bombeo.

Cualquiera que sea el tanque a instalar, éste debe estar situado a una altura un poco mayor que los puntos de abastecimiento, con el objeto de que el agua llegue a estos puntos mediante la fuerza de gravedad desde el Tanque de Almacenamiento. Es recomendable que el Tanque de Almacenamiento este cerrado para prevenir la contaminación del agua.

Es conveniente mantener constante la altura de servicio del sistema. Para lograr esto, la tubería de servicio debe entrar al tanque por la parte superior del mismo, es decir, por encima del nivel de sobrecarga. De esta manera la altura de servicio es la misma, no importando el nivel de agua dentro del Tanque de Almacenamiento, éste arreglo previene que el agua bombeada retorne por la tubería de servicio y que la bomba falle en su funcionamiento.

6.2.6 Canal de Desagüe.

El Canal de desagüe debe construirse en la base del cuerpo de la bomba, a partir del drenaje de la misma base. El canal debe permitir el flujo del agua de trabajo de todas las bombas de Ariete ubicadas en la misma base, para lograr este objetivo el área transversal de la tubería debe ser igual a las sumas de las áreas transversales de las tuberías de carga de cada bomba, en el caso de que existan dos o más bombas. Se recomienda que la tubería usada para el canal sea de PVC para aguas negras.

6.3 Puesta en Marcha.

6.3.1 Acciones Previas.

Una vez instalado el sistema, deben tomarse ciertas precauciones antes de encender la bomba:

- Asegurarse de que todas las conexiones estén debidamente ajustadas.
- Asegurarse que la bomba se encuentre sujeta firmemente a la base.
- Asegurarse que las tuercas y tornillos de la válvula de impulso estén ajustadas.
- Chequear que el canal de desagüe drene debidamente sin posibles escapes.
- Chequear que la válvula de impulso abra y cierre efectivamente.
- Manteniendo la válvula de impulso abierta, se abre la válvula de paso en la entrada de la tubería de suministro y luego en la entrada de la bomba, permitiendo la salida del agua a través de la válvula de impulso durante un minuto, esto con el fin de garantizar que la tubería de suministro esté llena de agua y no existe aire dentro de la misma.
- Manteniendo llena la tubería de suministro y el cuerpo de la bomba con la válvula de impulso cerrada chequear que existen escapes de agua a través de estos elementos.

6.3.2 Accionamiento del Sistema.

Aunque las bombas de ariete inician su funcionamiento fácilmente, existen ciertos procedimientos que deben ser llevados a cabo cuidadosamente, sobre todo cuando la altura de suministro es grande. A continuación se listan los pasos pertinentes para el inicio del funcionamiento de la bomba:

- Inicialmente se encuentra cerrada la válvula de paso ubicada entre la tubería de suministro y la bomba de ariete.
- Abrir la válvula de impulso.
- Con la válvula de impulso abierta, abrir rápidamente la válvula de paso anterior.

Al fluir el agua por válvula de impulso esta cierra súbitamente. Luego debe abrir automáticamente para dejar fluir otra cantidad de agua y repetir este ciclo continuamente. De no ocurrir esto deben tomarse las siguientes acciones:

En sistemas con poca carga de suministro: Mantener la válvula de impulso abierta con la mano ejerciendo presión suficiente para esto. El agua fluirá más rápido a través de la abertura, luego debido a esto la válvula debe cerrarse súbitamente por sí misma. Cuando esto ocurra debe presionarse inmediatamente para reabrir la válvula, se sentirá un punto después de cerrar, en el cual la válvula abre fácilmente. Mantener ésta ayuda a la válvula durante aproximadamente siete ciclos y luego verificar que funcione normalmente, aproximadamente 1 ciclo por segundo.

En sistemas con elevada carga de suministro: En estos casos es difícil abrir manualmente la válvula de impulso. Para ello la bomba debe poseer una válvula de globo para aliviar la presión dentro del cuerpo de la bomba y así poder maniobrar la válvula de impulso a través de éste dispositivo. Se Realiza el mismo procedimiento anterior pero con la ayuda de la válvula de alivio.

En caso de que persistan problemas en el accionamiento de la bomba usando los procedimientos anteriores, verificar nuevamente los pasos del ítem **5.3.1** o realizar los pasos de los siguientes ítem.

6.3.3 Como Detener el Sistema.

Para detener el funcionamiento de la bomba, debe cerrarse cualquiera de las válvulas de la tubería de suministro o de poder hacerlo, mantener cerrada la válvula de impulso.

6.3.4 Calibrando la Bomba.

La mayoría de las válvulas de impulso de las bombas de ariete, pueden calibrarse para un mejor desempeño del sistema. Usualmente esto se logra con el ajuste del movimiento de la válvula de impulso o con el nivel de la fuente, éste último con menos frecuencia. Este ajuste puede ser complicado dependiendo de las condiciones a satisfacer un lugar en específico y las condiciones dadas por la fuente y el lugar de la instalación.

La calibración de la bomba de ariete busca optimizar los siguientes puntos:

- **Punto de Bombeo Máximo:** Cuando se dispone de suficiente agua de la fuente la calibración para un mayor servicio es la ideal. Esto coincide con una larga duración del ciclo de bombeo o una alta presión en la fuente, permitiendo una mayor velocidad del flujo de agua a través de la tubería de suministro y por ende una mayor energía disponible para el servicio. Sin embargo debe tomarse en cuenta que una mayor energía del fluido se traduce en un aumento de la probabilidad de falla de la bomba. Por esta razón no deben excederse los límites recomendados por los fabricantes de la bomba.
- **Punto de Eficiencia Máxima:** Cuando la cantidad de agua en la fuente es limitada, debe procederse a calibrar la bomba en el punto de eficiencia máxima, para tratar de aprovechar toda la energía disponible de la fuente. El punto de eficiencia máxima se

logra cuando se utiliza un mínimo del caudal y carga de suministro, para bombear la mayor cantidad posible de agua y a una mayor altura.

Como se mencionó anteriormente, la calibración de la válvula depende del servicio que se quiera satisfacer y la limitan las condiciones dadas por la fuente y el lugar. El servicio puede requerir mayor flujo de agua por unidad de tiempo (caudal) o mayor altura de servicio. Para mayor caudal, la apertura de la válvula de impulso debe ser relativamente pequeña, lo que se traduce en una reducción del tiempo del ciclo de bombeo. En el caso de requerir mayor altura de servicio, la apertura de la válvula de impulso debe ser mayor, permitiendo un golpe de ariete más efectivo, es decir, un golpe de ariete de mayor energía al permitir un mayor aumento de la velocidad del flujo de agua en la tubería de suministro. La calibración para ambas situaciones se efectúa de la siguiente forma:

1. Con el sistema detenido y la válvula de impulso totalmente abierta, se coloca la tuerca ajustable superior en el tope superior de la pletina (ver Figura N° 26)
2. Una vez hecho lo anterior, se acciona el sistema y se verifica si el resorte hace tope en la pletina actuando sobre el vástago para abrir la válvula. De no abrir la válvula, se lleva la tuerca ajustable inferior dos vueltas hacia arriba comprimiendo el resorte hasta un punto determinado. Este paso se repetirá hasta que el ciclo de funcionamiento de la bomba sea continuo, es decir, que la válvula de impulso se abra automáticamente.
3. Luego de verificar que el funcionamiento de la bomba es continuo, con el sistema detenido y la válvula totalmente abierta, se irá cerrando la válvula por medio del ajuste de la tuerca ajustable superior. Este ajuste y el del paso 2, se harán tantas veces como sea necesario para el óptimo funcionamiento de la bomba.

Los puntos 2 y 3, son pasos que en la mayoría de los casos deben llevarse a cabo repetidas veces, ya que ambas presentan gran relación para la calibración de la bomba. Debe recordarse que el punto óptimo de funcionamiento de la bomba es de aproximadamente un ciclo por segundo con un rendimiento de 60%.

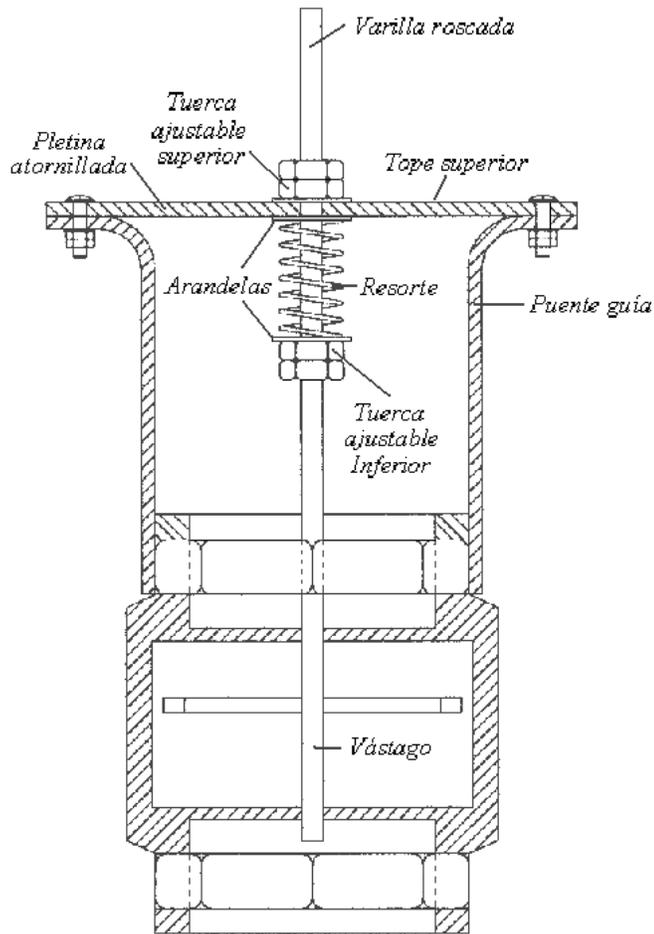


Figura N° 26 Válvula de Impulso

6.3.5 Mantenimiento.

Por las características del diseño de la bomba, la misma no requiere de un mantenimiento sofisticado y continuo. Sin embargo, sí requiere de una rutina de inspección y mantenimiento simple, la cual puede ser realizada por personas propias de la comunidad.

Mientras el sistema esté en funcionamiento deben hacerse las siguientes inspecciones y rutinas de mantenimiento:

Rutina de Inspección y Mantenimiento Quincenal:

- Verificar que la pletina está firmemente atornillada al puente guía de la válvula de impulso, de no estarlo, ajustar las tuercas.
- Constatar que la bomba esté debidamente anclada a su base, de modo que no existan vibraciones. Para ajustar el anclaje se debe detener el sistema.
- Asegurar que no existen fugas de agua en las tuberías de suministro y de servicio.
- Chequear que no existan fugas del agua de trabajo en el canal de desagüe.
- Verificar que el resorte esté funcionando adecuadamente. En caso de que el mismo se encuentre deteriorado, reemplazarlo desatornillando la pletina del puente guía y sacando las tuercas que lo retienen en la varilla del vástago de la válvula de impulso. Luego debe recalibrarse la bomba.

Con el sistema detenido:

- Limpiar la rejilla de la toma.
- Cerrar la válvula de impulso y verificar que no haya fugas a través del sello de la misma.

Rutina de Inspección Trimestral:

- Revisar los anclajes de la tubería de suministro y de servicio. Reparar en caso de algún daño.
- Revisar el estado de la toma, del terreno adyacente a la toma, del dique, etc. Debe evaluarse la condición del terreno por los posibles desplazamientos del mismo, para no perder parte del sistema en una repentina crecida del río.
- Chequear el nivel de sedimentos en la toma. Debe eliminarse cuando el sedimento rebasa el nivel de la tubería de carga.

Trimestralmente se debe vaciar el contenido de agua dentro de la cámara de aire para asegurar un adecuado volumen de aire dentro de la misma. Éste procedimiento debe realizarse a través de la válvula de mantenimiento, colocada entre la salida de la bomba y la

tubería de servicio. Deteniendo el sistema, cerrando la válvula de la entrada de la bomba y cerrando la de entrada a la tubería de servicio, se abre la válvula de mantenimiento lentamente, liberando gradualmente el contenido de la cámara de aire. Luego de vaciada la cámara de aire, se cierra la válvula de mantenimiento y se acciona nuevamente la bomba.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1 CONCLUSIONES

La Bomba de Ariete Hidráulico es un sistema de bombeo adecuado para ser utilizado en áreas donde escaseen los recursos energéticos, bien sea electricidad o combustibles fósiles, y se cuente con un cuerpo de agua corriente que suministre las condiciones mínimas para el funcionamiento del sistema. Inclusive el sistema es apropiado como una alternativa de ahorro de energía que fomenta la autosuficiencia de las regiones, en áreas donde estén al alcance los recursos energéticos para instalar cualquier otro sistema de bombeo, lo cual contribuye enormemente para el desarrollo sustentable de la región.

El desarrollo de este trabajo investigativo, nos ha llevado a puntualizar los siguientes aspectos de relevancia:

En torno a las Bombas de Ariete en general:

- El poco mantenimiento que es requerido por este sistema facilita su uso en comunidades donde escasea mano de obra calificada en el área de la mecánica, específicamente en sistemas de bombeo. Aumentando de ésta manera la capacidad de autogestión de las áreas rurales.
- Las bombas de ariete pertenecen a los sistemas de bombeo que ahorran más energía, aprovechando la energía hidráulica presente en el mismo cuerpo de agua que será usado como fuente de suministro.
- El uso de las bombas de ariete es restringido a zonas montañosas, lo cual no quiere decir que no se puedan instalar en otros lugares con otras características.
- Aunque las bombas de ariete son un sistema económico y de fácil instalación, requiere aparte del elemento principal (bomba), dispositivos comunes a cualquier

instalación hidráulica, como tanques, tuberías, válvulas, entre otros, para lo cual la mayoría de las comunidades rurales del país no cuenta con los recursos económicos necesarios para la instalación.

En torno al prototipo construido:

- Se logró construir una bomba compacta, de fácil transporte.
- El costo del prototipo es competitivo comparado con otras bombas de ariete de fabricación en el exterior e inclusive con otros diferentes tipos de sistemas de bombeo.
- El sistema fabricado posee un rendimiento que lo sitúa dentro del rango de eficiencias típicas de las bombas de ariete más comercializadas (50% - 60%).
- La construcción del prototipo puede realizarse de manera artesanal, con materiales de alta disponibilidad en el mercado nacional, lo cual cumple perfectamente con el concepto de tecnologías apropiadas y desarrollo sustentable.
- El prototipo construido es de gran versatilidad, ya que puede adaptarse a una gran variedad de condiciones de trabajo incluyendo cuerpos de agua con caudal y carga de suministro (80 cm) muy reducidas.

7.2 RECOMENDACIONES

- Promover el uso del Ariete Hidráulico en el medio rural Venezolano.
- Realizar estudios experimentales de mayor profundidad a la Bomba Compacta de Ariete Hidráulico construida.
- Fomentar el aporte de la Universidad Central de Venezuela a las comunidades rurales del país.
- Promover el desarrollo de las tecnologías apropiadas en la Universidad Central de Venezuela, con el fin de buscar el desarrollo sustentable del país.

Referencias Bibliográficas.

- BENJAMÍN, Wylie E., Streeter Victor, 1978, “Fluid Transients”, McGraw Hill, U.S.A.
- GLYNN, Henry J., Heinke Gary W., 1999, “Ingeniería Ambiental” Prentice Hall, Segunda Edición, México.
- HI-RAM PUMP, “The new, simple and economic pump”
www. Banford.com.
- JADE MOUNTAIN, 1999-200, “Appropriate Technology News” vol VIII N° 1. U.S.A.
- JEFFERY, T.D., Thomas T.H., Smith A.V., Glover, P.B., Fountain, P.D. 1992, “Hydraulic Ram Pump”, Intermediate Technology Publication. London U.K.
- JOHNSTON, David, 2001 “Sustainable Solutions”, Jade Mountain.
www. Jademountain\renewable energy\articles and information.
- LIFEWATER, “designing a hydraulic ram pump”
www. Lifewater.com
- LOPEZ, R Luis A. 1996 “Manual del Constructor Popular” Imagen Editorial. 22ª edición. Venezuela.
- LOPEZ, R Luis A. 1990 “Agua, Instalaciones Sanitarias en los Edificios” Editado por el Autor. Edición de Prueba. Venezuela.
- PARMAKIAN, Jonh, 1963 “Waterhammer Analysis” Dover Publications Inc. NY U.S.A.
- POTTER, Merle C. Wiggert David C. 1998 “Mecánica de Fluidos” 2ª Edición, Prentice Hall
- RAMIREZ, Carlos, Palmieri Nicolino, 1997 “Diseño y Construcción del Banco de Prueba de una Bomba de Ariete” Tesis U.C.V. Facultad de Ingeniería.
- RIFE RAMS. www. Riferams.com 2001
- THE RAM COMPANY, “Pumping Water Without Electricity”
www. theramcompany.com

- TROY, Steve 2001 “What is Appropriate Technology? & Green Materialism and Psychological Pollution” [www. Jademountain\renewable energy\articles and information.](http://www.Jademountain.com/renewable%20energy/articles%20and%20information)
- ATLAS TEDUCA, 1980. Editorial Santillana s.a. y Teduca.

CONCLUSIONES

La Bomba de Ariete Hidráulico es un sistema de bombeo adecuado para ser utilizado en áreas donde escaseen los recursos energéticos, bien sea electricidad o combustibles fósiles, y se cuente con un cuerpo de agua corriente que suministre las condiciones mínimas para el funcionamiento del sistema. Inclusive el sistema es apropiado como una alternativa de ahorro de energía que fomenta la autosuficiencia de las regiones, en áreas donde estén al alcance los recursos energéticos para instalar cualquier otro sistema de bombeo, lo cual contribuye enormemente para el desarrollo sustentable de la región.

El desarrollo de este trabajo investigativo, nos ha llevado a puntualizar los siguientes aspectos de relevancia:

En torno a las Bombas de Ariete en general:

- El poco mantenimiento que es requerido por este sistema facilita su uso en comunidades donde escasea mano de obra calificada en el área de la mecánica, específicamente en sistemas de bombeo. Aumentando de ésta manera la capacidad de autogestión de las áreas rurales.
- Las bombas de ariete pertenecen a los sistemas de bombeo que ahorran más energía, aprovechando la energía hidráulica presente en el mismo cuerpo de agua que será usado como fuente de suministro.
- El uso de las bombas de ariete es restringido a zonas montañosas, lo cual no quiere decir que no se puedan instalar en otros lugares con otras características.
- Aunque las bombas de ariete son un sistema económico y de fácil instalación, requiere aparte del elemento principal (bomba), dispositivos comunes a cualquier instalación hidráulica, como tanques, tuberías, válvulas, entre otros, para lo cual la mayoría de las comunidades rurales del país no cuenta con los recursos económicos necesarios para la instalación.

En torno al prototipo construido:

- Se logró construir una bomba compacta, de fácil transporte.

- El costo del prototipo es competitivo comparado con otras bombas de ariete de fabricación en el exterior e inclusive con otros diferentes tipos de sistemas de bombeo.
- El sistema fabricado posee un rendimiento que lo sitúa dentro del rango de eficiencias típicas de las bombas de ariete más comercializadas (50% - 60%).
- La construcción del prototipo puede realizarse de manera artesanal, con materiales de alta disponibilidad en el mercado nacional, lo cual cumple perfectamente con el concepto de tecnologías apropiadas y desarrollo sustentable.
- El prototipo construido es de gran versatilidad, ya que puede adaptarse a una gran variedad de condiciones de trabajo incluyendo cuerpos de agua con caudal y carga de suministro (80 cm) muy reducidas.

RECOMENDACIONES

-

RECOMENDACIONES

- Promover el uso del Ariete Hidráulico en el medio rural Venezolano.
- Realizar estudios experimentales de mayor profundidad a la Bomba Compacta de Ariete Hidráulico construida.
- Fomentar el aporte de la Universidad Central de Venezuela a las comunidades rurales del país.
- Promover el desarrollo de las tecnologías apropiadas en la Universidad Central de Venezuela, con el fin de buscar el desarrollo sustentable del país.

ANEXO A

INSTALACIÓN EN UNA COMUNIDAD AISLADA

En el siguiente anexo se describen las condiciones bajo las cuales se instalará una Bomba de Ariete Hidráulico en una comunidad aislada. El modelo a instalar es una copia del prototipo diseñado sin ninguna modificación. A continuación se presentan las características de la localidad seleccionada para la instalación.

Comunidad: La Pica del Pilar.

Ubicación: La Pica es una población pequeña (caserío) ubicado a cuatro kilómetros del pueblo El Pilar, Estado Sucre.

Clima Predominante: Tropical húmedo

Precipitaciones: Húmedo (1200-2400 mm) (ATLAS TEDUCA 1990)

La localidad en la cual se instalará la Bomba de Ariete, cuenta con 7 casas en las cuales viven actualmente 29 personas. En la actualidad no cuentan con servicio de agua potable. La comunidad está ubicada en la ladera de una colina, cercana a una quebrada.

La fuente de agua sobre la cual se instalará el sistema es una quebrada usada por los habitantes del lugar para recolectar agua.

Los materiales de construcción ha utilizar para la instalación del sistema serán adquiridos en el pueblo “El Pilar”

Las condiciones de Trabajo bajo las cuales trabajará el sistema son las siguientes.

Condiciones de Trabajo:

Caudal Disponible (Q_d): 27 L/s

Altura Máxima de Carga disponible (H_{cd}): 3 m

Altura de Servicio (h_s): 25 m

Caudal de Servicio Requerido: 2900 Litros por día (Ver Tabla N° 3)

Caudal de Servicio Teórico: 2332.8 Litros por día.

La bomba trabaja con un rendimiento entre 50% y 60%, para el cálculo del caudal de servicio tomaremos 50%. Usando la ecuación 14, calculamos:

$$q_s = \frac{\eta \cdot Q_c \cdot H_c}{h_s} = \frac{0.5 \cdot 27 \text{ l/min} \cdot 3 \text{ m}}{25 \text{ m}} = 1.62 \text{ l/min} = 2332.8 \text{ l/día}$$

Propuesta de Instalación:**Toma:**

Para la toma de agua el sistema más apropiado en éste caso es la construcción de un dique de bloques de concreto, ya que no existe el peligro de que una crecida de la quebrada pueda ocasionar daños severos debido al poco caudal que hay en el cauce.

Tubería de Carga:

La tubería de carga para una instalación con 3 metros de altura de carga debe tener un recorrido horizontal entre 9 y 15 metros. El material a utilizar será PVC para aguas blancas de 2" de diámetro.

Tubería de Servicio:

La tubería ha utilizar será PVC para aguas blancas de ¾ " de diámetro para baja presión, en toda la extensión de la tubería de servicio, ya que la altura de servicio es baja.

Almacenamiento:

Se estima bombear un caudal de 2300 litros diarios, por lo cual el volumen del tanque de almacenamiento debe ser mayor o igual a 2500 litros. Se recomienda el uso de un tanque de poliuretano.

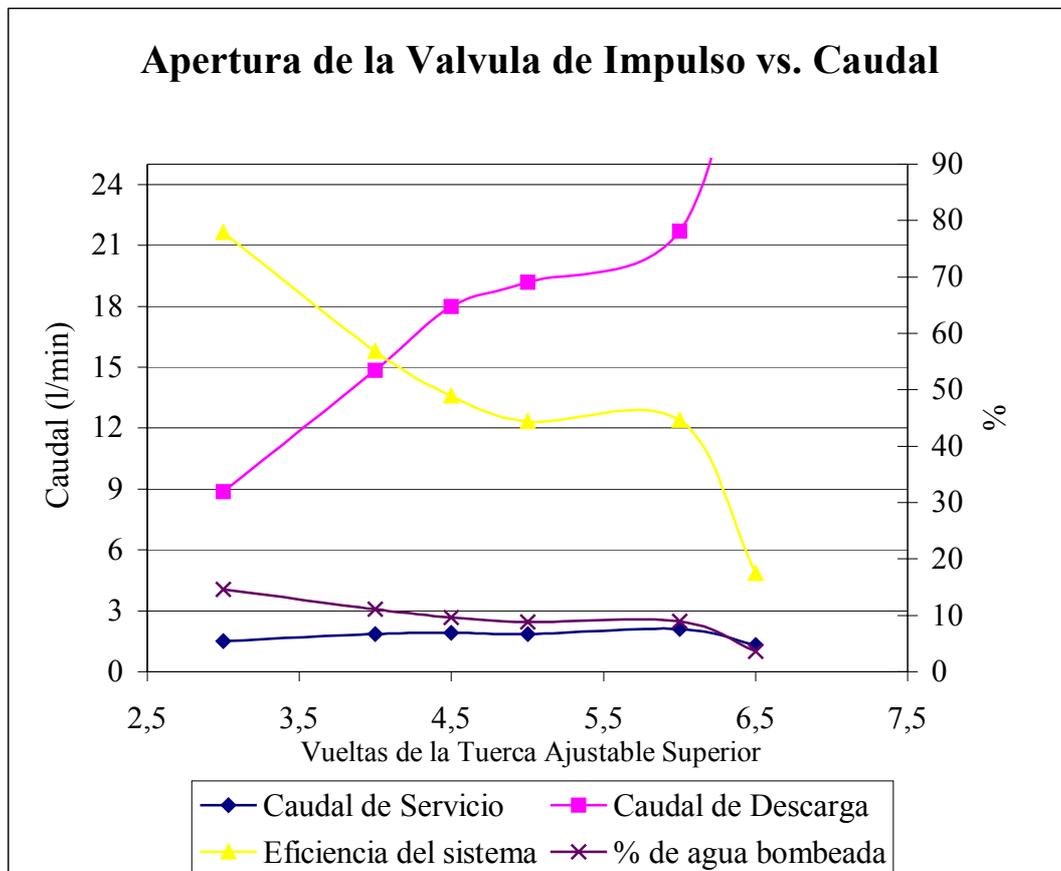
ANEXO B

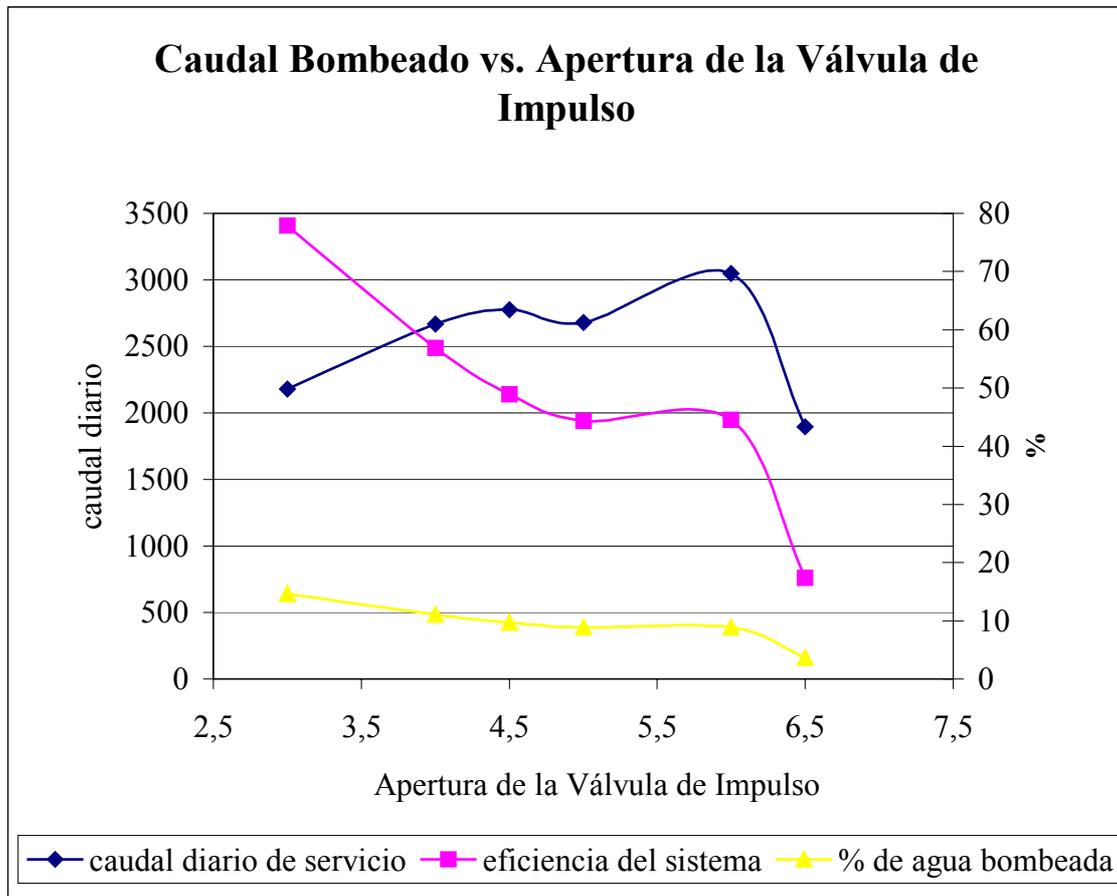
EXPERIMENTACIÓN

Datos de experimentación del Prototipo de la Bomba Compacta de Ariete Hidráulico

Medición	Posición de la Tuerca * (vueltas)	Qserv. (l/min)	Qdes. (l/min)	Eficiencia (%)	Bombeo (%)	Qserv. (l/día)
1	3	1,514	8,867	77,91	14,59	2180
2	4	1,852	14,854	56,87	11,08	2666
3	4,5	1,929	18,000	48,88	9,68	2777
4	5	1,862	19,167	44,32	8,85	2681
5	6	2,118	21,687	44,55	8,90	3049
6	6,5	1,317	34,555	17,39	3,67	1897

* Tuerca ajustable superior.





ANEXO C

NOMENCLATURA UTILIZADA

A = Área transversal del tubo (m^2).

a = Velocidad de la onda de presión (m/s)

B_o = Factor de apertura de compuerta (m^2/s)

$(C_d A_g)$ = Área efectiva de compuerta (m^2)

E = Módulo de elasticidad del material del tubo (N/m^2).

e = Ancho de la pared del tubo (m)

g = Aceleración de la gravedad (m/s^2)

H_o = Presión debida al nivel de líquido en el reservorio (m).

H_a = Elevación de la presión (m)

H_c = Carga de Suministro (m)

H_{cd} = Carga de Suministro Disponible (m)

h_s = Carga de Servicio (m)

K = Módulo de elasticidad volumétrica del agua (N/m^2)

L = Longitud de la tubería. (m)

Q_o = Caudal (m^3/s)

Q_c = Caudal de Suministro (l/min)

Q_d = Caudal Disponible (l/min)

q_s = Caudal de Servicio (l/min o l/día)

V_o = Velocidad antes del cierre (m/s)

w = Peso específico del agua (N/m^3).

Z_1 = Altura piezométrica a la entrada del tubo (m)

α = Ángulo de inclinación de la tubería

$\Delta\sigma_1$ = Esfuerzo Longitudinal en la pared del tubo (N/m²)

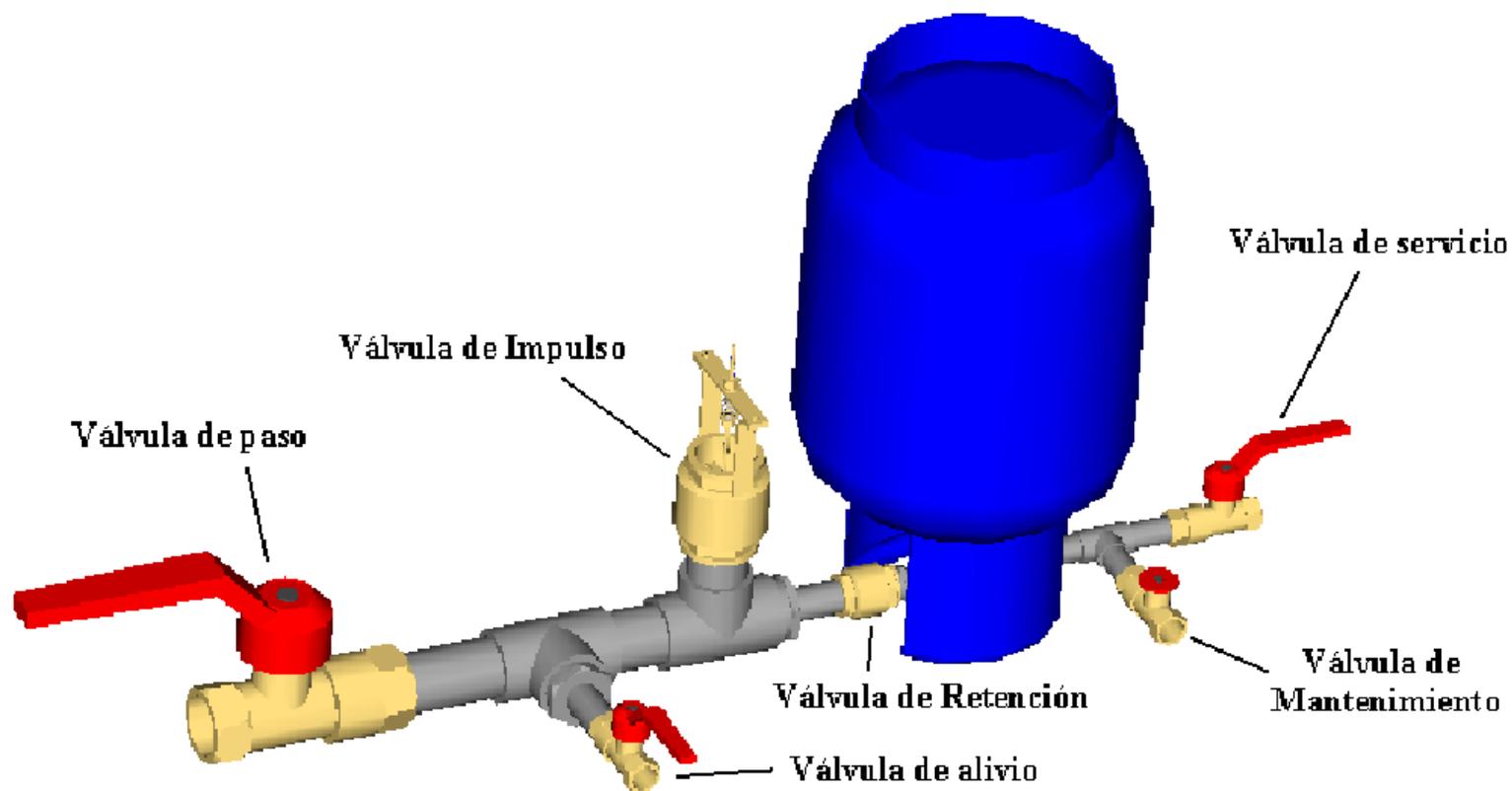
$\Delta\sigma_2$ = Esfuerzo Circunferencial en la pared del tubo (N/m²)

η = Eficiencia del Sistema (Adimensional)

τ = Efectividad de área abierta de válvula (Adimensional)

μ = Coeficiente de Poisson del material de las paredes del tubo (Adimensional)

ANEXO D
ESQUEMAS Y PLANOS



Instalación de las válvulas