

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y FORMALES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,**  
**MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA**



**TEMA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE ARIETE PARA  
UNA CAPACIDAD DE 102 LITROS POR HORA Y UNA ALTURA DE  
8 METROS”**

**Tesis presentada por el Bachiller:  
EDUARDO ANTONIO GONZALES ALAYZA**

**Para optar por el Título Profesional de:  
INGENIERO MECÁNICO - ELECTRICISTA**

**AREQUIPA – PERÚ**  
**2015**

## DEDICATORIA

*La presente Tesis está dedicada:*

*A Dios, por derramar sus bendiciones sobre toda mi familia y mi persona.*

*A mis padres, Rogelio y Yovanni; quienes con su amor, ejemplo, sacrificio y trabajo durante todos estos años, me permitieron alcanzar mis metas trazadas y lograr realizarme como profesional.*

*A mi hermana, Milagros; por su cariño, compañía, consideración y tolerancia en todo momento.*

*A mi novia, Lucianna, por su paciencia, confianza y apoyo incondicional en mi superación en el día a día.*

*A mis abuelos, Roberto y Rogelio, quienes me cuidan y guían mi camino desde el cielo.*

*A mi familia, por su apoyo desmesurado.*

## RESUMEN

La presente tesis tiene como objeto poder brindar una opción tecnológica y económica de abastecimiento de agua para los pobladores que habitan en las viviendas próximas al manantial “Ojo del Milagro” ubicadas en el distrito de Characato – Arequipa – Perú. La opción tecnológica y económica que se ofrece es el sistema de bombeo mediante una bomba de ariete hidráulico, la cual fue diseñada y construida bajo las siguientes condiciones de trabajo: desnivel mínimo de la zona: 0,60 metros; caudal máximo que circula por los canales cercanos: 66.6 litros por minuto. La bomba de ariete hidráulico se encargará de suministrar agua a los tanques ubicados en la parte superior de las viviendas a una altura de 8 metros, asegurando de esta manera que se pueda contar con la cantidad necesaria de agua a razón de 102 litros por hora, para su consumo y posterior almacenamiento. El costo total del presente proyecto asciende a S/. 1223.20 los cuales incluyen gastos de fabricación, gastos imprevistos y gastos producidos por la utilización de máquinas y herramientas. Esta bomba de ariete hidráulico brinda una tecnología amigable con el medio ambiente ya que no produce emisión contaminante alguna, debido a que su fuente de energía es la sobrepresión por golpe de ariete originado por la detención repentina de un fluido en movimiento, haciendo de esta manera que no se consuma ningún tipo de combustible ni requiera la utilización de energía eléctrica.

**Palabras clave:** *Bomba de ariete hidráulico, golpe de ariete, caudal, altura, energía, combustible, agua, vivienda, medio ambiente.*

## ABSTRACT

This thesis has the aim to provide a technological and economic option of water supply for the people who live in the houses near the spring "Ojo del Milagro" located in the district of Characato - Arequipa - Peru. The technological and economic option offered is the pumping system by a hydraulic ram pump, which it was designed and built under the following conditions: minimum altitude of the area 0.60 meters; maximum flow rate through the nearby canals : 66.6 liters per minute. The hydraulic ram pump is responsible for supplying water to the tanks located on top of houses to a height of 8 meters, ensuring by this way to have the necessary amount of water at a rate of 102 liters per hour, for consumption and subsequent storage. The total cost of this project amounts to S/. 1223.20, which include manufacturing costs, unforeseen expenses and costs incurred for the use of machines and tools. This hydraulic ram pump provides a friendly technology with the environment because it does not produce any polluting emissions, its energy source is the water hammer overpressure caused by the sudden stopping of a moving fluid, making by this way that any fuel is not consumed and the use of electrical energy is not required.

**Keywords:** *Hydraulic ram pump, water hammer, flow, height, energy, fuel, water, house, environment.*

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto ha sido realizado con la finalidad de brindar un opción para el abastecimiento de agua a los pobladores que habitan en las viviendas próximas al manantial “Ojo del Milagro” ubicadas en el distrito de Characato – Arequipa – Perú, mediante el uso de una bomba de ariete hidráulico. El estudio realizado ha sido dividido en cinco capítulos en los cuales se detallan los temas necesarios para el consecuente desarrollo y son descritos a continuación.

El Capítulo I refiere al plan de tesis, el cual contempla la identificación, descripción y ubicación del problema, también contempla los objetivos, las variables, las hipótesis, las técnicas e instrumentos empleados, el campo de verificación y por último la estrategia a ser utilizada para el desarrollo de la tesis.

El Capítulo II refiere al marco teórico, el cual describe los antecedentes de la investigación realizada, la reseña histórica y principios de funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico, también refiere a la teoría de la dinámica de fluidos y el método teórico de Krol para el estudio del ciclo del ariete hidráulico.

El Capítulo III describe la metodología de diseño a seguir para el diseño de la bomba de ariete hidráulico, esta metodología contempla cuatro fases las cuales son descritas punto por punto para su correcta guía durante el proceso de diseño.

El Capítulo IV describe el diseño de la bomba de ariete hidráulico, el cual es un desarrollo de la metodología de diseño, siguiendo paso a paso las pautas para un correcto diseño del proyecto. Se realiza un estudio de los componentes que forman parte del sistema y se evalúa a su vez las condiciones de trabajo a las cuales estarán sometidos para estos desarrollen sus funciones establecidas de manera óptima y no fallen en su funcionamiento. En este capítulo también se detalla la construcción del proyecto y los resultados obtenidos en la prueba de funcionamiento del mismo.

El Capítulo V describe el análisis de costos tomando en cuenta los materiales y componentes utilizados en el proyecto (costos directos) y los costos generados por la utilización de máquinas y herramientas en la realización del proyecto (costos indirectos). Por último describe el análisis de costo total del proyecto realizado.

Habiendo descrito los cinco capítulos mencionados, se describen las conclusiones y recomendaciones referentes al proyecto.

Finalmente, se muestran los anexos y planos del proyecto realizado.

## INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

### CAPÍTULO I – PLAN DE TESIS

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	20
1.2 DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.2.1 Problema principal .....	24
1.2.2 Problemas secundarios.....	24
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	24
1.4 OBJETIVOS.....	25
1.4.1 Objetivo principal.....	25
1.4.2 Objetivos específicos .....	25
1.5 VARIABLES.....	26
1.5.1 Variables independientes.....	26
1.5.2 Variables dependientes.....	26
1.6 HIPÓTESIS.....	26
1.6.1 Hipótesis 1 .....	26
1.6.2 Hipótesis 2 .....	27
1.7 ALCANCE.....	27
1.8 TÉCNICAS.....	27
1.9 INSTRUMENTOS .....	28
1.10 CAMPO DE VERIFICACIÓN .....	28
1.10.1 Delimitación.....	28

1.10.2 Población y muestra de la investigación .....	28
1.11 ESTRATEGIA.....	29
1.11.1 Tipo de investigación .....	29
1.11.2 Nivel de investigación .....	29

## **CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO**

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	30
2.1.1 Antecedente 1 .....	30
2.1.2 Antecedente 2.....	31
2.1.3 Antecedente 3.....	32
2.1.4 Antecedente 4.....	33
2.2 FUNDAMENTO TEORICO DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO .....	34
2.2.1 Reseña histórica de la bomba de ariete hidráulico.....	34
2.2.2 Golpe de ariete.....	36
2.2.3 Principio de funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico .....	39
2.2.4 Principales componentes en su instalación.....	44
2.2.4.1 Rejilla o válvula de pie .....	44
2.2.4.2 Reservorio o tanque de almacenamiento .....	45
2.2.4.3 Tubería de alimentación .....	45
2.2.4.4 Válvula de cierre.....	45
2.2.4.5 Caja de válvulas .....	46

2.2.4.6 Válvula de servicio.....	46
2.2.4.7 Válvula de choque o impulso.....	47
2.2.4.8 Cámara de aire.....	47
2.2.4.9 Válvula de aire:.....	47
2.2.4.10 Tubería de descarga:.....	48
2.2.5 Esquema de componentes en la instalación de una bomba de ariete .....	48
2.3 DEFINICION DE FLUIDO .....	49
2.4 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS .....	49
2.4.1 Densidad.....	49
2.4.2 Volumen específico.....	50
2.4.3 Peso específico.....	50
2.4.4 Viscosidad.....	51
2.4.5 Viscosidad absoluta .....	51
2.4.6 Viscosidad cinemática.....	51
2.5 PROPIEDADES DEL AGUA.....	52
2.6 DEFINICION DE FLUJO.....	53
2.7 TIPOS DE FLUJO.....	53
2.7.1 Flujo permanente .....	53
2.7.2 Flujo no permanente .....	54
2.7.3 Flujo laminar.....	54
2.7.4 Flujo turbulento .....	54
2.8 NUMERO DE REYNOLDS .....	54
2.9 DEFINICIÓN DE CAUDAL.....	55

2.10 ECUACION DE LA CONTINUIDAD.....	56
2.11 ECUACION DE BERNOULLI.....	58
2.12 PERDIDAS DE CARGA.....	59
2.12.1 Pérdidas primarias .....	60
2.12.1.1 Factor de fricción para un régimen laminar .....	61
2.12.1.2 Factor de fricción para un régimen turbulento .....	62
2.12.2 Pérdidas secundarias.....	66
2.13 GOLPE DE ARIETE .....	70
2.13.1 Tiempo de cierre de una válvula .....	70
2.13.1.1 Cierre rápido.....	71
2.13.1.2 Cierre lento .....	72
2.13.2 Golpe de ariete en el cierre rápido de una válvula .....	72
2.13.3 Ciclo teórico del ariete hidráulico .....	74
2.13.4 Modelo de Krol.....	76
2.13.4.1 Período 1 .....	77
2.13.4.2 Período 2.....	80
2.13.4.3 Período 3.....	83
2.13.4.4 Período 4.....	86
2.13.4.5 Período 5.....	90
2.13.4.6 Período 6.....	94
2.13.4.7 Período 7.....	96

### **CAPÍTULO III – METODOLOGÍA DEL DISEÑO DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO**

3.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO .....	99
3.1.1 Fase I – Información .....	101
3.1.1.1 Comprensión de la solicitud.....	101
3.1.1.2 Lista de exigencias .....	101
3.1.2 Fase II – Creación .....	102
3.1.2.1 La estructura de funciones .....	103
3.1.2.2 Concepto de solución .....	103
3.1.3 Fase III – Desarrollo .....	105
3.1.4 Fase IV – Ingeniería de detalle .....	105

### **CAPÍTULO IV – DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO**

4.1 FASE I DE DISEÑO - INFORMACIÓN .....	107
4.1.1 Comprensión de la solicitud .....	107
4.1.2 Lista de exigencias.....	110
4.2 FASE II DE DISEÑO - CREACIÓN.....	113
4.2.1 Estructura de funciones .....	113
4.2.1.1 Función principal .....	113

4.2.1.2 Funciones secundarias.....	114
4.2.2 Concepto de solución.....	115
4.2.2.1 Matriz morfológica .....	115
4.2.2.2 Disposición básica.....	118
4.2.2.3 Evaluación del concepto de solución.....	120
4.3 FASE III DE DISEÑO - DESARROLLO .....	124
4.3.1 Proyecto preliminar .....	124
4.4 FASE IV DE DISEÑO – INGENIERIA DE DETALLE .....	125
4.4.1 Datos de entrada.....	125
4.4.1.1 Reservoirio .....	125
4.4.1.2 Caudal de impulsión .....	126
4.4.1.3 Altura y longitud de impulsión:.....	127
4.4.2 Tubería de impulso .....	127
4.4.2.1 Diámetro .....	127
4.4.2.2 Dimensiones y propiedades mecánicas .....	129
4.4.2.3 Factor de fricción de pérdidas primarias.....	131
4.4.2.4 Velocidad del flujo .....	132
4.4.2.5 Pérdidas primarias.....	133
4.4.2.6 Pérdidas secundarias .....	133
4.4.2.7 Número de Reynolds (N° Re).....	134
4.4.2.8 Celeridad .....	135

4.4.2.9 Sobrepresión máxima.....	135
4.4.2.10 Esfuerzos máximos y mínimos .....	136
4.4.2.11 Diseño estático .....	137
4.4.2.12 Diseño a fatiga.....	138
4.4.3 Tubería de descarga .....	140
4.4.3.1 Diámetro y características .....	140
4.4.3.2 Pérdidas en la tubería de entrega .....	142
4.4.4 Cuerpo del ariete.....	143
4.4.4.1 Dimensiones y propiedades mecánicas .....	143
4.4.4.2 Esfuerzos máximos y mínimos .....	145
4.4.4.3 Diseño estático .....	146
4.4.4.1 Diseño por fatiga .....	147
4.4.5 Cámara de aire .....	148
4.4.5.1 Caudal entregado teórico .....	148
4.4.5.2 Dimensionamiento .....	149
4.4.5.3 Presión de la cámara antes del golpe de ariete.....	153
4.4.5.4 Presión de la cámara después del golpe de ariete .....	154
4.4.5.5 Esfuerzos máximos y mínimos .....	154
4.4.5.6 Diseño estático .....	155
4.4.5.7 Diseño por fatiga .....	155

4.4.6 Válvula anti retorno .....	156
4.4.6.1 Selección .....	156
4.4.7 Válvula de impulso .....	157
4.4.7.1 Consideraciones .....	157
4.4.7.2 Dimensiones .....	158
4.4.7.3 Carrera de la válvula de impulsión .....	158
4.4.7.4 Coeficiente de pérdida de carga en la válvula de impulso .....	158
4.4.7.5 Velocidad de flujo en la válvula de impulsión .....	159
4.4.7.6 Coeficiente de arrastre de la válvula de impulsión .....	160
4.4.7.7 Fuerza hidráulica que actúa sobre la válvula de impulso .....	160
4.4.7.8 Resorte de compresión .....	162
4.4.8 Ciclo de operación del ariete hidráulico .....	164
4.4.8.1 Período 1 .....	165
4.4.8.2 Período 2 .....	166
4.4.8.3 Período 3 .....	168
4.4.8.4 Período 4 .....	170
4.4.8.5 Período 5 .....	170
4.4.8.6 Período 6 .....	171
4.4.8.7 Período 7 .....	172
4.4.9 Análisis del ciclo de operación del ariete hidráulico .....	173
4.5 CONSTRUCCION DE LA BOMBA DE ARIETE .....	174

4.6 ANALISIS DE RESULTADOS .....	177
4.6.1 Condiciones de trabajo .....	177
4.6.2 Pruebas experimentales.....	181

## **CAPÍTULO V – ANÁLISIS DE COSTOS**

5.1 DESCRIPCION.....	188
5.2 COSTOS DIRECTOS .....	188
5.3 COSTOS INDIRECTOS .....	190
5.4 COSTO TOTAL .....	190

<b>CONCLUSIONES</b> .....	192
---------------------------	-----

<b>RECOMENDACIONES</b> .....	194
------------------------------	-----

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	195
---	-----

<b>ANEXOS</b> .....	197
---------------------	-----

<b>PLANOS</b> .....	206
---------------------	-----

## INDICE GENERAL DE FIGURAS

Figura N° 1: Ubicación geográfica de la Región Arequipa en el Perú .....	23
Figura N° 2: Ubicación geográfica del "Ojo del Milagro" en la Región Arequipa .....	23
Figura N° 3: Esquema de funcionamiento del ariete ideado por John Whitehurst .....	34
Figura N° 4: Esquema del ariete hidráulico ideado por Joseph Michael Montgolfier.....	35
Figura N° 5: Onda de presión formada por el cierre repentino de una válvula.....	37
Figura N° 6: Fases del golpe de ariete .....	38
Figura N° 7: El agua sale por la válvula de choque.....	39
Figura N° 8: Válvula de choque cerrada debido a la fuerza de arrastre del agua .....	40
Figura N° 9: Producción del golpe de ariete.....	41
Figura N° 10: Apertura de válvula check, paso de agua hacia la cámara de aire .....	42
Figura N° 11: Cierre de válvula check, se libera agua por la tubería de elevación .....	43
Figura N° 12: Apertura de la válvula de choque y reinicio de proceso .....	44
Figura N° 13: Esquema de ubicación de principales componentes .....	48
Figura N° 14: Conducto con diferentes secciones .....	56
Figura N° 15: Diagrama de Moody.....	65
Figura N° 16: Monograma para el cálculo de la Leq de accesorios .....	69
Figura N° 17: Diagrama de sobrepresiones en un cierre rápido de una válvula .....	71
Figura N° 18: Diagrama de sobrepresiones en un cierre lento de una válvula.....	72
Figura N° 19: Ciclo teórico del ariete hidráulico según el Modelo de Krol.....	76
Figura N° 20: Período 1 - Krol, Ariete hidráulico .....	77
Figura N° 21. Período 2 - Krol, Ariete hidráulico .....	81
Figura N° 22: Período 3 - Krol, Ariete hidráulico .....	84

Figura N° 23: Período 4 - Krol, Ariete hidráulico .....	87
Figura N° 24: Período 5 - Krol, Ariete hidráulico .....	91
Figura N° 25: Período 6 - Krol, Ariete hidráulico .....	95
Figura N° 26: Período 7 - Krol, Ariete hidráulico .....	97
Figura N° 27: Enfoque general de diseño .....	100
Figura N° 28: Bomba de ariete hidráulico DK-Z315T .....	108
Figura N° 29: Bombas de ariete Blake .....	109
Figura N° 30: Bomba de ariete Agroterra .....	110
Figura N° 31: Caja negra, función principal .....	113
Figura N° 32: Funciones secundarias .....	115
Figura N° 33: Diagrama de evaluación .....	123
Figura N° 34: Bosquejo de proyecto preliminar .....	124
Figura N° 35: Canal de agua .....	125
Figura N° 36: Caudal de impulsión .....	126
Figura N° 37: Características Tubos de acero al Carbono .....	130
Figura N° 38: Puntos 1 y 2 de tubería de impulso .....	132
Figura N° 39: Tubería de descarga, manguera de plástico de $\frac{3}{4}$ " .....	141
Figura N° 40: Compresión de aire por ingreso de agua a la cámara de aire .....	149
Figura N° 41: Válvula check vertical de resorte .....	156
Figura N° 42: Válvula de impulso normalmente abierta .....	157
Figura N° 43: Resorte de compresión #24900 .....	163
Figura N° 44: Gráfico del ciclo teórico de operación de la bomba de ariete .....	174

Figura N° 45: Componentes válvula de impulsión.....	176
Figura N° 46: Ensamble bomba de ariete .....	176
Figura N° 47: Toma de tubería de impulsión.....	178
Figura N° 48: Tubería de impulsión.....	179
Figura N° 49: Toma de tubería de descarga .....	179
Figura N° 50: Tubería de descarga .....	180
Figura N° 51: Bomba de ariete hidráulico.....	180
Figura N° 52: Curva de operación de la bomba de ariete hidráulico .....	183
Figura N° 53: Relación de caudales y alturas .....	184
Figura N° 54: Eficiencias de la bomba de ariete hidráulico .....	185
Figura N° 55: Comportamiento de la bomba en función de la altura elevada .....	186
Figura N° 56: Potencia útil en la descarga en función de la altura de descarga .....	187

## INDICE GENERAL DE TABLAS

Tabla N° 1: Principales propiedades físicas del agua .....	53
Tabla N° 2: Coeficientes de rugosidad absoluta para tuberías comerciales .....	63
Tabla N° 3: Valores de factor "k" para accesorios.....	67
Tabla N° 4: Lista de exigencias.....	112
Tabla N° 5: Matriz morfológica .....	117
Tabla N° 6: Evaluación técnica del concepto de solución .....	121
Tabla N° 7: Evaluación económica del concepto de solución .....	122
Tabla N° 8: Valores técnicos y económicos de las soluciones.....	123
Tabla N° 9: Selección de diámetro de tubería de impulsión.....	128
Tabla N° 10: Dimensiones de accesorios a ser utilizados.....	144
Tabla N° 11: Ciclo teórico de operación de la bomba de ariete .....	173
Tabla N° 12: Condiciones en la zona de alimentación .....	177
Tabla N° 13: Condiciones en la zona de descarga .....	178
Tabla N° 14: Resultados obtenidos.....	182
Tabla N° 15: Costos directos.....	189
Tabla N° 16: Costos indirectos.....	190
Tabla N° 17: Costo total .....	191

# **CAPÍTULO I**

## **PLAN DE TESIS**

### **1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

El servicio de suministro de agua en el conjunto de viviendas próximas al manantial “Ojo del Milagro” ubicadas en el Distrito de Characato – Arequipa – Perú no es continuo, debido a que se producen cortes en el suministro, lo que genera la necesidad de aprovechar el agua del manantial en este conjunto de viviendas, para que no queden desabastecidas de este importante recurso.

### **1.2 DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DEL PROBLEMA**

La Unesco define el agua, como el recurso más importante para la humanidad, siendo un bien transversal a todas las actividades sociales, económicas y ambientales. La necesidad de su alcance diario se vuelve indispensable en nuestras vidas al ser un elemento vital de suma importancia para nuestro bienestar. Es aquí donde surge nuestro problema, el conjunto de viviendas próximas al manantial “Ojo del Milagro” ubicadas en el Distrito de Characato – Arequipa – Perú, queda desabastecido intermitentemente de este importante

recurso producto de cortes en el suministro por limpieza y desinfección de reservorios, por ubicarse en una zona alejada y desinteresada por las autoridades. Este problema genera una alternativa de solución para el suministro constante de agua en el conjunto de viviendas mencionado. La solución a este problema es utilizar el agua que circula por los canales próximos a los frentes del conjunto de viviendas para su almacenamiento y posterior consumo. Cabe mencionar que el agua de los canales no es apta para el consumo humano por ser de mala calidad por lo que deberá ser potabilizada antes de ser utilizada. Por lo tanto, se torna necesario aprovechar este recurso hídrico proveniente del manantial denominado “Ojo del Milagro”, por lo que se plantea un proyecto del sistema de bombeo hídrico más adecuado en cuestión de recursos tecnológicos, económicos y de fácil operación para bombear el agua del manantial a un tanque de almacenamiento ubicado en la parte superior de las viviendas.

Considerando lo expuesto anteriormente, el sistema de bombeo idóneo deberá ser económico en su fabricación, deberá ser accionado en el mejor de los casos sin consumo de energía y deberá poder abastecer agua a una vivienda las 24 horas del día.

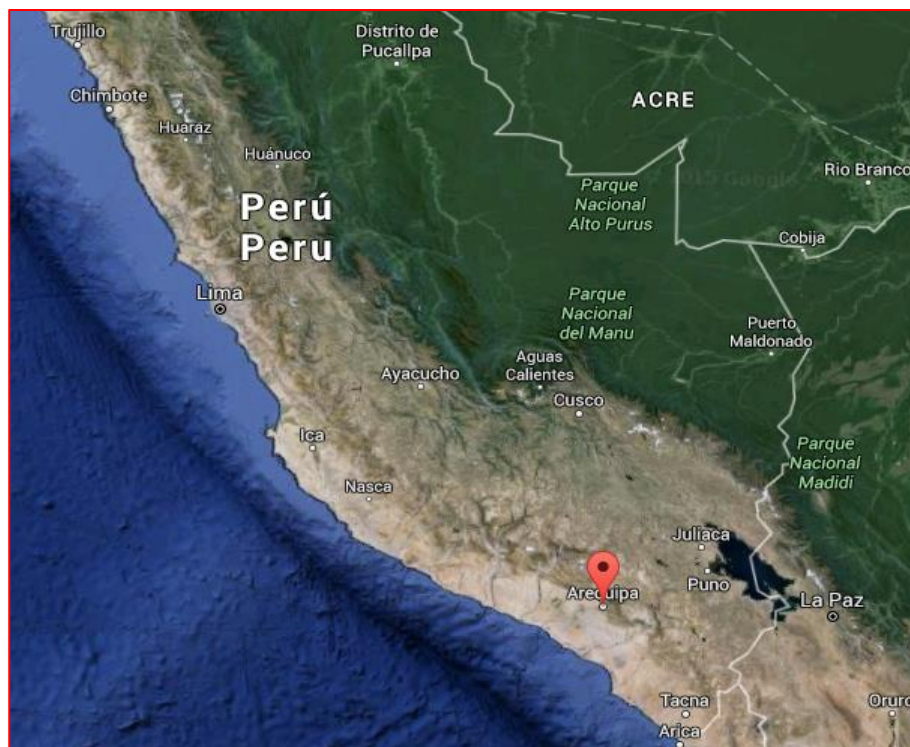
La selección adecuada del sistema de bombeo de las varias alternativas propuestas y analizadas, da como resultado optar por el bombeo de ariete hidráulico, el cual se encargará de suministrar el caudal requerido para las viviendas y entregarlo a la altura correspondiente a un tanque de almacenamiento. Para determinar la cantidad de agua necesaria por habitante al

día, nos basamos en la Norma OS.100 del Reglamento nacional de edificaciones (Anexo 1), el cual indica que la dotación diaria de agua por habitante es de 220 litros asumiendo un clima templado y cálido.

Para determinar la cantidad de habitantes por vivienda nos basamos en los reportes realizados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) el cual indica que en el último censo realizado en el 2012, la cantidad de habitantes por vivienda en Characato son 5 personas.

Considerando estos datos, el caudal mínimo requerido para una vivienda al día será de 1100 litros, estos deberán ser entregados en el menor tiempo posible para facilitar su uso inmediato en la vivienda por lo que se implementará un sistema por golpe ariete para que este suministre la cantidad total requerida para la satisfacción hídrica de las personas que habitan en la cercanías al manantial “Ojo de Milagro”.

Se verificaron las viviendas en la zona y estas presentan dos niveles, considerando lo anterior y tomando en cuenta las dimensiones mínimas de los ambientes descritas en el Capítulo V del Reglamento Nacional de edificaciones (Anexo 2), la máxima altura de bombeo para una vivienda de 2 pisos y con un tanque elevado deberá ser 8 metros. La ubicación geográfica de la zona de nuestro problema se aprecia en las Figuras N° 1 y N° 2.



**Figura N° 1: Ubicación geográfica de la Región Arequipa en el Perú**  
Fuente: Google Maps



**Figura N° 2: Ubicación geográfica del "Ojo del Milagro" en la Región Arequipa**  
Fuente: Google Maps

### 1.2.1 Problema principal

- ¿Es posible llevar a cabo el diseño y la construcción de una bomba de ariete hidráulico para una capacidad de 102 litros por hora y una altura de 8 metros, logrando un suministro constante de agua en las viviendas próximas al manantial “Ojo del Milagro”?

### 1.2.2 Problemas secundarios

- ¿Es posible suministrar un caudal de agua de 102 litros por hora a una vivienda próxima al manantial “Ojo del Milagro”?
- ¿Es posible entregar el caudal requerido a una altura de 8 metros en una vivienda próxima al manantial “Ojo del Milagro”?
- ¿El rendimiento con el que trabajará la bomba de ariete hidráulico será óptimo?

## 1.3 JUSTIFICACIÓN

El objeto de este proyecto es utilizar una tecnología que no se había tomado en cuenta: la bomba de ariete hidráulico, la cual no presenta un estándar en su construcción por lo que presenta variaciones en su rendimiento y rentabilidad.

Pese a tener un principio básico en su funcionamiento, esta bomba es un buen ejemplo en la utilización de energías alternativas, las cuales pueden ser muy beneficiosas en zonas donde el recurso hídrico se encuentra en grandes cantidades y se requiere utilizar sistemas de bombeo económicos, eficientes, que no requieran de suministro energético, mantenimiento y que no provoquen contaminación en el medio ambiente.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo principal

- Diseñar y construir una bomba de ariete hidráulico para una capacidad de 102 litros por hora y una altura de 8 metros.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Suministrar como caudal 102 litros por hora a la vivienda.
- Suministrar el caudal requerido a una altura de 8 metros.
- Realizar los protocolos de funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico.
- Evaluar el rendimiento de la bomba de ariete hidráulico.

## 1.5 VARIABLES

### 1.5.1 Variables independientes

- Bomba de ariete hidráulico.

### 1.5.2 Variables dependientes

- Caudal suministrado.
- Altura de entrega.
- Eficiencia de la bomba.

## 1.6 HIPÓTESIS

### 1.6.1 Hipótesis 1

- Dado que existe una problemática de suministro de agua a las viviendas próximas al manantial “Ojo del Milagro”, es probable diseñar y construir una bomba de ariete hidráulico.

### 1.6.2 Hipótesis 2

- Dado los requerimientos que presentan las viviendas próximas al manantial “Ojo del Milagro”, es probable suministrar un caudal de 102 litros por hora a una altura de 8 metros.

### 1.7 ALCANCE

Este proyecto tiene como alcance el brindar una opción tecnológica de bombeo de agua, para sectores donde se pueda aprovechar la abundancia del recurso hídrico, sectores donde el suministro del agua sea intermitente y sectores de bajos recursos. Se brinda esta opción tecnológica por ser de diseño práctico, sencillo y de bajo costo de fabricación y mantenimiento.

### 1.8 TÉCNICAS

La recolección de datos e información se dará a través de: libros, documentos, expedientes, fotografías, videos, pruebas experimentales, ensayos y entrevistas.

## 1.9 INSTRUMENTOS

Para el registro y almacenamiento de la información se utilizarán dispositivos y formatos en papel y/o digital los cuales serán: libreta de apuntes, computadora, cámara fotográfica y cámara filmadora.

## 1.10 CAMPO DE VERIFICACIÓN

### 1.10.1 Delimitación

- Este proyecto de investigación se circunscribe en la zona del conjunto de viviendas próximas al manantial “Ojo del Milagro” ubicadas en el Distrito de Characato – Arequipa – Perú, que cumplan con los requerimientos planteados para la instalación de la bomba de ariete hidráulico.

### 1.10.2 Población y muestra de la investigación

- La población que habita en las viviendas con los requerimientos planteados para la instalación de la bomba de ariete en la zona del conjunto de viviendas próximas al manantial “Ojo del Milagro” ubicadas en el Distrito de Characato – Arequipa – Perú son un aproximado de 125 pobladores.

## 1.11 ESTRATEGIA

### 1.11.1 Tipo de investigación

- El presente proyecto reúne las condiciones metodológicas de una “Investigación Cuantitativa” ya que el diseño se dará de forma experimental teniendo un escenario-campo simulado.

### 1.11.2 Nivel de investigación

- De acuerdo al grado de profundidad y alcance que se desea obtener, el nivel de investigación es “Exploratoria” debido a que no se cuenta con un cuerpo teórico abundante sobre la bomba de ariete hidráulico.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1 Antecedente 1

- **Nombre:** Diseño y construcción de un sistema de suministro de agua para una comunidad agrícola.
- **Autor:** Reinaldo A. De Freitas / Sergio A. Sánchez.
- **Universidad:** Universidad Central de Venezuela – 2002.
- **Resumen:** Para la población de Guareguare, ubicada en el Estado Miranda se estudió la posibilidad de instalar un sistema alternativo de suministro de agua, cuya fuente de energía de trabajo depende de las mismas condiciones del río a utilizar para su instalación. Se diseñó y construyó un Ariete Hidráulico para el estudio de su comportamiento al variar diversos parámetros, como son la caída de agua, el caudal de suministro y la longitud de la tubería de succión. Con este estudio se determinó la factibilidad de instalación del sistema en la zona. Se obtuvieron evidentes cambios en el comportamiento de la bomba, al variar la frecuencia de ciclo de funcionamiento y al variar la altura de bombeo. Se determinó

comportamientos de curvas Frecuencia de Ciclo – Caudal, diferentes respecto a estudios anteriores, debido a la poca longitud de tubería de succión y del tornillo eje de la válvula de impulso. Finalmente se concluyó que el sistema no es factible a ser utilizado para esta población.<sup>1</sup>

### 2.1.2 Antecedente 2

- **Nombre:** Cálculo, diseño y construcción de un prototipo de ariete hidráulico.
- **Autor:** Víctor Francisco Jiménez Reyes.
- **Universidad:** Universidad Veracruzana – 2011.
- **Resumen:** En esta investigación realizada se establece una serie de pasos para construir un ariete hidráulico, una opción muy viable para resolver problemas de bombeo de agua. Primero será necesario remitirse a los fundamentos teóricos para comprender como funciona el ariete hidráulico y ver quienes en el transcurso del tiempo hicieron sus aportes para modelar su funcionamiento. Luego se identifican los parámetros de diseño y por último se muestra una guía para su construcción, lo más simplificada posible, para que cualquier persona sin conocimientos en ingeniería pueda hacer uso de esta fascinante tecnología al menor costo.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Fuente: Reinaldo A. De Freitas & Sergio A. Sánchez. (2002). “Diseño y construcción de un sistema de suministro de agua para una comunidad agrícola”. Universidad Central de Venezuela. Venezuela.

<sup>2</sup> Fuente: Jiménez Víctor Francisco. (2011). “Cálculo, diseño y construcción de un prototipo de ariete hidráulico”. Universidad Veracruzana. México.

### 2.1.3 Antecedente 3

- **Nombre:** Análisis del Ariete Hidráulico para diferentes configuraciones.
- **Autor:** Carlos Andrés Sierra Gallo & Gerson Eduardo Biancha Gutiérrez.
- **Universidad:** Universidad Industrial de Santander – 2012.
- **Resumen:** La investigación realizada en esta tesis busca determinar la influencia de algunos parámetros presentes en el funcionamiento del ariete hidráulico para obtener un mejor rendimiento y aprovechar al máximo su capacidad como sistema de bombeo y aplicación de la energía alternativa. La investigación abarca dos procedimientos uno experimental y otro teórico que determinarán la influencia del resorte de la válvula de impulso, el acumulador y la combinación de las áreas de la válvula de descarga y de impulso en la eficiencia total del sistema, incluyendo como parámetro principal la carrera de la válvula de impulso que determina la frecuencia de los pulsos en el funcionamiento del ariete hidráulico. El análisis teórico se lleva a cabo mediante un programa realizado en la plataforma de MATLAB basado en un modelo teórico que permite relacionar las variables presentes en el funcionamiento del ariete y determinar su influencia en la eficiencia sistema.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Fuente: Sierra Carlos Andrés & Biancha Gerson Eduardo. (2012). “Análisis del Ariete Hidráulico para diferentes configuraciones. Universidad Industrial de Santander”. Colombia.

#### 2.1.4 Antecedente 4

- **Nombre:** Estudio teórico y experimental de la bomba de ariete.
- **Autor:** Francisco Javier Acitores Martínez.
- **Universidad:** Universidad Carlos III de Madrid – 2012.
- **Resumen:** Este proyecto se enmarca dentro de la iniciativa de la Universidad Carlos III de Madrid de mantener un laboratorio de tecnologías apropiadas para el abastecimiento de agua. Este laboratorio se ubica en un espacio habilitado para la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III e incluye varios bancos de ensayos para diferentes tipos de bombas manuales, sistemas de bombeo alimentados con paneles fotovoltaicos, sistemas de filtración y potabilización, cocinas solares, y otros tipos de tecnologías. El objeto de este proyecto es ampliar esta plataforma docente que disfrutamos hoy en día, añadiendo una tecnología que no se había tenido en cuenta hasta el momento: la bomba de ariete. Se trata de una tecnología que no se puede catalogar como manual, pues no precisa la acción humana para funcionar, pero que en determinadas circunstancias puede resultar de gran utilidad para elevar agua a alturas considerables. Este proyecto se postula como el primero de la Universidad centrado en esta nueva línea de bombas de agua, con la consecuente complicación del desconocimiento inicial del campo a tratar.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Fuente: Francisco Javier Acitores Martínez. (2012). “Estudio teórico y experimental de la bomba de ariete”. Universidad Carlos III de Madrid. España.

## 2.2 FUNDAMENTO TEORICO DE LA BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO

### 2.2.1 Reseña histórica de la bomba de ariete hidráulico

- El ariete hidráulico irrumpe en la historia a principios de la era de los grandes inventos y alcanzó la adultez paralelamente a las máquinas de vapor y el motor de combustión interna. En una cervecería del condado inglés de Cheshire, John Whitehurst construyó un aparato con un principio de funcionamiento novedoso, el cual consistía en accionar manualmente un grifo en una tubería conectada a un tanque de abasto, en un nivel superior, para provocar el fenómeno físico conocido como golpe de ariete, que permitía elevar el líquido a un tanque de almacenamiento colocado a una altura mayor (Figura N° 3), logrando de esta manera la aparición del primer ariete hidráulico accionado de forma manual que funcionó de 1772 hasta 1800.

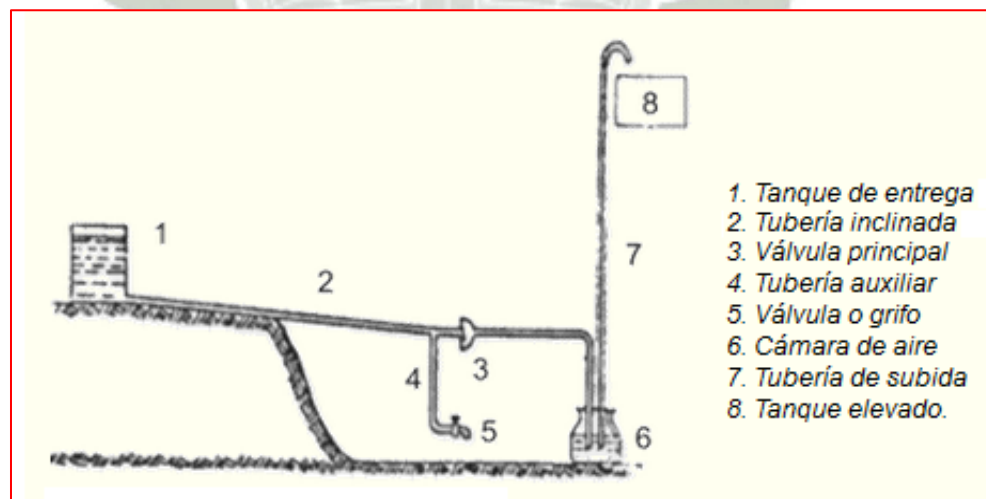
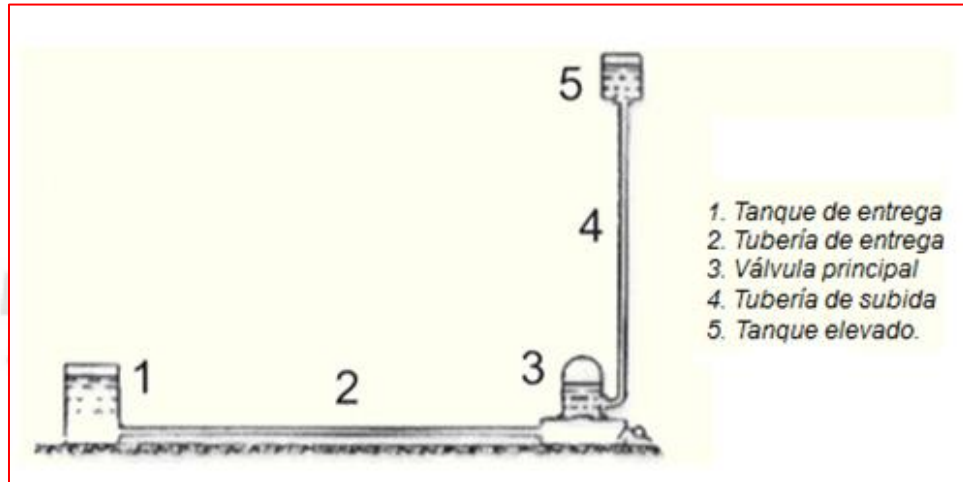


Figura N° 3: Esquema de funcionamiento del ariete ideado por John Whitehurst

Fuente: <http://www.cubasolar.cu>

La sagacidad humana añadió elementos al invento cervecero, y seis años antes de que Joseph Montgolfier junto a su hermano Étienne inventara el globo aerostático, concibió un ariete automático, en principio similar a los contemporáneos, por lo que lo llamó le belier hydraulique (Figura N° 4).



**Figura N° 4: Esquema del ariete hidráulico ideado por Joseph Michael Montgolfier**

Fuente: <http://www.cubasolar.cu>

Después de la muerte del ilustre francés otros se ocuparon de añadir bondades al equipo e investigaron los secretos de su aparente magia. Los adeptos a la invención concibieron diseños que combinaron el ariete con un sifón o una bomba de succión, lo utilizaron como compresor de aire, lo acoplaron con una válvula de impulso operada mecánicamente, lo adaptaron a un motor o un pozo artesiano, lo revirtieron de concreto reforzado o lo adaptaron para utilizar la energía de las mareas.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Fuente: Alejandro Montecinos. *Los secretos del ariete hidráulico*.  
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia25/HTML/articulo05.htm>

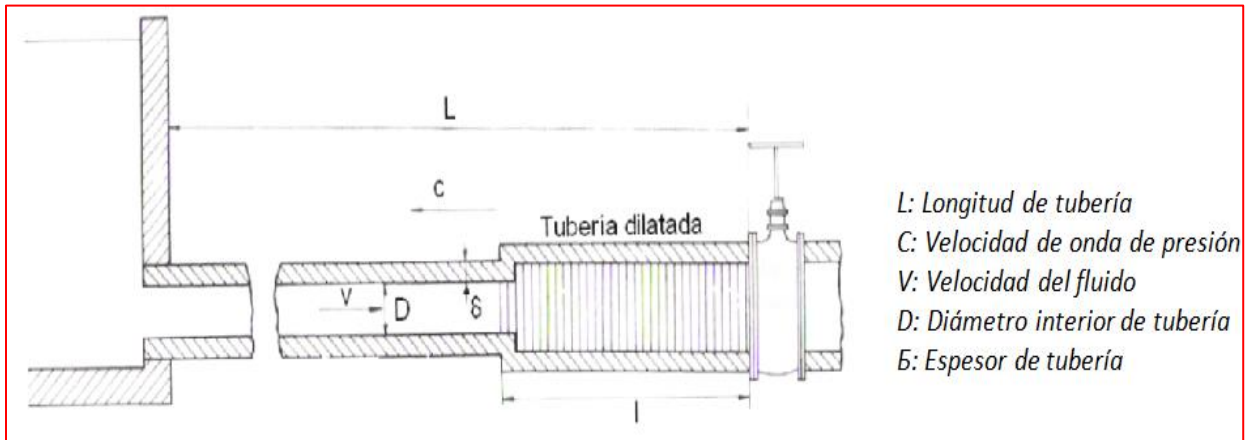
### 2.2.2 Golpe de ariete

- Se llama golpe de ariete al choque violento que se forma sobre las paredes de un conducto forzado, cuando el movimiento líquido es modificado bruscamente. El golpe de ariete se puede presentar en una tubería que conduzca un líquido hasta el tope, cuando se presente un frenado o una aceleración en el flujo; como por ejemplo, el cierre de una válvula en la línea. Al cerrarse rápidamente una válvula en la tubería durante el escurrimiento, el flujo a través de la válvula disminuye, lo cual aumenta la carga del lado aguas arriba de la válvula, iniciándose un pulso de alta presión que se propaga en la dirección contraria a la del escurrimiento. Esta onda provoca sobrepresiones y depresiones las cuales deforman las tuberías y eventualmente la destruyen.

Desde el punto de vista energético puede considerarse la transformación de la energía cinética del fluido en energía potencial elástica y viceversa. Este fenómeno se reproduce indefinidamente, si la tubería carece de roce y es indeformable, por lo que no hay pérdidas de energía. Este fenómeno desaparece, si existe roce y la tubería es elástica parte de la energía se va perdiendo y las sobrepresiones son cada vez menores.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> *J.M de Azevedo Netto & Guillermo Acosta Alvarez. (1975). Manual de hidráulica, sexta edición. México: Harla.*



**Figura N° 5: Onda de presión formada por el cierre repentino de una válvula**

Fuente: <http://ocw.unican.es/>

El golpe de ariete se desarrolla en fases las cuales se aprecian en la Figura N° 6 y son detalladas a continuación: (1) El líquido de la tubería viaja a una velocidad “V”, no existe perturbación alguna y el diámetro de la tubería no presenta ninguna alteración. (2) Al cerrar la válvula en el tiempo 0, la velocidad del fluido antes de la válvula se vuelve 0. (3) Debido al cierre repentino de la válvula se genera una onda de sobrepresión ascendente con una velocidad “c”, la mitad de la tubería se dilata. (4) La onda de presión llega al embalse en un tiempo  $t=L/c$ . Toda la tubería se dilata. (5) La sobrepresión de la tubería hace que el agua contenida retorne al embalse. La tubería vuelve a su sección nominal desde el tanque a la válvula.

(6) La onda llega a la válvula en un tiempo  $t=2L/c$ . El agua sigue saliendo de la tubería. (7) Se produce una depresión en la tubería por lo que esta se contrae. El agua sigue saliendo de la tubería. (8) Toda la tubería entra en depresión en un tiempo  $t=3L/c$ . (9) Entra agua a la tubería y esta va retornando a sección nominal. (10) Se produce un periodo en el tiempo  $t=4L/c$ . La deformación de la tubería y la viscosidad del fluido disipan la energía y las oscilaciones se van amortiguando.

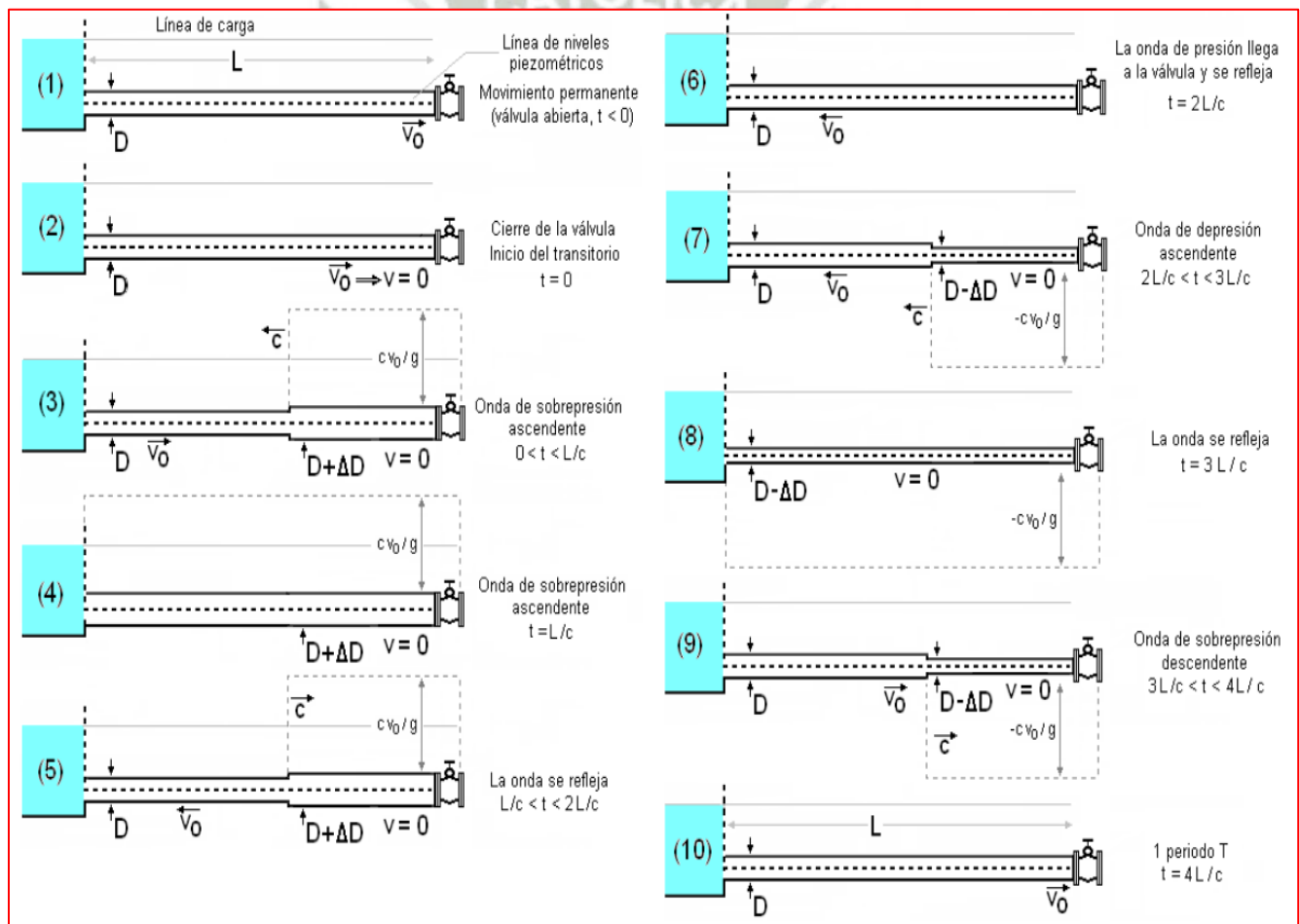
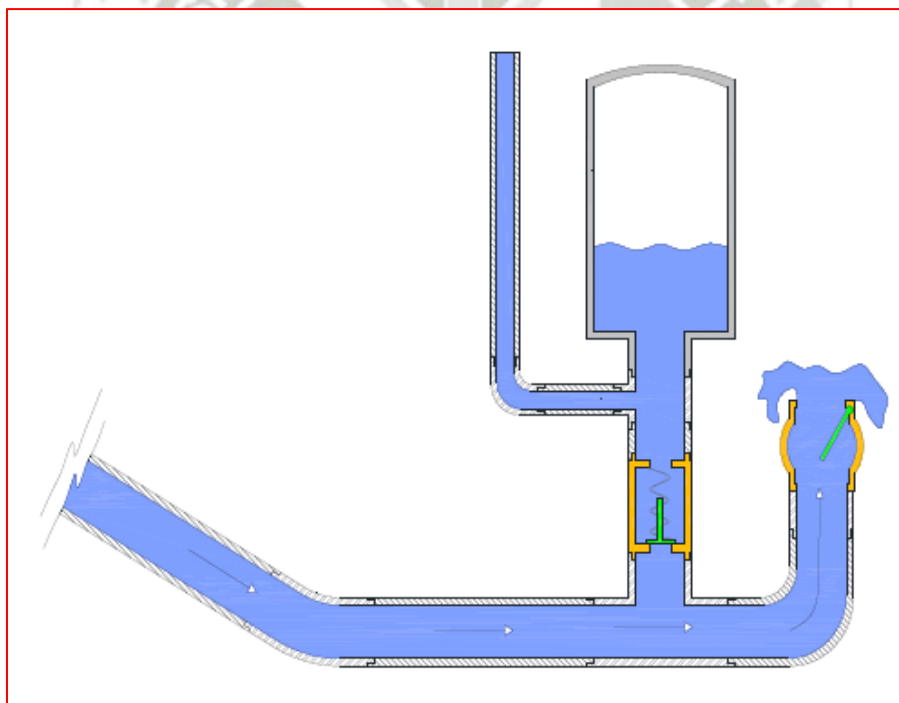


Figura N° 6: Fases del golpe de ariete

Fuente: <http://ocw.unican.es/>

### 2.2.3 Principio de funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico

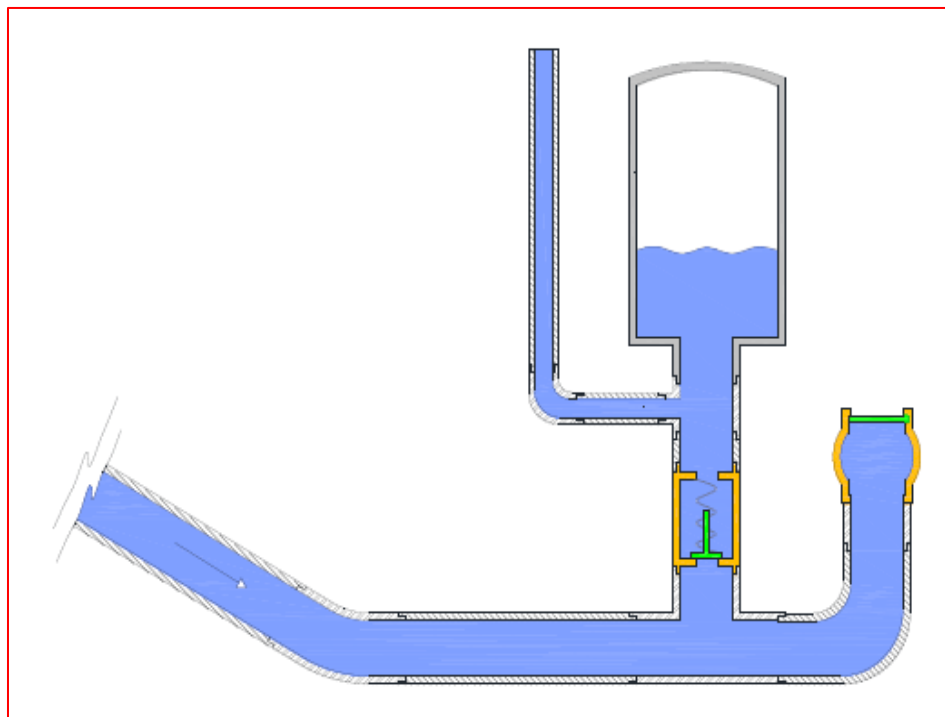
- Para comprender el funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico, nos centraremos en explicar el proceso que se llevará a cabo una y otra vez de forma ininterrumpida: En primer lugar, teniéndose la válvula de choque abierta, comienza a bajar agua desde el reservorio por la tubería de alimentación, hasta que llega a la caja de válvulas y sale por la válvula de choque:



**Figura N° 7: El agua sale por la válvula de choque**

**Fuente: Acitores Martínez Francisco. (2012). Estudio teórico y experimental de la bomba de ariete. Madrid.**

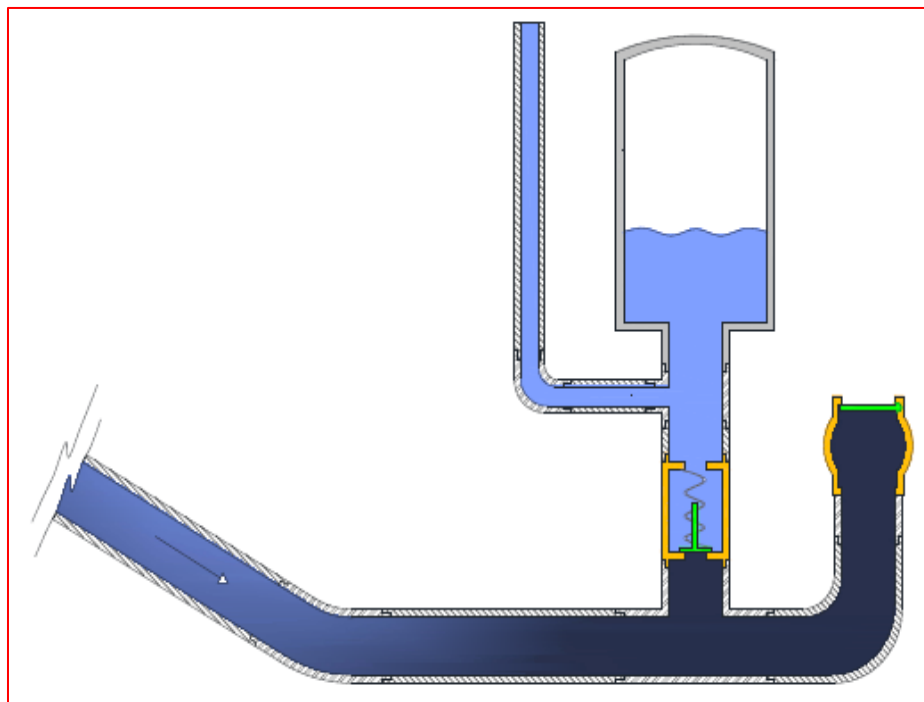
A medida que se acelera el agua, aumenta la fuerza de arrastre que ésta ejerce sobre la compuerta de la válvula de choque, hasta que es suficiente para cerrarla de golpe:



**Figura N° 8: Válvula de choque cerrada debido a la fuerza de arrastre del agua**  
**Fuente: Acitores Martínez Francisco. (2012). Estudio teórico y experimental de la bomba de ariete. Madrid.**

Al cerrarse bruscamente la válvula de choque, la columna de agua que se traslada por la tubería de alimentación aún posee una gran energía cinética.

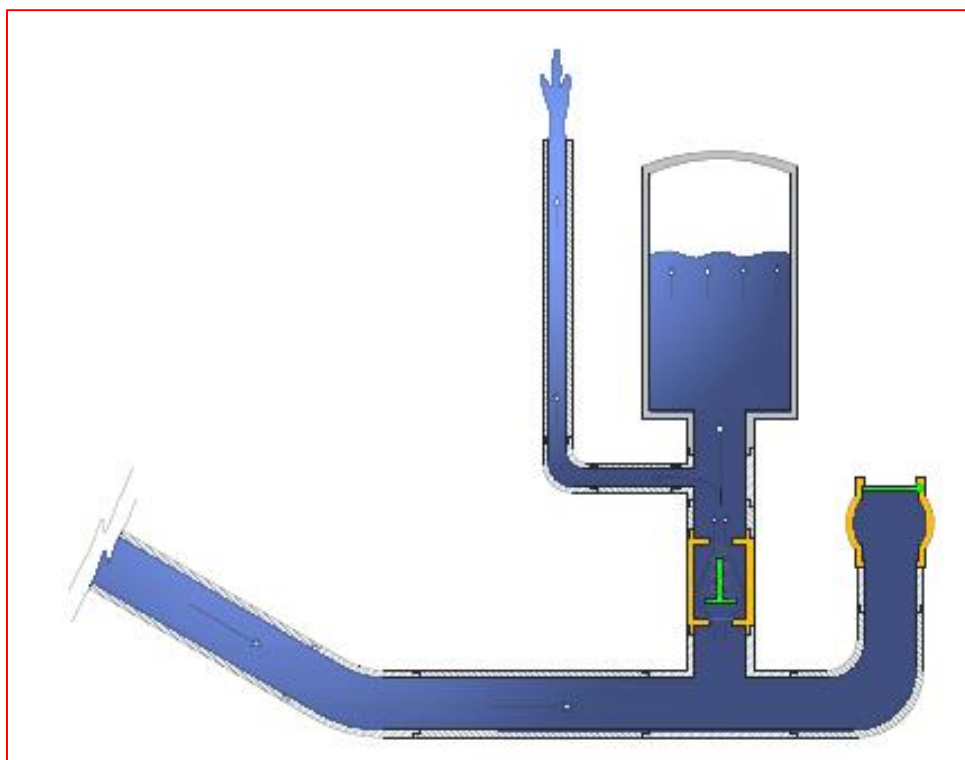
Esta energía cinética se disipa a costa de aumentar repentinamente la presión en la caja de válvula mediante una onda de sobrepresión.



**Figura N° 9: Producción del golpe de ariete**

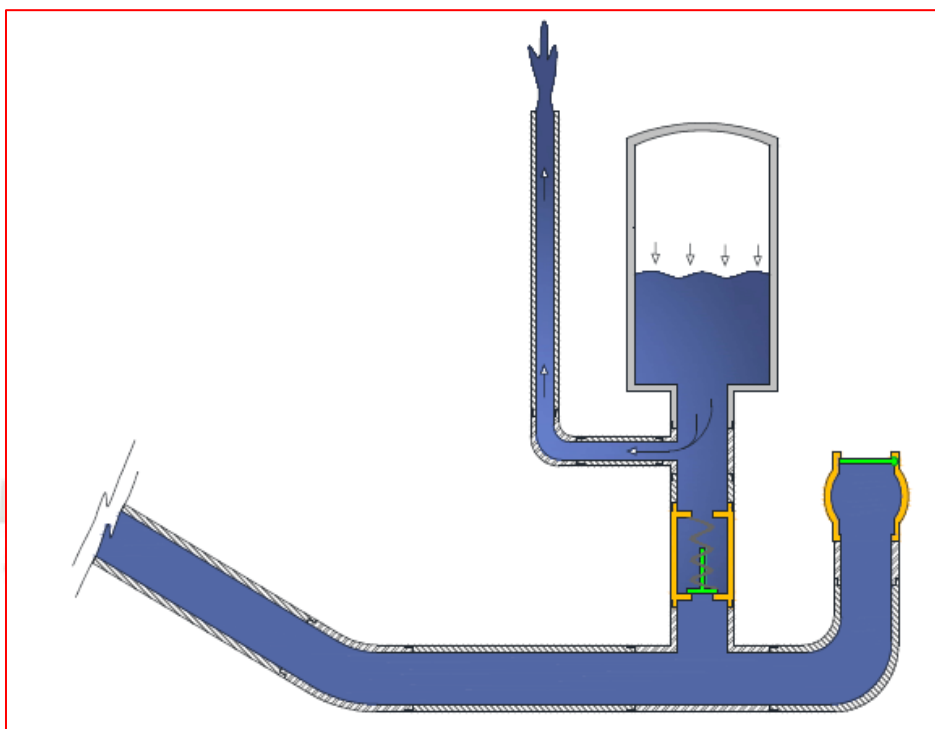
**Fuente: Acitores Martínez Francisco. (2012). Estudio teórico y experimental de la bomba de ariete. Madrid.**

Al tener la caja de válvulas una gran presión, permite la apertura de la válvula check y el paso de agua desde la caja de válvulas hacia la cámara de aire y a través de la tubería de elevación:



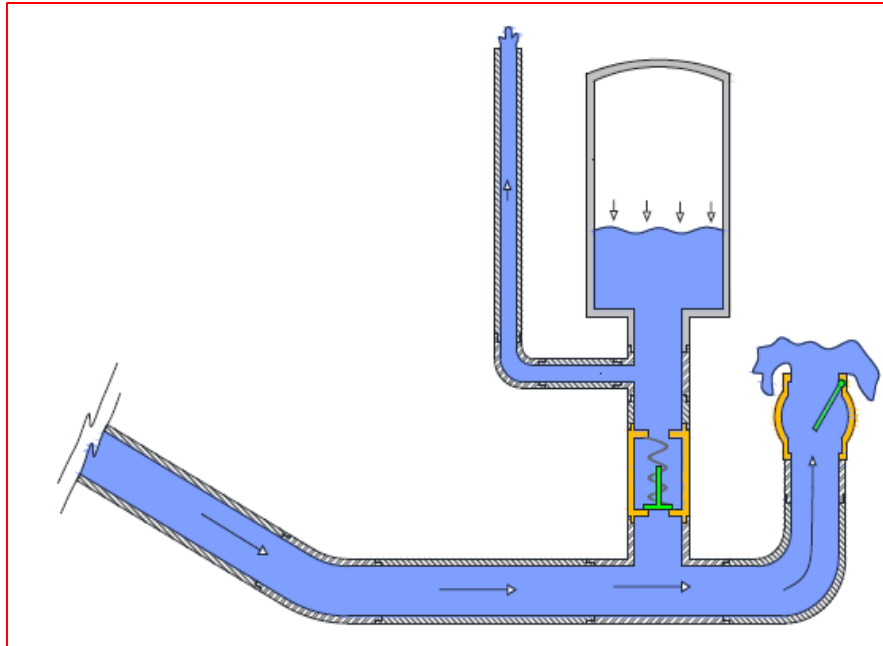
**Figura N° 10: Apertura de válvula check, paso de agua hacia la cámara de aire**  
**Fuente: Acitores Martínez Francisco. (2012). Estudio teórico y experimental de la bomba de ariete. Madrid.**

Cuando se igualan las presiones en ambos lados de la válvula check, esta se cierra cortando el paso del fluido y la presión que acumulada en el aire de la cámara es transmitida al fluido que es elevado por la tubería de elevación.



**Figura N° 11: Cierre de válvula check, se libera agua por la tubería de elevación**  
**Fuente: Acitores Martínez Francisco. (2012). Estudio teórico y experimental de la bomba de ariete. Madrid.**

Pasado un tiempo la presión de la caja de válvulas disminuye hasta que la compuerta de la válvula de choque se abre debido a su propio peso y comienza a salir nuevamente agua por ella como se muestra a continuación:



**Figura N° 12: Apertura de la válvula de choque y reinicio de proceso**  
**Fuente: Acitores Martínez Francisco. (2012). Estudio teórico y experimental de la bomba de ariete. Madrid.**

De esta forma, volvemos a encontrarnos en la misma situación que al principio del proceso, repitiéndose este una y otra vez de forma continuada hasta que sea interrumpida voluntariamente, cerrando una llave de paso.

## 2.2.4 Principales componentes en su instalación

### 2.2.4.1 Rejilla o válvula de pie

- Es un medio físico para separar las basuras que provienen del abastecimiento de agua y ayuda a prevenir que ingresen objetos extraños al ariete.

#### 2.2.4.2 Reservorio o tanque de almacenamiento

- Fuente continua de agua, que normalmente será un río al que le será devuelta unos metros más abajo el agua descargada por la bomba de ariete. También puede tratarse de un depósito suficientemente grande, normalmente fabricado de plástico u hormigón. Esta fuente tendrá que proporcionar agua a una altura  $H$  por encima del nivel al que se encuentre la bomba de ariete. Esta altura  $H$  depende del tipo de bomba con el que se trabaje, así como la altura final a la que se quiera bombear agua y el rendimiento que busquemos, pero un valor usual puede ser entre 2 y 5 metros.

#### 2.2.4.3 Tubería de alimentación

- La tubería de alimentación conecta el tanque de captación con el ariete y constituye el elemento fijo más importante conjuntamente con la caja de válvulas, y a la vez soporta con mayor intensidad los efectos del choque hidráulico.

#### 2.2.4.4 Válvula de cierre

- Es una válvula de compuerta que activa o detiene el

funcionamiento del ariete y es un componente opcional ya que algunos arietes se diseñan para un uso continuo y hay otros que funcionan bajo determinada demanda de agua.

#### **2.2.4.5 Caja de válvulas**

- Es la parte donde se produce la inversión de la onda de presión y donde se ubican las válvulas de impulso y de descarga, y a su vez es la base de asentamiento y ubicación de los elementos del ariete.

#### **2.2.4.6 Válvula de servicio**

- Es la que permite el paso del agua, desde la caja de válvulas hasta la cámara de aire, no permitiendo su retroceso al cerrarse por los efectos del rebote que se produce con el aire comprimido dentro de la cámara, lo que hace que el agua sea impulsada hasta un nivel superior al de captación. Debe estar construida de forma tal que se logre una buena hermeticidad, lo que evita pérdidas en la eficiencia y el rendimiento. La válvula de descarga está compuesta por una brida, plato de goma, platillo semiesférico y un tornillo de sujeción, la misma se encuentra en la base de la cámara de aire.

#### 2.2.4.7 Válvula de choque o impulso

- Constituye la parte móvil más importante y determinante en el funcionamiento del equipo. Produce el golpe de ariete debido al cierre brusco que se produce por el efecto del incremento de la velocidad del agua. Esta válvula regula la cantidad de agua que penetra en la cámara de aire, esto se logra al variar el número de golpes por minutos o frecuencia, por medio juegos de contra pesos diseñados y fabricados a tal efecto, los cuales se colocan en el vástago de la válvula.

#### 2.2.4.8 Cámara de aire

- Es el dispositivo que regula el flujo de agua hacia al tubería de descarga, absorbe la sobrepresión (funciona como amortiguador de los golpes de ariete) e impulsa el agua por la tubería de descarga dando de esta forma un flujo casi continuo, logrando un nivel superior al de captación.

#### 2.2.4.9 Válvula de aire:

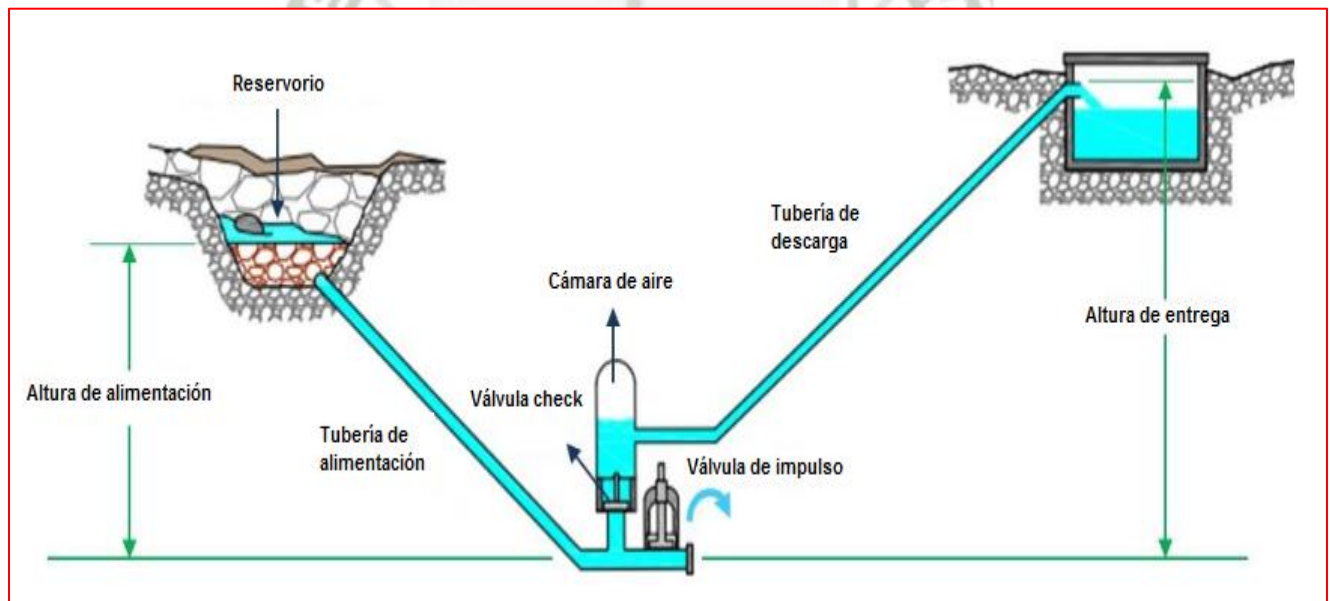
- Opcionalmente se coloca en la cámara de aire y sirve para regular y renovar el aire absorbido por el agua que se pierde de la cámara.

#### 2.2.4.10 Tubería de descarga:

- Sale de la cámara de aire y se dirige hacia el tanque de almacenamiento. Esta se puede construir con manguera de goma pero habrá que tener en cuenta la altura a bombear para conocer la presión máxima en columna de agua que resiste.

#### 2.2.5 Esquema de componentes en la instalación de una bomba de ariete

- En la figura N° 13 se muestra un esquema de posición de componentes:



**Figura N° 13: Esquema de ubicación de principales componentes**

**Fuente: E-proceedings of the 36th Iahr Worl Congress 2015**

## 2.3 DEFINICION DE FLUIDO

Es toda aquella sustancia que se deforma continuamente cuando se le somete a un esfuerzo cortante por más pequeño que sea. Sustancia capaz de fluir y adaptarse a formas de los recipientes que la contenga.

## 2.4 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Las principales propiedades físicas que influyen en la conducción de fluidos son:

### 2.4.1 Densidad

- Es la relación entre la masa y el volumen que ocupa un fluido. Su fórmula viene dada por la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Ec. (1)

Donde:

$\rho$  : Densidad del fluido ( $\text{kg/m}^3$ )

$m$  : Masa del fluido (kg-m)

$V$ : Volumen del fluido ( $\text{m}^3$ )

### 2.4.2 Volumen específico

- Es la relación entre el volumen y la masa que posee un fluido. Es el inverso de la densidad. Su fórmula viene dada por la siguiente expresión:

$$v = \frac{V}{m}$$

Ec. ( 2 )

Donde:

$v$  : Volumen específico del fluido ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$m$  : Masa del fluido ( $\text{kg}\cdot\text{m}$ )

$V$  : Volumen del fluido ( $\text{m}^3$ )

### 2.4.3 Peso específico

- Es la relación entre el peso del fluido por unidad de volumen. Su fórmula viene dada por la siguientes expresiones:

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Ec. ( 3 )

$$\gamma = \rho \cdot g$$

Ec. ( 4 )

Donde:

$\gamma$ : Peso específico ( $\text{N}/\text{m}^3$ )

$W$ : Peso del fluido ( $\text{kg}\cdot\text{f}$ )

$V$ : Volumen del fluido ( $\text{m}^3$ )

$\rho$  : Densidad del fluido ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$g$  : Aceleración de la gravedad ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

#### 2.4.4 Viscosidad

- Resistencia que tiene un fluido para fluir cuando se le aplica una fuerza externa. El coeficiente de viscosidad absoluta, es una medida de la resistencia al deslizamiento o a sufrir deformaciones internas.

#### 2.4.5 Viscosidad absoluta

- Indica la mayor o menor resistencia que los fluidos ofrecen al movimiento de sus partículas cuando son sometidos a un esfuerzo cortante. Algunas unidades a través de las cuales se expresa esta propiedad son el Poise (P), el Pascal-Segundo ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ) y el centiPoise (cP).

#### 2.4.6 Viscosidad cinemática

- Es el cociente entre la viscosidad dinámica y la densidad. Su fórmula viene dada por la siguientes expresiones:

$$V = \frac{\mu}{\rho}$$

Ec. ( 5 )

Donde:

V: Viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s)

μ: Viscosidad absoluta o dinámica (Pa.s)

ρ : Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

## 2.5 PROPIEDADES DEL AGUA

En la tabla N° 1 podemos apreciar las principales propiedades físicas del agua a diferentes temperaturas:

UNIDADES SISTEMA INTERNACIONAL						
Temperatura ( °C )	Densidad ρ ( kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad μ ( N.s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática ν ( m/s <sup>2</sup> )	Tensión superficial ( N/m )	Presión de vapor ( kPa )	Módulo de elasticidad ( kN /m <sup>2</sup> )
0	999.9	1.792 x 10 <sup>-3</sup>	1.792 x 10 <sup>-6</sup>	0.0762	0.61	1.98 x 10 <sup>6</sup>
5	1000	1.519 x 10 <sup>-3</sup>	1.519 x 10 <sup>-6</sup>	0.0754	0.872	2.06 x 10 <sup>6</sup>
10	999.7	1.308 x 10 <sup>-3</sup>	1.308 x 10 <sup>-6</sup>	0.0748	1.13	2.11 x 10 <sup>6</sup>
15	999.1	1.140 x 10 <sup>-3</sup>	1.141 x 10 <sup>-6</sup>	0.0741	1.6	2.14 x 10 <sup>6</sup>
20	998.2	1.005 x 10 <sup>-3</sup>	1.007 x 10 <sup>-6</sup>	0.0736	2.34	2.20 x 10 <sup>6</sup>
30	995.7	0.801 x 10 <sup>-3</sup>	0.804 x 10 <sup>-6</sup>	0.0718	4.24	2.23 x 10 <sup>6</sup>

40	992.2	$0.656 \times 10^{-3}$	$0.661 \times 10^{-6}$	0.0701	3.38	$2.27 \times 10^6$
50	988.1	$0.549 \times 10^{-3}$	$0.556 \times 10^{-6}$	0.0682	12.3	$2.30 \times 10^6$
60	983.2	$0.469 \times 10^{-3}$	$0.477 \times 10^{-6}$	0.0668	19.9	$2.28 \times 10^6$
70	977.8	$0.406 \times 10^{-3}$	$0.415 \times 10^{-6}$	0.0650	31.2	$2.25 \times 10^6$
80	971.8	$0.357 \times 10^{-3}$	$0.367 \times 10^{-6}$	0.0630	47.3	$2.21 \times 10^6$
90	965.3	$0.317 \times 10^{-3}$	$0.328 \times 10^{-6}$	0.0612	70.1	$2.16 \times 10^6$

**Tabla N° 1: Principales propiedades físicas del agua**  
Fuente: <http://es.slideshare.net/mzx8/propiedades-fluidos>

## 2.6 DEFINICION DE FLUJO

Movimiento de un fluido en función de variables físicas como la densidad, velocidad y presión que ocurre en un momento determinado.

## 2.7 TIPOS DE FLUJO

### 2.7.1 Flujo permanente

- Un flujo es permanente cuando las condiciones de movimiento y las propiedades del fluido en un punto no varían en el transcurso del tiempo.

De manera que se puede definir este concepto como:

$$d\rho/dt = 0; \quad dv/dt = 0; \quad d\delta/dt = 0; \quad d\theta/dt = 0.$$

### 2.7.2 Flujo no permanente

- Un flujo es no permanente cuando las condiciones de movimiento y las propiedades del fluido en un punto varían en el transcurso del tiempo.

De manera que se puede definir este concepto como:

$$d\rho/dt \neq 0; \quad dv/dt \neq 0; \quad d\delta/dt \neq 0; \quad d\theta/dt \neq 0.$$

### 2.7.3 Flujo laminar

- Se denomina flujo laminar a aquel flujo que se desplaza ordenadamente, en trayectorias paralelas en forma de tubos concéntricos.

### 2.7.4 Flujo turbulento

- Se denomina flujo turbulento a aquel flujo que posee un movimiento caótico, desordenado y la trayectoria de las partículas se entrecruzan formando remolinos.

## 2.8 NUMERO DE REYNOLDS

Número adimensional que resulta del cociente de las fuerzas de inercia por las fuerzas debidas a la viscosidad. Su cálculo viene dado por las siguientes ecuaciones:

$$N^{\circ} Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad \text{Ec. (6)}$$

$$N^{\circ} Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde:

$N^{\circ} Re$ : Numero adimensional Reynolds

$\rho$ : Densidad del fluido ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$  : Velocidad media del fluido (m/s)

$D$ : Diámetro interno del conducto (m)

$\mu$ : Viscosidad absoluta o dinámica (Pa.s)

$\nu$ : Viscosidad cinemática ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

Determinando el número de Reynolds se puede definir que:

Flujo laminar se produce cuando,  $N^{\circ} Re < 2000$ .

Flujo en transición se produce cuando,  $2000 < N^{\circ} Re < 4000$ .

Flujo turbulento se produce cuando,  $N^{\circ} Re > 4000$ .

## 2.9 DEFINICIÓN DE CAUDAL

Se denomina caudal a la cantidad de fluido que pasa por medio de una sección de un ducto por unidad de tiempo, se le conoce también como flujo volumétrico o volumen que circula por un área determinada en la unidad de tiempo. Su cálculo viene dado por las siguientes ecuaciones:

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ec. (8)}$$

$$Q = V \cdot A \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde:

$Q$ : Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$V$ : Volumen del fluido ( $\text{m}^3$ )

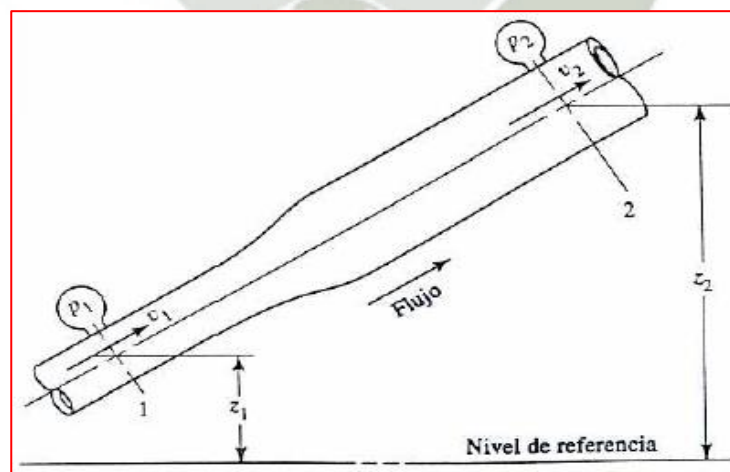
$t$ : Tiempo por el que paso determinado volumen de fluido (s)

$V$ : Velocidad media del fluido (m/s)

$A$ : Área de la sección transversal del conducto ( $\text{m}^2$ )

## 2.10 ECUACION DE LA CONTINUIDAD

El método para calcular la velocidad de flujo de un fluido en un sistema cerrado, depende del principio de continuidad.



**Figura N° 14: Conducto con diferentes secciones**  
Fuente: Mecánica de fluidos Aplicada. Robert L. Mott (1996)

Si consideramos un tubo de dos diferentes secciones por el cual un fluido fluye con una rapidez constante, podemos asumir que la cantidad de fluido que pasa por cualquier sección en un cierto tiempo dado es constante por lo que decimos que tenemos un flujo constante, en este ejemplo si no se agrega fluido, se almacena o se retira entre las secciones, entonces la masa del fluido que pasa por la sección 2 en un tiempo dado debe ser la misma que fluye por la sección 1 en el mismo tiempo.

Lo anterior se puede expresar en términos de la rapidez de masa como  $\dot{m}_1 = \dot{m}_2$ , se tiene que

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \rho_1 \cdot V_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot A_2 \quad \text{Ec. ( 10 )}$$

Si se considera que el fluido que fluye por ambas secciones es incompresible, se dice que las densidades son iguales entonces la ecuación de la continuidad queda reducida a la siguiente expresión:

$$V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 \quad \text{Ec. ( 11 )}$$

$$Q_1 = Q_2 \quad \text{Ec. ( 12 )}$$

Donde:

$Q_1$ : Caudal que pasa por la sección 1 ( $m^3/s$ )

$Q_2$ : Caudal que pasa por la sección 2 ( $m^3/s$ )

$V_1$ : Velocidad media del fluido en la sección 1 (m/s)

$V_2$ : Velocidad media del fluido en la sección 2 (m/s)

$A_1$ : Área de la sección transversal del conducto en la sección 1 ( $m^2$ )

$A_2$ : Área de la sección transversal del conducto en la sección 2 ( $m^2$ )

$\rho_1$ : Densidad del fluido en la sección 1 ( $kg/m^3$ )

$\rho_2$ : Densidad del fluido en la sección 2 ( $kg/m^3$ )

## 2.11 ECUACION DE BERNOULLI

Esta ecuación fue deducida a partir de las ecuaciones de Euler, para un fluido ideal y con las ecuaciones de Navier – Stokes, para flujos reales. Al aplicar al flujo el principio de conservación de la energía, la energía que posee un fluido en movimiento está integrada por la energía interna y las energías debidas a la presión, a la velocidad y a su posición en el espacio. En la dirección del flujo, el principio de la energía se traduce en la siguiente ecuación, al hacer el balance de la misma: E. Sec. 1 + E. Añadida – E. perdida – E. Extraída = E. Sec. 2

Esta ecuación, gracias a que el flujo permanente de fluidos incompresibles con variaciones en su energía interna es despreciable, se reduce a:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + H_A - H_L - H_E = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{Ec. ( 13 )}$$

Donde:

$P_1$ : Presión en la sección 1 ( $\text{N/m}^2$ )

$P_2$ : Presión en la sección 2 ( $\text{N/m}^2$ )

$z_1$ : Energía potencial del fluido en la sección 1 (m)

$z_2$ : Energía potencial del fluido en la sección 2 (m)

$V_1$ : Velocidad media del fluido en la sección 1 (m/s)

$V_2$ : Velocidad media del fluido en la sección 2 (m/s)

$\gamma$ : Peso específico del fluido ( $\text{N/m}^3$ )

$g$ : Aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

$H_A$ : Adición de energía (m)

$H_L$ : Remoción de energía (m)

$H_E$ : Pérdidas de energía (m)

## 2.12 PERDIDAS DE CARGA

Se llama pérdidas de carga a las pérdidas que sufren los fluidos en su circulación a través de las tuberías y conductos. Estas se deben a los

rozamientos de los fluidos con las paredes de las tuberías o conductos y a los rozamientos entre las distintas capas de fluido. Estas pérdidas se dividen en dos tipos: pérdidas primarias y pérdidas secundarias.

### 2.12.1 Pérdidas primarias

- Son aquellas pérdidas que están relacionadas con la pérdida de la energía que se genera por fricción entre partículas del mismo fluido al desplazarse dentro de las tuberías o conductos y la fricción del fluido con las paredes de dicha tubería o conducto. La fórmula de Darcy – Weisbach o fórmula universal permite obtener estas pérdidas a través de las siguientes ecuaciones:

$$h_p = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ec. ( 14 )}$$

$$h_p = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \quad \text{Ec. ( 15 )}$$

Donde:

$h_p$  : Altura de pérdidas primarias (m)

$f$  : Factor de fricción en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa

$D$  : Diámetro interior de la tubería (m)

$V$ : Velocidad media del fluido (m/s)

$Q$ : Caudal del fluido (m<sup>3</sup>/s)

$g$ : Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

En estas ecuaciones se requiere encontrar el valor del factor de fricción " $f$ " el cual se halla mediante diferentes ecuaciones dependiendo del tipo de flujo que se presente.

#### 2.12.1.1 Factor de fricción para un régimen laminar

- Para un flujo laminar en cualquier tipo de tubería (lisa o rugosa), el valor de " $f$ " viene dado por la fórmula de Pouseuille:

$$f = \frac{64}{N^{\circ} Re}$$

Ec. ( 16 )

Donde:

$f$ : Factor de fricción

$N^{\circ} Re$ : Número adimensional de Reynolds

- Para aplicar esta fórmula se deberá tener  $N^{\circ} Re < 2000$ .

### 2.12.1.2 Factor de fricción para un régimen turbulento

- Para un flujo turbulento intermedio alto en tuberías comerciales se debe aplicar la fórmula de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log_{10} \left( \frac{\epsilon}{3.70 D} + \frac{2.51}{N^{\circ} Re \cdot \sqrt{f}} \right) \quad \text{Ec. ( 17 )}$$

Donde:

$f$  : Factor de fricción

$N^{\circ} Re$ : Número adimensional de Reynolds

$\epsilon$ : Rugosidad absoluta

$D$ : Diámetro interno de la tubería (m)

$\epsilon/D$ : Rugosidad relativa

Para tuberías lisas en las que el valor de la rugosidad relativa es muy pequeño, este valor puede despreciarse en el primer término del logaritmo, también puede obtenerse la rugosidad absoluta dependiendo del tipo de tubería, estos valores los podemos obtener de la Tabla N° 2:

<b>Coefficientes de rugosidad absoluta “<math>\epsilon</math>” para tuberías comerciales</b>	
<b>Tipo de tubería</b>	<b>Rugosidad absoluta <math>\epsilon</math> (mm)</b>
Vidrio, cobre o latón estirado	<0.001 (o lisa)
Latón industrial	0.025
Acero comercial	0.045 – 0.09
Acero oxidado	0.15 - 4
Acero galvanizado	0.15
Acero inoxidable	0.015
Acero laminado nuevo	0.05
Acero laminado oxidado	0.15 a 0.25
Acero laminado con incrustaciones	1.5 a 3
Acero asfaltado	0.015
Acero roblonado	0.03 a 0.1
Acero soldado, oxidado	0.4
Hierro galvanizado	0.15 a 0.20
Fundición corriente nueva	0.25
Fundición corriente oxidada	1 a 1.5
Fundición asfaltada	0.1
Cemento alisado	0.3 a 0.8
Cemento bruto	Hasta 3
PVC y tubos de plástico	0.0015 – 0.007

**Tabla N° 2: Coeficientes de rugosidad absoluta para tuberías comerciales**  
**Fuente: Computer Applications in Hydraulic Engineering, 5<sup>th</sup> Edition, Haestad Methods**

- Para un flujo con un N° Re elevado y rugosidades elevadas se deberá emplear la segunda ecuación de Karman-Prandtl:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2. \log_{10}\left(\frac{D}{2\epsilon}\right) + 1.74 \quad \text{Ec. ( 18 )}$$

Donde:

$f$  : Factor de fricción

$\epsilon$ : Rugosidad absoluta

$D$ : Diámetro interno de la tubería (m)

$\epsilon/D$ : Rugosidad relativa

- Además de estas ecuaciones se dispone también de diagramas los cuales permiten el cálculo del factor de fricción a partir del número de Reynolds y la rugosidad relativa como es el caso del diagrama de Moody que se muestra en la Figura N° 15.

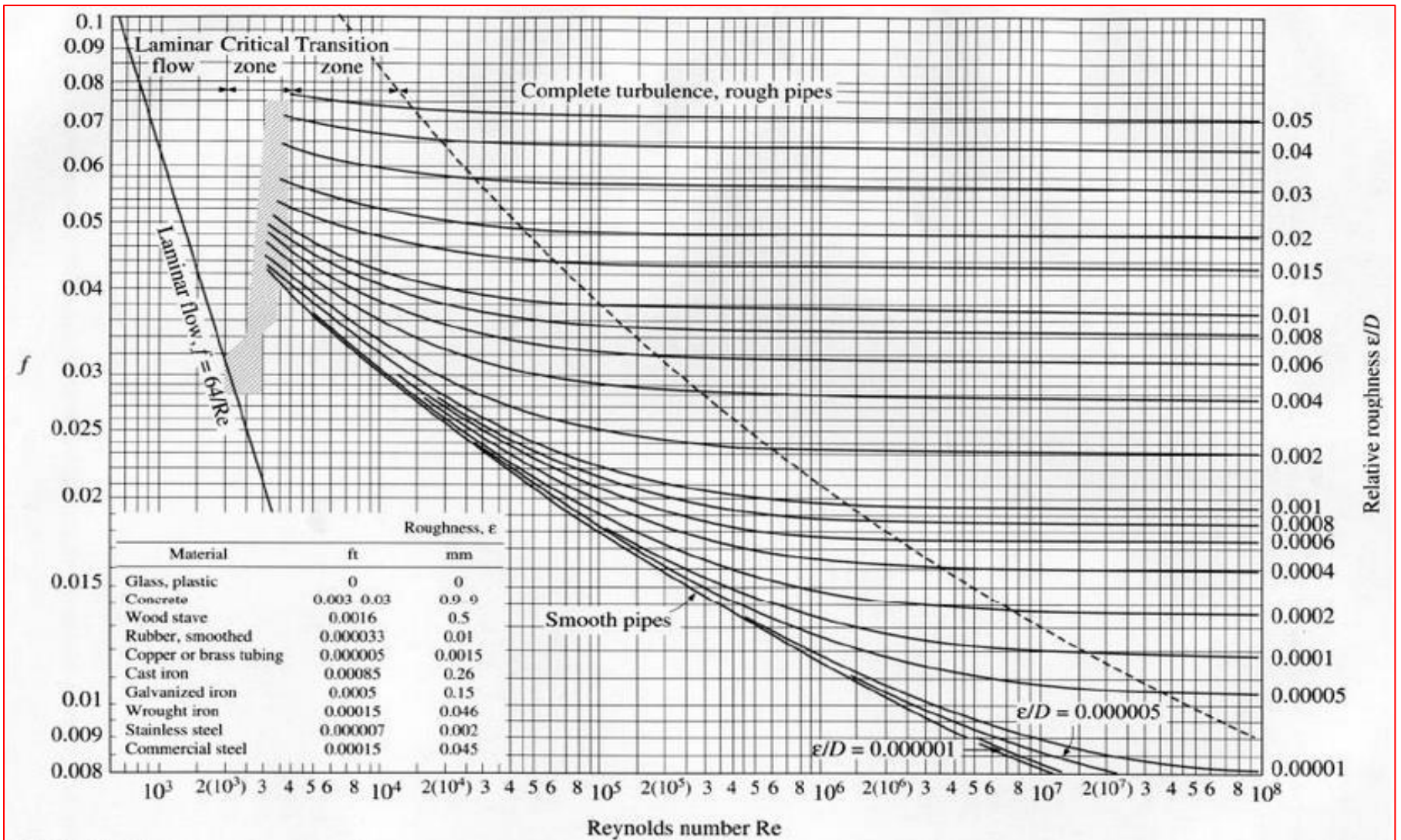


Figura N° 15: Diagrama de Moody

Fuente: <http://fisica.laguia2000.com/complementos-matematicos/diagrama-de-moody>

### 2.12.2 Pérdidas secundarias

- También conocidas como menores, son aquellas pérdidas o caídas de presión que se producen cuando el flujo atraviesa válvulas, codos y todo tipo de accesorios en una tubería. Si la conducción del fluido es larga, las pérdidas secundarias tienen poca importancia pudiendo ser despreciadas y no tomadas en cuenta, sumando un 5 al 10% de las pérdidas principales halladas. Si la conducción del fluido es corta y complicada, las pérdidas secundarias pueden alcanzar valores muy altos inclusive haciendo ser despreciables las pérdidas primarias.
  - Método del factor k: En este método las pérdidas se pueden calcular con la siguiente ecuación:

$$h_s = \Sigma k \cdot \frac{V^2}{2g} = \Sigma k \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g} \quad \text{Ec. ( 19 )}$$

Donde:

$h_s$  : Altura de pérdidas secundarias (m)

$\Sigma k$ : Factores adimensionales de pérdidas secundarias

$D$  : Diámetro interior de la tubería (m)

$V$ : Velocidad media del fluido (m/s)

$Q$ : Caudal del fluido (m<sup>3</sup>/s)

$g$  : Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Para obtener el valor de "k" se utilizará Tabla N° 3.

ACCESORIOS		DIAMETRO NOMINAL (PULGADAS)											
		1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2 - 3	4	6	8 - 10	12 - 16	18 - 24
		VALORES DE "K"											
Valv. de compuerta abierta		0.22	0.20	0.18	0.18	0.15	0.15	0.14	0.14	0.12	0.11	0.10	0.10
Valv. de globo abierta		9.20	8.50	7.80	7.50	7.10	6.50	6.10	5.80	5.10	1.80	4.40	4.10
Valv. de retención horizontal check		2.70	2.50	2.30	2.20	2.10	1.90	1.80	1.70	1.50	1.40	1.30	1.20
Valv. de retención oscilatoria horizontal check		1.40	1.30	1.20	1.10	1.10	1.00	0.90	0.90	0.75	0.70	0.65	0.60
Valv. de pie de disco con colador		11.30	10.50	9.70	9.30	8.80	8.00	7.60	7.10	6.30	5.90	5.50	5.00
Valv. de pie de disco con bisagra		2.00	1.90	1.70	1.70	1.70	1.40	1.40	1.30	1.10	1.10	1.00	0.90
Codos estándar	90°	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45	0.42	0.39	0.36
	45°	0.43	0.40	0.37	0.35	0.34	0.30	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
	90° Radio largo	0.43	0.40	0.37	0.35	0.34	0.30	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
	180°	1.35	1.25	1.15	1.10	1.05	0.95	0.90	0.85	0.75	0.70	0.65	0.60
Curvas de 90°		0.54	0.50	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.30	0.28	0.26	0.24
T en línea con derivación en principal y lateral cerrada		0.54	0.50	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.30	0.28	0.26	0.24
T en línea con circulación por derivación		1.62	1.50	1.38	1.32	1.26	1.14	1.08	1.02	0.90	0.84	0.78	0.72

Tabla N° 3: Valores de factor "k" para accesorios

Fuente: <http://image.slidesharecdn.com/hidraulica-100503005024-phpapp02>

- Método de la longitud equivalente: Consiste en considerar las pérdidas secundarias como longitudes equivalentes, es decir,

longitudes en metros de un trozo de tubería del mismo diámetro que produciría las mismas pérdidas de carga que los accesorios en cuestión. Así, cada codo, medidor de caudal y cada accesorio de tubería, se sustituirían por su longitud de tubería equivalente ( $L_{eq}$ ).

$$h_s = f \cdot \frac{L_{eq}}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ec. ( 20 )}$$

Donde:

$h_s$  : Altura de pérdidas secundarias (m)

$f$  : Factor de fricción

$L_{eq}$  : Longitud equivalente (m)

$D$  : Diámetro interior de la tubería (m)

$V$  : Velocidad media del fluido (m/s)

$Q$  : Caudal del fluido (m<sup>3</sup>/s)

$g$  : Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

- Para el cálculo del largo equivalente  $L_{eq}$  utilizaremos el siguiente monograma de la Figura N° 16 donde se entra con el diámetro (que puede ser nominal o el interno) y con el tipo de accesorio. Este monograma consta de tres escalas: uniendo con una recta el punto de la escala izquierda correspondiente al accesorio de que se trata con el punto de la escala derecha correspondiente al diámetro

interior de la tubería, el punto de intersección de esta recta con la escala central nos da la  $L_{eq}$  del accesorio.

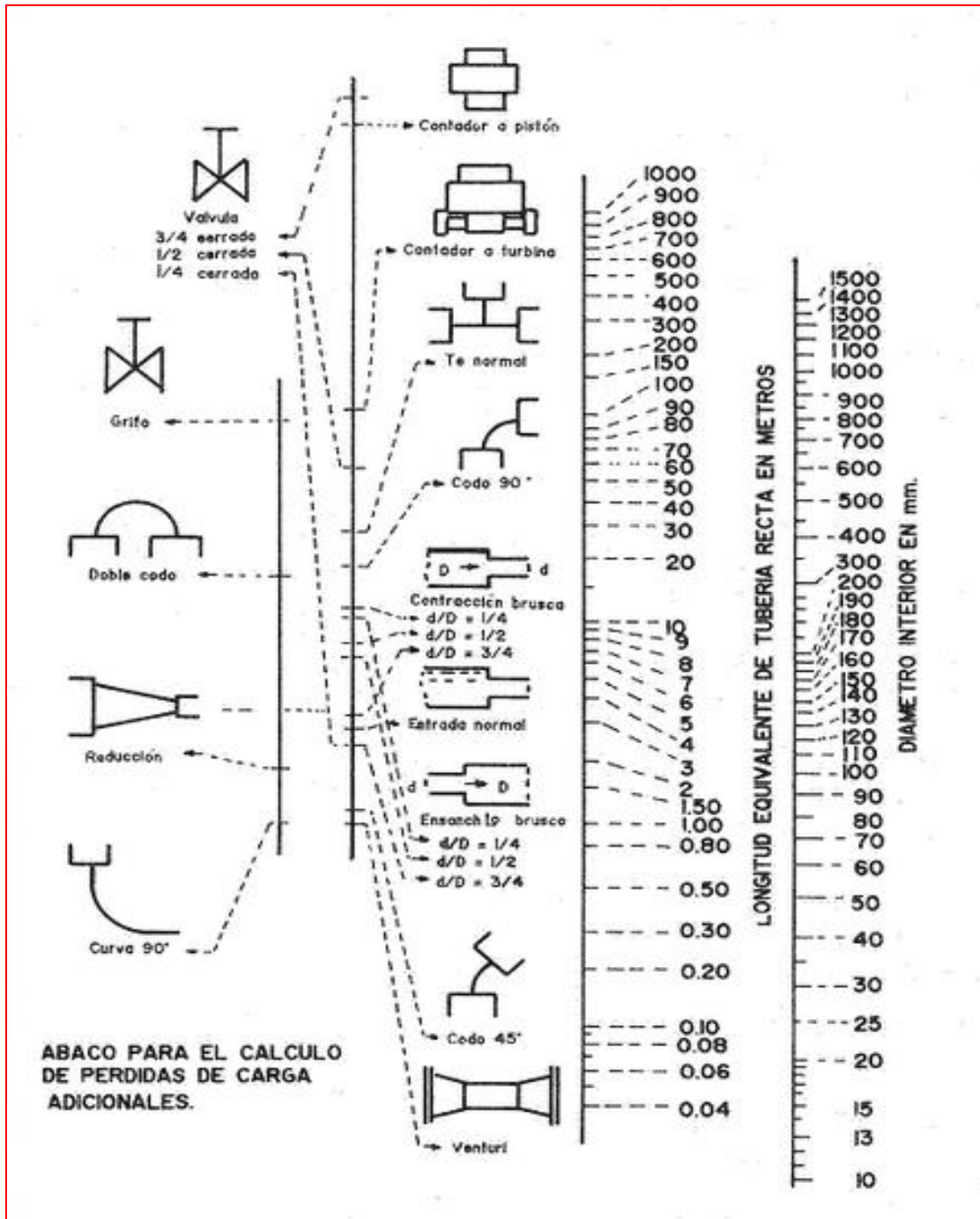


Figura N° 16: Monograma para el cálculo de la  $L_{eq}$  de accesorios  
Fuente: <http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario>

## 2.13 GOLPE DE ARIETE

Se puede decir que este fenómeno no es perjudicial en toda su forma sino que puede ser utilizado aprovechando sus principios, por ejemplo, en el caso del ariete hidráulico, el golpe de ariete va a ser el principio básico para el funcionamiento de la bomba, creando una sobrepresión que luego va a ser utilizada para impulsar el fluido a un punto más alto.

Es por ello que para el diseño de la bomba de ariete interesa que la válvula de impulso se cierre de la forma más rápida posible para crear una mayor sobrepresión.

### 2.13.1 Tiempo de cierre de una válvula

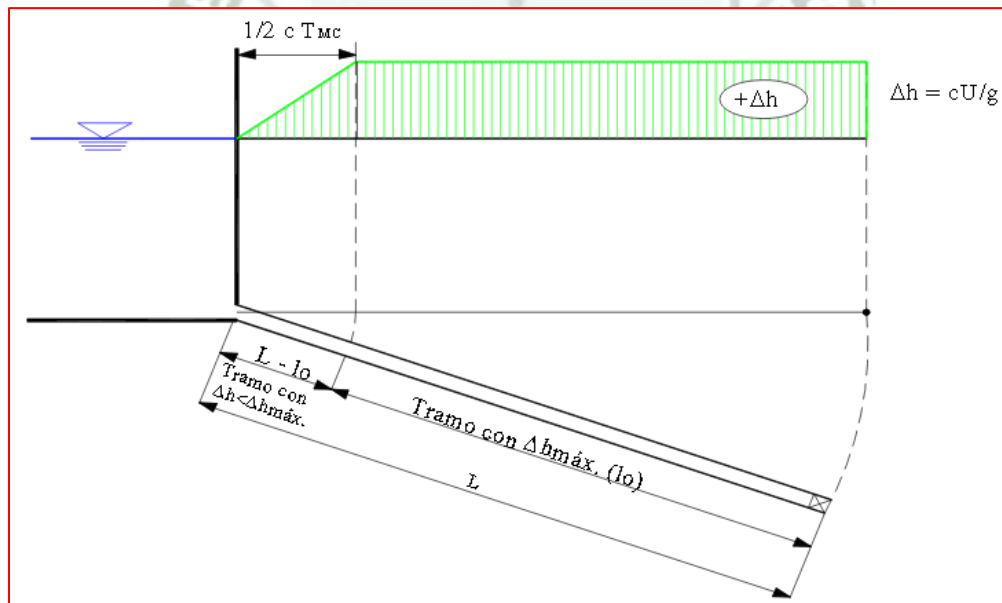
- El cálculo de sobrepresiones depende del tiempo de cierre de una válvula, tanto la práctica como la teoría nos muestran que las máximas sobrepresiones posibles se alcanzan para los casos en los que la maniobra de cierre sea menor que el tiempo que tarda la onda en su viaje de ida y vuelta a la válvula. Este tiempo lo denominaremos tiempo crítico  $t_c$ , y es equivalente a:

$$t_c = 2 \cdot t_0 = 2 \cdot \frac{L}{c} \quad \text{Ec. ( 21 )}$$

- Considerando el tiempo de cierre crítico tenemos dos tipos de cierre de la válvula: cierre rápido y cierre lento.

### 2.13.1.1 Cierre rápido

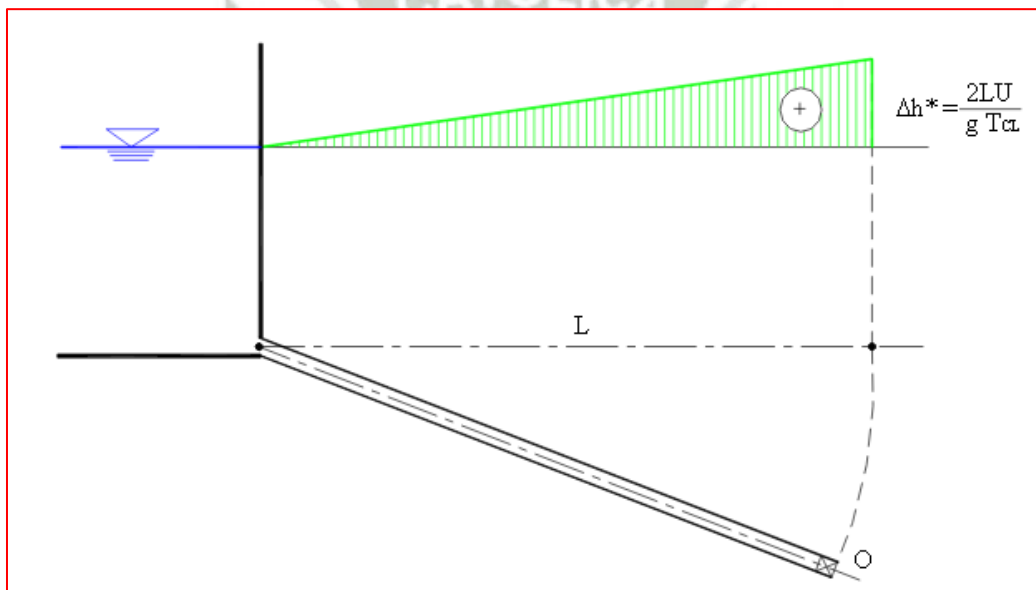
- En el cierre rápido de una válvula, el tiempo de cierre de la válvula es menor que el tiempo crítico ( $t < t_c$ ). En este tipo de cierre la onda de presión no alcanza el tiempo para llegar al reservorio, reflejarse y volver a dicha válvula antes de que termine medio ciclo.



**Figura N° 17: Diagrama de sobrepresiones en un cierre rápido de una válvula**  
Fuente: <http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario>

### 2.13.1.2 Cierre lento

- En el cierre lento, el tiempo de cierre de la válvula es mayor que el tiempo crítico ( $t > t_c$ ) por lo que la presión máxima será menor que en el caso anterior, ya que la depresión de la onda elástica llega a la válvula antes de que se complete el medio ciclo e impide el aumento de presión.



**Figura N° 18: Diagrama de sobrepresiones en un cierre lento de una válvula**  
Fuente: <http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario>

### 2.13.2 Golpe de ariete en el cierre rápido de una válvula

- Recordemos que para el diseño del ariete hidráulico necesitamos que el cierre de la válvula sea el más rápido posible, por lo que procederemos a

explicar y conocer cuál es la máxima sobrepresión alcanzada en el interior del cuerpo de la bomba de ariete. Primero debemos identificar el tiempo crítico de cierre y luego comprobaremos que el tiempo de cierre de la válvula es menor que el tiempo crítico ( $t < t_c$ ). De la ecuación 22 se tiene que:

$$t_c = 2 \cdot \frac{L}{c} \quad \text{Ec. ( 22 )}$$

Donde:

$t_c$ : Tiempo crítico de cierre (s)

$L$ : Longitud de la tubería (m)

$c$ : Celeridad de la onda (m/s)

La celeridad de la onda viene dada por la siguiente fórmula:

$$c = \frac{\sqrt{\frac{\varepsilon}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{\varepsilon \cdot D}{e \cdot E}}} \quad \text{Ec. ( 23 )}$$

Donde:

$\varepsilon$ : Módulo de compresibilidad del fluido ( $\text{N/m}^2$ )

$\rho$ : Densidad del fluido ( $\text{kg/m}^3$ )

$c$ : Celeridad de la onda (m/s)

$E$ : Módulo de elasticidad del material de la tubería ( $\text{N/m}^2$ )

$e$ : Espesor de la tubería (m)

$D$ : Diámetro de la tubería (m)

Teniendo calculados el tiempo crítico de cierre y la celeridad mediante las formulas anteriores y sabiendo que se trata de un cierre rápido de válvula, se puede calcular la sobrepresión máxima producida por el golpe de ariete, esta sobrepresión se puede obtener a partir de la fórmula de Allievi:

$$\Delta h_{max} = \frac{c \cdot V}{g} \quad \text{Ec. ( 24 )}$$

Donde:

$\Delta h_{max}$ : Sobrepresión máxima (m)

$c$ : Celeridad de la onda (m/s)

$V$ : Velocidad media en el régimen uniforme (m/s)

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

### 2.13.3 Ciclo teórico del ariete hidráulico

- El funcionamiento del ariete hidráulico no está completamente claro, cabe resaltar al aspecto del diseño hidráulico, debido a la rapidez, simultaneidad y complejidad de los fenómenos involucrados. Por ello, la asunción de un modelo exclusivamente teórico es imprecisa: las variables del proceso desbordan las exigencias de las fórmulas matemáticas si no se recurre a la experimentación. Los estudios que se han realizado alrededor del ariete pueden ser divididos en tres principales grupos:

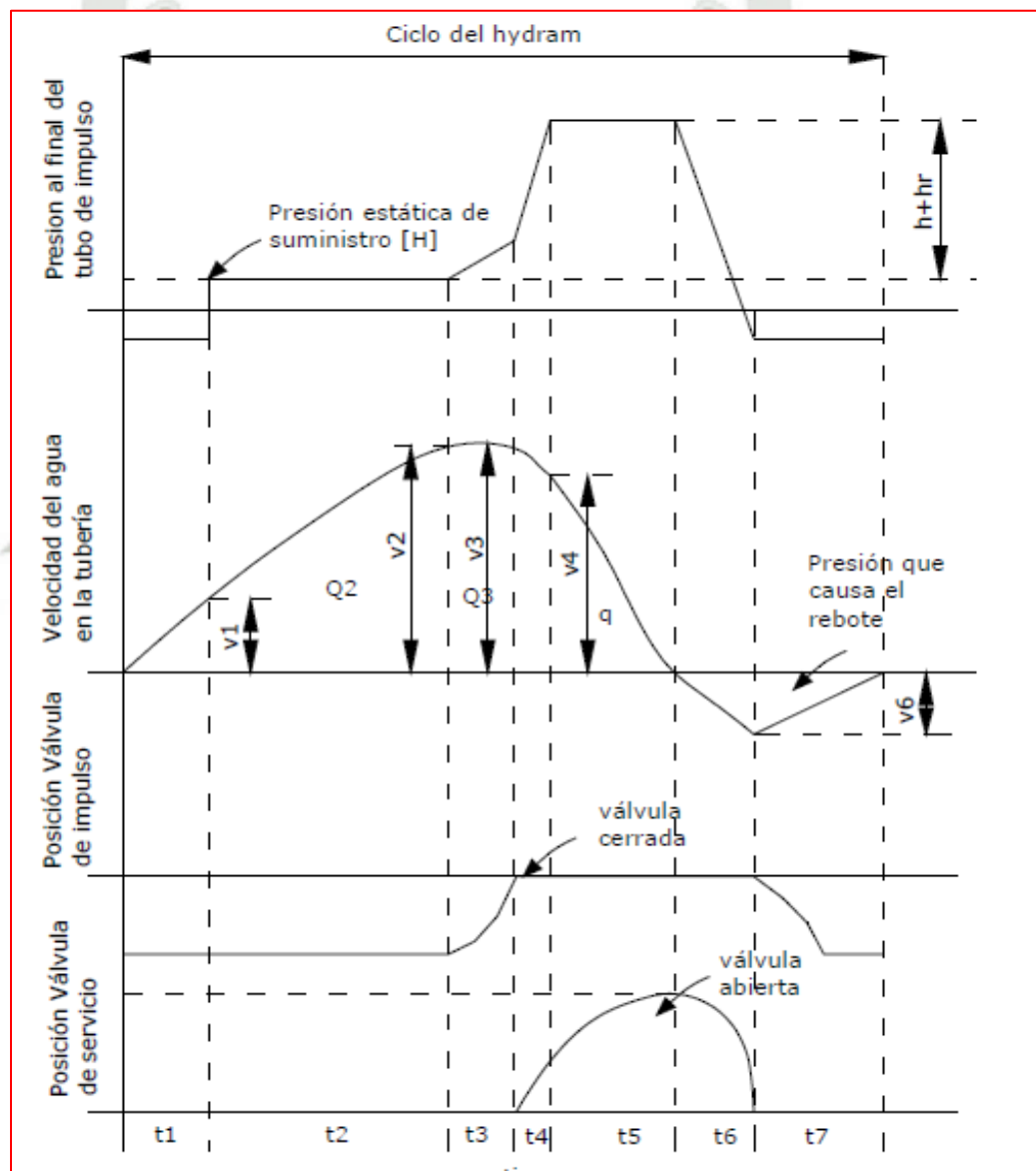
- Métodos empíricos: se basa en pruebas experimentales con resultados no apoyados o correlacionados por la teoría. Las fórmulas empíricas no son suficientes para la predicción de la operación del ariete ya que el proceso hidráulico depende de varias variables, las cuales son obviadas en el estudio.
- Métodos analíticos: usando las reglas básicas de la hidráulica y de la mecánica de fluidos se ha intentado acertar la tasa de cambio de la variable velocidad del agua en la tubería de impulso para cada periodo del ciclo. Estos métodos no fueron muy satisfactorios puesto que parámetros relacionados con la operación del hydram son obtenidos mejor por el método empírico.
- Métodos racionales: basados en análisis teóricos de la bomba de ariete con otros determinados experimentalmente. Constituye el modelo más exitoso para el estudio del ariete hidráulico. A pesar de la cantidad de variables y procesos simultáneos involucrados, Krol hizo una interpretación correcta de los fenómenos que ocurren en el funcionamiento de la bomba de ariete, creando un modelo matemático que junta los resultados experimentales con los teóricos.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Ortega Nebra Javier. (2013). *Construcción, caracterización hidráulica, y estudio de aplicación de una bomba de ariete para el riego de una finca agrícola. Universidad de Zaragoza. España.*

### 2.13.4 Modelo de Krol

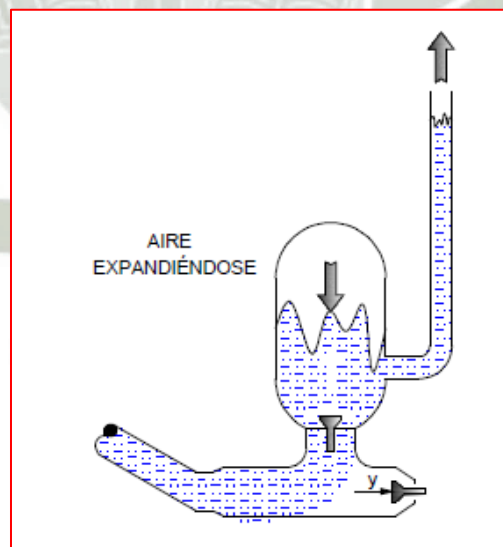
- En 1951 Krol publica “*The automatic hydraulic ram. Its Theory and Design*”, obra en la cual desarrolla un estudio teórico y experimental. La base de esta obra fueron las ecuaciones del modelo de Schiller.



**Figura N° 19: Ciclo teórico del ariete hidráulico según el Modelo de Krol**  
Fuente: Krol, J. (1951) *The Automatic Hydraulic Ram. Its Theory and Design*.

### 2.13.4.1 Período 1

- En este período el fluido fluye por la tubería de alimentación gracias a la presión ejercida por la altura del fluido en el reservorio. Este fluido adquiere una velocidad que va incrementándose a través del tiempo. A esta fase también se le conoce como fase de aceleración. Este periodo toma inicio en el instante que habiendo culminado el ciclo anterior (Periodo 7) en el que el agua ha retornado una distancia "y" desde el extremo de la tubería de alimentación hasta la válvula de impulso. La válvula de entrega permanece cerrada por consecuencia de la carga de servicio que actúa sobre ella. Debido al desperdicio de agua en la válvula de impulso, se genera una bolsa de aire, esta al desaparecer y poner en contacto el agua con la válvula de impulso el Periodo 1 finaliza.



**Figura N° 20: Período 1 - Krol, Ariete hidráulico**

**Fuente: Campaña C. N. & Guamán D. A. (2011). Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico. Quito.**

- Considerando el enunciado del Período 1 y asumiendo que el fluido es incompresible, partimos de la ecuación de volumen de control:

$$\frac{d}{dt} \int \rho \cdot V \cdot dv_c + F_{P1} - F_{P2} + M_1 - M_2 - \Delta H = 0 \quad \text{Ec. ( 25 )}$$

Donde:

$\rho$ : Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

$V$ : Velocidad del fluido (m/s)

$F_{P1}$ : Fuerza de presión en el punto 1 (N)

$F_{P2}$ : Fuerza de presión en el punto 2 (N)

$M_1$ : Cantidad de movimiento por unidad de tiempo en el punto 1

$M_2$ : Cantidad de movimiento por unidad de tiempo en el punto 2

$\Delta H$ : Pérdida de carga del líquido (m)

- Teniendo en cuenta la ecuación de continuidad (Ec. 10) y sabiendo que la sección del tubo es constante nuestra ecuación quedará reducida de a siguiente manera:

$$\frac{d}{dt} \int \rho \cdot V \cdot dv_c + F_{P1} - F_{P2} - \Delta H = 0 \quad \text{Ec. ( 26 )}$$

La presión en el punto 1 puede ser desarrollada en la siguiente fórmula:

$$p_1 = \gamma \cdot \left( H - \frac{V^2}{2 \cdot g} \right) \quad \text{Ec. ( 27 )}$$

Donde:

$\gamma$ : Peso específico del fluido ( $\text{N/m}^3$ )

$H$ : Altura del nivel de agua en el depósito de suministro (m)

$g$ : Aceleración gravitatoria ( $\text{m/s}^2$ )

Sabiendo la equivalencia de la  $F_{p1}$ , tendremos:

$$F_{p1} = p_1 \cdot A = \gamma \cdot A \cdot \left( H - \frac{V^2}{2 \cdot g} \right) \quad \text{Ec. ( 28 )}$$

Donde:

$A$ : Área de la sección de la tubería ( $\text{m}^2$ )

Teniendo en cuenta las ecuaciones del N° de Reynolds (Ec. 6) y la ecuación de pérdidas secundarias finalmente se obtienen las ecuaciones para el Periodo 1 las cuales se presentan a continuación:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot L \cdot y}{g \cdot H.}} \quad \text{Ec. ( 29 )}$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H \cdot y}{L}} \quad \text{Ec. ( 30 )}$$

$$y = \frac{H \cdot g}{L} \cdot t^2 \quad \text{Ec. ( 31 )}$$

Donde:

$t_1$ : Tiempo de duración del periodo 1 (s)

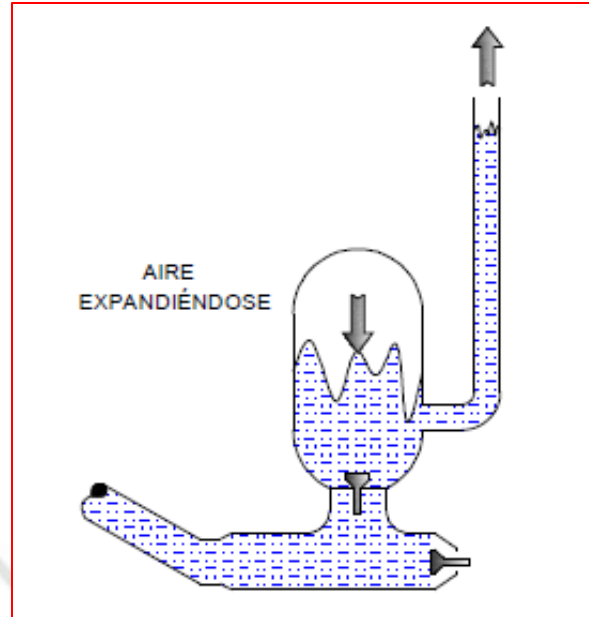
$V_1$ : Velocidad durante el periodo 1 (m/s)

$y$ : Distancia debida al retroceso del agua (m)

$H$ : Altura del nivel de agua en el depósito de suministro (m)

#### 2.13.4.2 Período 2

- En este periodo aún se tiene la válvula de impulso abierta por lo que el fluido sigue acelerándose, aumentando su velocidad en función del tiempo haciendo que también se incremente la fuerza de arrastre hasta que esta haga desequilibrar la carga del resorte.



**Figura N° 21. Período 2 - Krol, Ariete hidráulico**  
**Fuente: Campaña C. N. & Guamán D. A. (2011). Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico. Quito.**

- Las formulas de la velocidad alcanzada, la fuerza de arrastre y el peso de la válvula de impulso vienen dadas por las siguientes expresiones:

$$F_{\text{arrastre}} = \frac{K \cdot A'' \cdot \gamma \cdot V_2^2}{g} \quad \text{Ec. ( 32 )}$$

$$W = A'' \cdot \rho \cdot K_0 \cdot V_2^2 \quad \text{Ec. ( 33 )}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{W \cdot g}{K_0 \cdot A'' \cdot \gamma}} \quad \text{Ec. ( 34 )}$$

Donde:

$F_{arrastre}$ : Fuerza de arrastre (N)

$W$ : Peso de la válvula de impulso (N)

$K_0$ : Coeficiente de resistencia al cierre de la válvula impulso

$V_2$ : Velocidad máxima para producir el cierre de la válvula de impulso (m/s)

$A''$ : Área de la válvula de impulso (m<sup>2</sup>)

$g$ : Aceleración gravitatoria (m/s<sup>2</sup>)

$\gamma$ : Peso específico del fluido (N/m<sup>3</sup>)

La cantidad de agua desperdiciada a través de la válvula de impulso viene dada por la siguiente expresión:

$$Q_2 = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4 \cdot M} \cdot \ln Z \quad \text{Ec. ( 35 )}$$

El coeficiente total de pérdidas “Z” viene dado por la siguiente expresión:

$$Z = \frac{\frac{2 \cdot g \cdot H}{M} - V_1^2}{\frac{2 \cdot g \cdot H}{M} - V_2^2} \quad \text{Ec. ( 36 )}$$

Donde:

$Z$ : Coeficiente total de pérdidas

$g$ : Aceleración gravitatoria ( $m/s^2$ )

$H$ : Altura del nivel de agua en el depósito de suministro (m)

$M$ : Coeficiente agrupado de pérdidas

En base a la Ec. 36, se tiene que  $Z$ , es infinito para:

$$\frac{2 \cdot g \cdot H}{M} - V_2^2 = 0$$

Ec. ( 37 )

Reemplazando en la ecuación de la velocidad se tiene:

$$W_{max} = \frac{2 \cdot A'' \cdot H \cdot \gamma \cdot \Phi_s}{M}$$

Ec. ( 38 )

Por tanto el peso puede estar entre los valores ( $0 < W < W_{max}$ ).

### 2.13.4.3 Período 3

- En este periodo la válvula de impulso comienza a cerrarse, completando su cierre al término de este periodo.

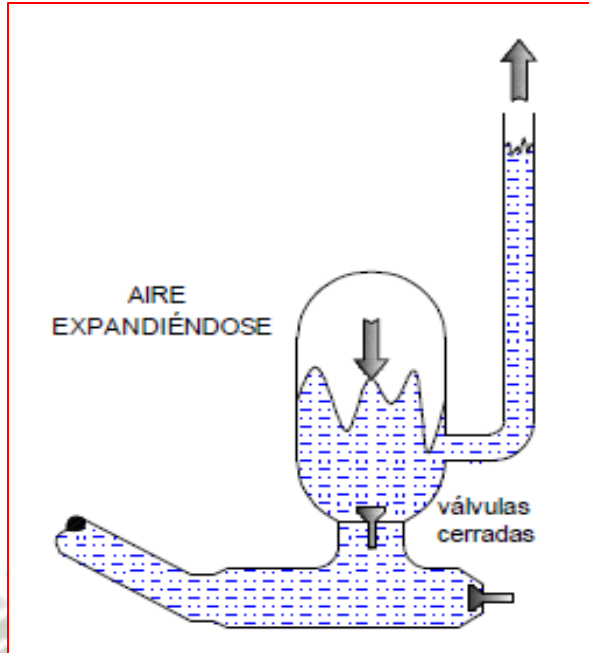


Figura N° 22: Período 3 - Krol, Ariete hidráulico

Fuente: Campaña C. N. & Guamán D. A. (2011). Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico. Quito.

- El análisis matemático de este período es complicado por tenerse tanto al fluido como a la válvula de impulso en movimiento. Por este motivo es que Krol se basa en la segunda ley de Newton y expone la siguiente simplificación matemática:

$$\frac{d^2s}{dt} = \frac{2 \cdot H \cdot g^2 \cdot t}{L} \cdot \left( 1 - \frac{WZ}{2 \cdot A'' \cdot \gamma \cdot H \cdot K_0} \right) \quad \text{Ec. ( 39 )}$$

$$\sqrt{\frac{W \cdot g}{A'' \cdot \gamma \cdot K_0}}$$

Obteniendo:

$$t_3 = \sqrt[3]{\frac{L.S. \sqrt{\frac{W \cdot g}{A'' \cdot \gamma \cdot K_0}}}{4 \cdot g \cdot H \cdot \left(1 - \frac{W \cdot Z}{2 \cdot A'' \cdot \gamma \cdot H \cdot K_0}\right)}} \quad \text{Ec. ( 40 )}$$

Donde:

$t_3$ : Tiempo de duración del período 3 (s)

$S$ : Carrera de la válvula de impulso (m)

Debido a que este período no dura mucho tiempo podemos asumir que:  $V_2 = V_3$ , por lo que el caudal desechado en este periodo se puede expresar de la siguiente manera:

$$Q_3 = \gamma \cdot A \cdot V_3 \cdot t_3 = \gamma \cdot A \cdot V_2 \cdot t_3 \quad \text{Ec. ( 41 )}$$

Donde:

$Q_3$ : Caudal desechado por la válvula de impulso ( $m^3$ )

Al término del período 3, la energía cinética de la columna de agua se podrá calcular a partir de:

$$E_c = \frac{m \cdot V_3^2}{2} \quad \text{Ec. ( 42 )}$$

Sabiendo que:  $V_2 = V_3$  y  $m = \frac{\gamma \cdot A \cdot L}{g}$  tenemos:

$$E_c = \frac{\gamma \cdot A \cdot L}{2 \cdot g} \cdot V_3 = \frac{\gamma \cdot A \cdot L}{2 \cdot g} \cdot V_2 \quad \text{Ec. ( 43 )}$$

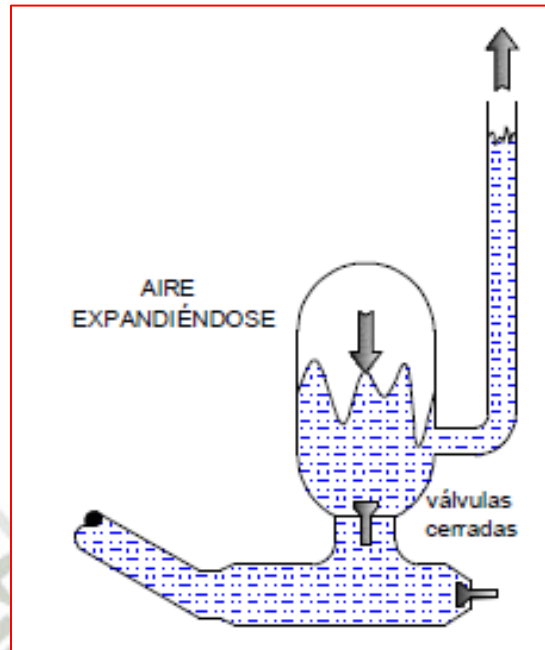
Donde:

$E_c$ : Energía cinética de la columna de agua (J)

$m$ : Masa de la columna de agua (kg)

#### 2.13.4.4 Período 4

- Al inicio de este periodo se tiene la válvula de impulso completamente cerrada, como consecuencia de este cierre se produce una sobrepresión la cual se conoce como golpe de ariete. Consideremos la inercia de las válvulas, tomamos un tiempo de  $2 \cdot L/c$ , hasta que el momento dinámico creado por el golpe de ariete se traslada desde la válvula de impulso hasta la válvula de descarga, provocando la apertura de ésta última. Al mismo tiempo, la velocidad en la tubería es reducida en proporción a la cabeza de presión ( $h + h'$ ).



**Figura N° 23: Período 4 - Krol, Ariete hidráulico**

**Fuente: Campaña C. N. & Guamán D. A. (2011). Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico. Quito.**

Este período presenta una duración muy corta por lo que podemos asumir:

$$t_4 = \frac{2 \cdot L}{c} \quad \text{Ec. ( 44 )}$$

Donde:

$t_4$ : Tiempo de duración del período 4 (m)

$c$ : Celeridad de la onda (m/s)

Sabiendo que la celeridad resulta de la Ec. 23 podemos calcular la velocidad del período 4 a partir de la siguiente ecuación:

$$V_4 = V_3 - (h + h_r) \cdot \frac{g}{c} \quad \text{Ec. ( 45 )}$$

Donde:

$V_4$ : Velocidad al final del período 4 (m/s)

$h$ : Altura de descarga medida desde el nivel de suministro (m)

$h_r$ : Pérdida de carga durante el período de retardación (m)

La pérdida de carga durante este periodo de retardación en la tubería de impulso, válvula de descarga y en la tubería de descarga se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$h_r = 5.64 \cdot \left(1 - \frac{h}{h_{max}}\right) \quad \text{Ec. ( 46 )}$$

Donde:

$h_{max}$ : Altura de descarga máxima desarrollada por el ariete (m)

Tomando en cuenta una  $V_4 = 0$  y  $h_r=0$ , simplificamos la Ec. 45:

$$h_{max} = \frac{c \cdot V_3}{g} \quad \text{Ec. ( 47 )}$$

Si  $V_2 = V_3$ , entonces, la altura de descarga máxima desarrollada por el ariete será:

$$h_{max} = \frac{c}{g} \cdot \sqrt{\frac{W \cdot g}{A'' \cdot \gamma \cdot K_0}} \quad \text{Ec. ( 48 )}$$

Analizando esta ecuación podemos decir que a mayor peso de la válvula de impulso, mayor altura descarga y si la válvula de impulso es demasiado liviana se obtendrá una pequeña altura de descarga.

En consecuencia al golpe de ariete, se genera una pérdida de energía cinética que es gastada en la compresión del agua contenida en la tubería de impulso y el ensanchamiento de las paredes de la misma, esta pérdida puede hallarse a partir de la siguiente expresión:

$$E_{CP} = \frac{m \cdot \Delta V^2}{2} \quad \text{Ec. ( 49 )}$$

Donde:

$E_{CP}$ : Energía cinética perdida (J)

$\Delta V^2$ : Incremento de la velocidad

Si:

$$\Delta V^2 = \frac{(h + hr)^2 \cdot g^2}{c^2} \quad \text{Ec. ( 50 )}$$

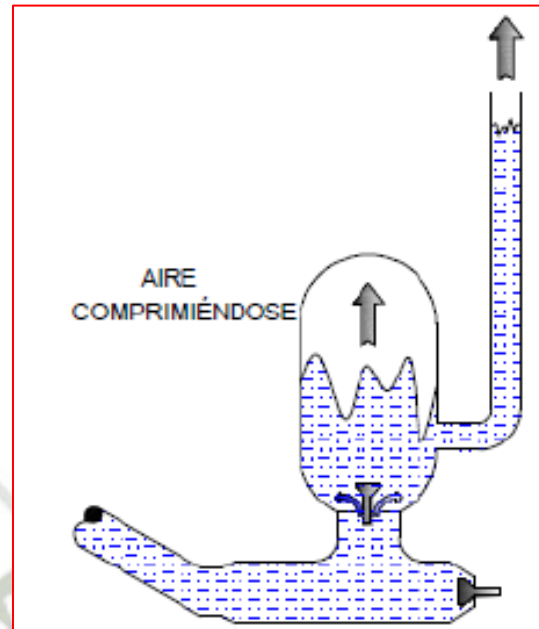
$$m = \frac{\gamma \cdot A \cdot L}{g} \quad \text{Ec. ( 51 )}$$

La energía cinética que es gastada en la comprensión del agua contenida en la tubería de impulso y el ensanchamiento de las paredes de la misma, quedara reducida a esta expresión:

$$E_{CP} = \frac{\gamma \cdot A \cdot L \cdot (h + hr)^2 \cdot g}{2 \cdot c^2} \quad \text{Ec. ( 52 )}$$

#### 2.13.4.5 Período 5

- Este período está referido al bombeo del agua, en donde se encuentra completamente abierta la válvula de descarga.



**Figura N° 24: Período 5 - Krol, Ariete hidráulico**  
**Fuente: Campaña C. N. & Guamán D. A. (2011). Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico. Quito.**

La energía cinética proveniente de la columna de agua en movimiento es transformada en energía hidráulica, por lo que la masa de agua que cumple con las condiciones de presión es bombeada, más el aire comprimido que ha estado retenido desde el inicio del ciclo bajo la válvula de descarga.

Por tanto, la cantidad de agua bombeada por ciclo resulta de la aplicación de la Ley de Conservación de la Energía. La energía útil para bombear agua a una altura  $(h + hr)$ , será igual a la energía cinética que poseía la columna de agua, al final del periodo

anterior, menos la energía cinética gastada en la comprensión del fluido y en la dilatación de las paredes de la tubería.

$$E_{DISP} = E_h \quad \text{Ec. ( 53 )}$$

Donde:

$E_{DISP}$ : Energía disponible

$E_h$ : Energía hidráulica

Se tiene que:

$$E_{DISP} = E_C + E_{CP} \quad \text{Ec. ( 54 )}$$

$$E_h = q' \cdot (h + hr) \quad \text{Ec. ( 55 )}$$

Reduciendo la fórmula a partir de las ecuaciones 53, 54, 55 se tiene que:

$$q' = \frac{E_C - E_{CP}}{h + hr} \quad \text{Ec. ( 56 )}$$

Mediante el teorema del impulso y la cantidad de movimiento se puede determinar la duración del período 5:

$$\text{Impulso} = \int F dt = \int_0^{t_5} \gamma \cdot (h + hr) \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \gamma \cdot (h + hr) \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot t_5 \quad \text{Ec. ( 57 )}$$

$$\text{Cantidad de movimiento} = \frac{\gamma \cdot A \cdot L}{g} \cdot (V_4 - V_5) \quad \text{Ec. ( 58 )}$$

Donde:

$V_5$ : Velocidad durante el período 5 (m/s)

$t_5$ : Tiempo de duración del período 5 (s)

Igualando las ecuaciones  $F dt = m \cdot dv$ , se tiene:

$$\gamma \cdot (h + hr) \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot t_5 = \frac{\gamma \cdot A \cdot L}{g} \cdot (V_4 - V_5) \quad \text{Ec. ( 59 )}$$

Tomando en cuenta la ecuación 45 y que  $V_2 = V_3$ , el tiempo del período 5 queda reducido a la siguiente expresión:

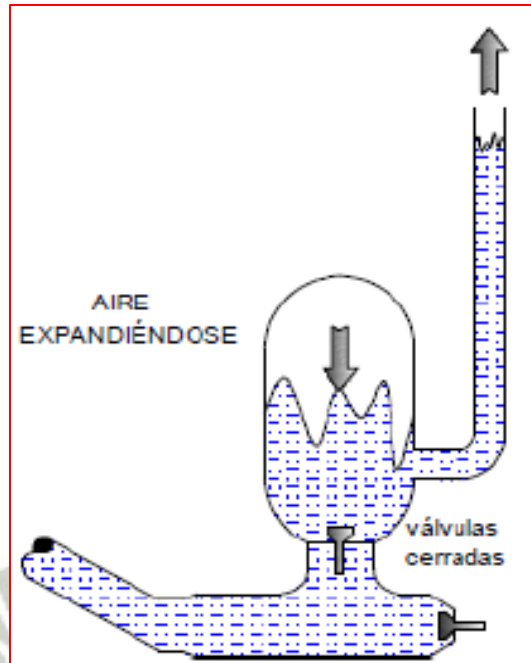
$$t_5 = \frac{L}{g \cdot (h + hr)} \cdot \left[ \sqrt{\frac{W \cdot g}{\gamma \cdot A'' \cdot K_0}} - \frac{(h + hr) \cdot g}{c} \right] \quad \text{Ec. ( 60 )}$$

De esta ecuación se puede deducir que a mayor altura de descarga menor tiempo de descarga. La sobrepresión comienza a descender en función del tiempo y cuando la velocidad del flujo se anula se termina el período de bombeo sin embargo el fluido que

se encuentra en la cámara de aire tiende a regresar al cuerpo del ariete, como consecuencia de que la cámara de aire dispone de mayor presión, por lo que es importante el buen funcionamiento de la válvula de descarga para que se asegure un buen cierre la misma.

#### **2.13.4.6 Período 6**

- Este período comprende el intervalo desde que se cierra la válvula de descarga hasta el inicio de la apertura de la válvula de impulso por inercia de las dos válvulas. En el instante que se cierra la válvula de descarga, el valor de la presión de la cámara de aire es mayor que la del cuerpo del ariete, por lo que se produce un flujo de retorno desde la válvula hacia el reservorio, alcanzando, de este modo, una presión menor que la atmosférica en el cuerpo del ariete. Este intervalo de “vacío” es aprovechado por una válvula, situada bajo la válvula de descarga, para inyectar cierta cantidad de aire con la finalidad de reponer el aire que se haya podido disolver en el agua en la operación de bombeo.



**Figura N° 25: Período 6 - Krol, Ariete hidráulico**

**Fuente: Campaña C. N. & Guamán D. A. (2011). Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico. Quito.**

En este período el agua viaja de la válvula de descarga hacia el reservorio, provocando una velocidad negativa, esta velocidad resulta de igualar la energía de deformación del agua y la energía cinética en la tubería de impulso:

$$\frac{\gamma \cdot A \cdot L \cdot g \cdot (h + hr)}{2 \cdot c^2} = \frac{\gamma \cdot A \cdot L}{2 \cdot g} \cdot V_6^2 \quad \text{Ec. ( 61 )}$$

$$V_6 = -\frac{(h + hr) \cdot g}{c} \quad \text{Ec. ( 62 )}$$

Donde:

$V_6$ : Velocidad durante el período 6 (m/s)

El tiempo de este período, al ser muy corto puede considerarse como una reflexión completa de una onda de presión:

$$t_6 = \frac{2.L}{c}$$

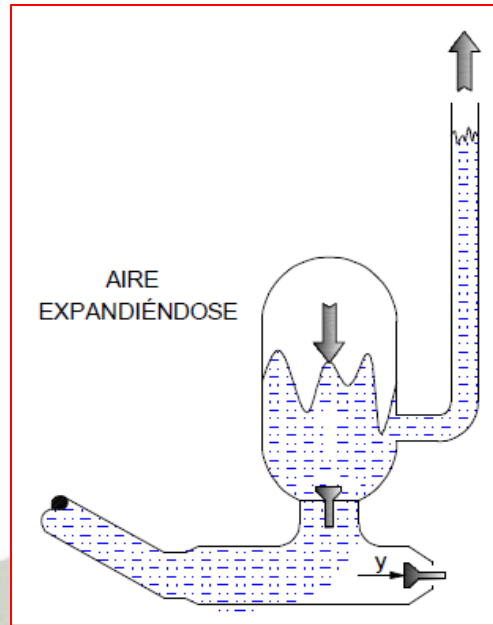
Ec. ( 63 )

Donde:

$t_6$ : Tiempo de duración del período 6 (s)

#### 2.13.4.7 Período 7

- Al término del periodo 6, la válvula de impulso se abre como resultado de su propio peso y a que se origina una diferencia de presión provocada por el retroceso del agua.



**Figura N° 26: Período 7 - Krol, Ariete hidráulico**  
**Fuente: Campaña C. N. & Guamán D. A. (2011). Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico. Quito.**

Al igual que el período 1 el tiempo de este periodo resulta de:

$$t_7 = \frac{L}{g \cdot H} \cdot V_7$$

Ec. ( 64 )

Donde:

$t_7$ : Tiempo de duración del período 7 (s)

$V_7$ : Velocidad durante el período 7 (m/s)

Reemplazando el valor de  $v_6$  se tiene:

$$t_7 = \frac{L \cdot (h + hr)}{H \cdot c} \quad \text{Ec. ( 65 )}$$

La distancia de retroceso se obtendrá a partir de igualar  $V_1 = V_7$ :

$$V_1 = V_7$$

$$\sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H \cdot y}{L}} = \frac{(h + hr) \cdot g}{c}$$

$$y = \frac{(h + hr)^2 \cdot L \cdot g}{2 \cdot H_c^2}$$

Ec. ( 66 )

Donde:

$y$ : Distancia de retroceso del agua (m)

## **CAPÍTULO III**

# **METODOLOGÍA DEL DISEÑO DE LA**

# **BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO**

### **3.1 METODOLOGÍA DE DISEÑO**

El objetivo de este diseño es tener como resultado un producto que sea útil y satisfaga las necesidades de un cliente o clientes determinados, también requiere que el producto sea confiable, eficiente, económico y de fácil manufactura; por lo que resulta esencial conocer los deseos y expectativas para quienes se desarrollará el producto.

Existen muchos métodos de diseño pero el vínculo de todos es de ordenar la actividad creadora del diseñador y hacerla más dinámica hasta obtener como resultado una solución adecuada.

El presente proyecto se desarrollará con ayuda de guía 2221 de la Asociación de Ingenieros Alemanes (VDI 2221), cuyo título es “Enfoque Sistemático para el diseño de sistemas técnicos y productos”.

El enfoque general de diseño en el cual nos basaremos se muestra en la siguiente figura, la cual se dividirá en cuatro fases:

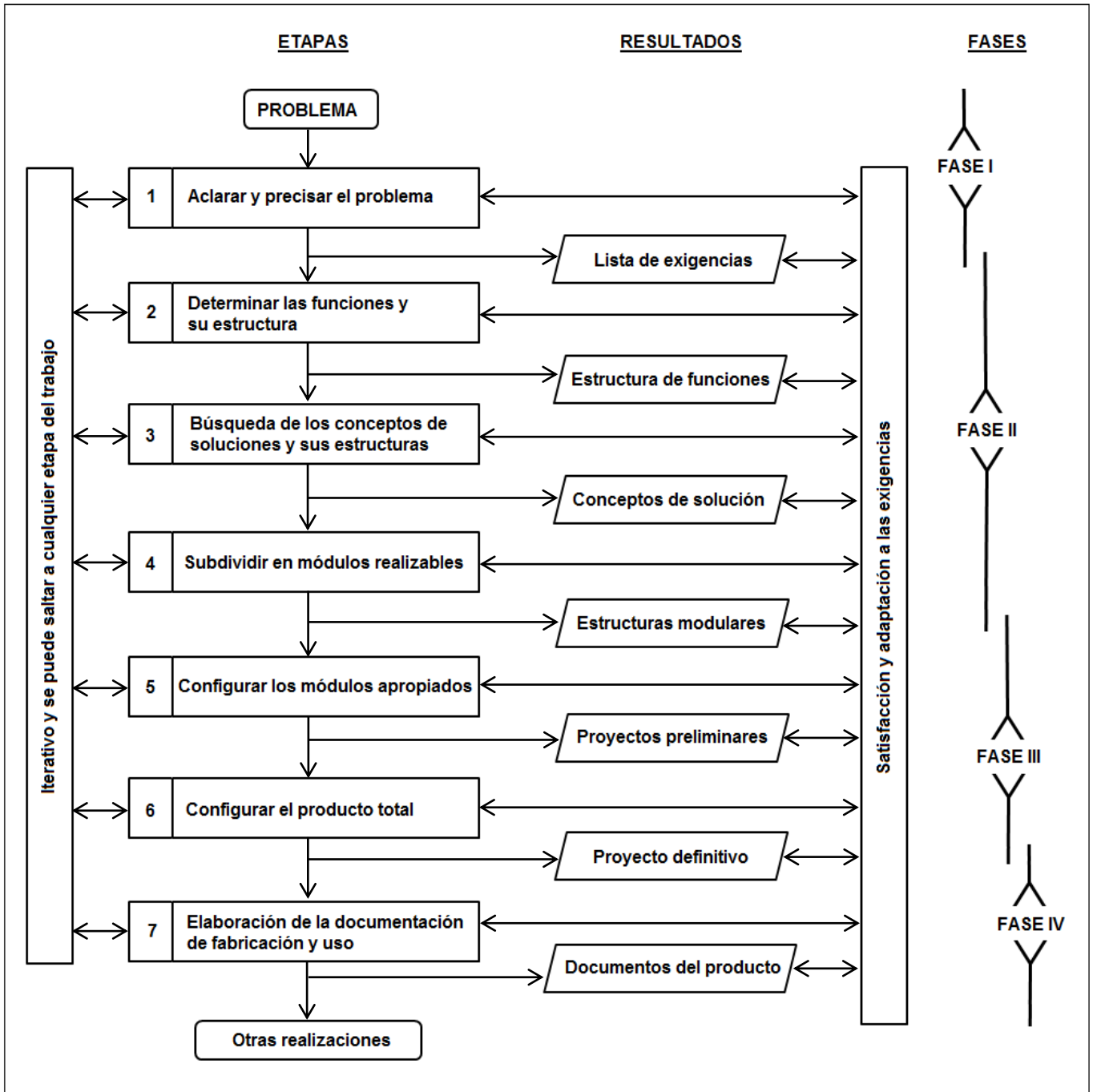


Figura N° 27: Enfoque general de diseño

Fuente: <http://www.clemson.edu/ces/cedar/images/d/d7/VDI.pdf>

El enfoque general de diseño comprende cuatro fases las cuales son:

- ✓ Fase I: Información.
- ✓ Fase II: Creación.
- ✓ Fase III: Desarrollo.
- ✓ Fase IV: Ingeniería de detalle

### 3.1.1 Fase I – Información

#### 3.1.1.1 Comprensión de la solicitud

- En esta parte se deberá obtener una lista de exigencias clasificadas y cuantificadas a partir de la solicitud de un sistema técnico. Antes de desarrollar esta lista de exigencias se deberá recopilar la información necesaria para cumplir con todos los requerimientos solicitados, por lo que se tiene que investigar el estado actual de la tecnología.

#### 3.1.1.2 Lista de exigencias

- La formulación de las exigencias debe ser neutral frente a la solución del problema. También debe tener en consideración la información adicional del funcionamiento de la bomba.

- Se debe distinguir e indicar las características de las exigencias, lo indicado es colocar esto en una tabla, denotando E para exigencia o D para Deseo. Debemos tener en cuenta que llamamos una “exigencia” a lo se requiere como imprescindible, deben de cumplirse bajo cualquier circunstancia, si alguna exigencia no es cumplida, el producto diseñado es inaceptable; también debemos tener en cuenta que llamamos un “deseo” a aspiraciones sin condiciones contradictorias con el objetivo del diseño.<sup>8</sup>

### 3.1.2 Fase II – Creación

- El siguiente paso en esta metodología del diseño es la elaboración del concepto de solución, la formulación de una estructura de funciones y la búsqueda de principios de solución para cada una de las funciones, así como el proceso de combinación de los factibles medios de solución para obtener un concepto óptimo.

---

<sup>8</sup> Bejarano Grandéz Omar. (2013). *Diseño de una máquina experimental para la deformación en frío en una dirección de láminas no ferrosas, mediante fuerzas de compresión. Perú.*

### 3.1.2.1 La estructura de funciones

- En este punto se buscará la función principal que la máquina a diseñar deberá cumplir y también las funciones que ésta debe cumplir para poder llevar a cabo su función principal.

### 3.1.2.2 Concepto de solución

- Es la evaluación de la variedad de las soluciones para obtener una solución definitiva.
- En este proyecto, se utilizará la forma discursiva para llegar a la solución con ayuda de un esquema ordenado llamado “Matriz morfológica” de Zwicky. Por este método se desea construir un sistema de soluciones completo para el problema dado. Generalmente se puede subdividir una función total en funciones parciales. En muchos casos se puede hacer de estas funciones parciales nuevas funciones totales secundarias y nuevamente dividir las en funciones parciales.
- La elaboración de la matriz es sencilla, en la primera columna se escriben las funciones parciales y para cada función parcial en su

respectiva fila, los portadores de función son los principios que realizan los efectos deseados. Los portadores de una función son las alternativas de solución que satisfacen dicha función. La búsqueda de portadores (principios de solución) debe tener metas concretas. En los portadores de la funciones se puede determinar el conocimiento que tiene el que elabora y el estado de la tecnología.<sup>9</sup>

- Luego de desarrollar la Matriz Morfológica se deberán plantear las soluciones a nuestro problema y luego estas soluciones deberán ser evaluadas de dos maneras: una evaluación técnica y una económica; las cuales serán realizadas bajo recomendaciones del VDI 2225. En esta guía se tomarán puntajes en una escala de 0 a 4 (0: No satisface, 1: Aceptable, 2: Suficiente, 3: Bien, 4: Muy bien); esta escala deberá realizarse en base a un peso ponderado en función de los criterios de evaluación tanto técnicos como económicos.

---

<sup>9</sup> *Bejarano Grandéz Omar. (2013). Diseño de una máquina experimental para la deformación en frío en una dirección de láminas no ferrosas, mediante fuerzas de compresión. Perú.*

### 3.1.3 Fase III – Desarrollo

- Para el desarrollo del proyecto se requiere utilizar la información de las listas de exigencias, de la estructura de funciones y del bosquejo del concepto de solución; se deben cumplir tres reglas básicas para obtener resultados adecuados:
  - a) Claridad: Uso adecuado de los conocimientos de la física y la tecnología, tales como Dinámica, Cinemática Mecánica de Fluidos, etc.
  - b) Simpleza: Economía en la fabricación y el uso, por ejemplo: Fabricación simple, montaje simple, poco peso, bajos costos de mantenimiento y funcionamiento.
  - c) Seguridad: Seguridad para las personas, máquinas y el medio ambiente.<sup>10</sup>

### 3.1.4 Fase IV – Ingeniería de detalle

- En esta fase se requiere tener un registro de los cálculos realizados para el diseño por lo que se deberán tomar en cuenta los siguientes puntos para su registro:

---

<sup>10</sup> Bejarano Grandéz Omar. (2013). *Diseño de una máquina experimental para la deformación en frío en una dirección de láminas no ferrosas, mediante fuerzas de compresión*. Perú.

- a) Identificar los elementos a ser diseñados.
- b) Elaborar un esquema con las fuerzas que actúan sobre los elementos.
- c) Identificar y analizar esfuerzos, tensiones.
- d) Hallar las variables mediante fórmulas dadas.



## CAPÍTULO IV

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA BOMBA DE

# ARIETE HIDRÁULICO

### 4.1 FASE I DE DISEÑO - INFORMACIÓN

#### 4.1.1 Comprensión de la solicitud

- El sistema de bombeo mediante una bomba de ariete ha sido empleado desde hace mucho tiempo pero poco difundido, por lo que clasificaremos y evaluaremos las mejores soluciones para nuestro problema.
- Bomba de ariete hidráulico DK-Z315T: Es una bomba de ariete de gran eficiencia y de estado más estable. Adaptable para ambientes hostiles y malas condiciones, trabaja sin supervisión y sin consumo de energía, utiliza energía renovable. Su aplicación es para el suministro de agua para irrigaciones, reservorios. Trabaja hasta con alturas de entrega de 50 metros y pesa 87 kg.



**Figura N° 28: Bomba de ariete hidráulico DK-Z315T**  
**Fuente:** <http://www.rampumps.net/product/product-9374.html>

- Bomba de ariete Blake: En una bomba de ariete que no necesita de energía solo utiliza la fuerza del agua que desciende por una tubería de alimentación para elevar agua a una altura máxima de 150 metros. No necesita fuente externa de energía, haciendo de esta bomba uno de los mejores métodos más económicos para bombeo de agua en el mundo.



**Figura N° 29: Bombas de ariete Blake**

**Fuente:** <http://www.allspeeds.co.uk/products-services/blake-hydrant/>

- Bomba de ariete Agroterra: Es una bomba de ariete hidráulico fabricada enteramente en acero inoxidable. No tienen resortes, gomas, ni otros materiales o piezas que se desgasten. No necesitan electricidad, ni combustible alguno para llevar agua desde los ríos o arroyos hasta áreas alejadas, áreas de cultivo, haciendas. Elevan agua hasta 90 metros de altura manométrica. De fácil instalación y muy poco mantenimiento.



**Figura N° 30: Bomba de ariete Agroterra**

**Fuente: <http://www.agroterra.com/p/bomba-de-ariete-acero-inoxidable-10396/10396>**

#### 4.1.2 Lista de exigencias

- Antes de desarrollar la tabla de exigencias identificaremos los puntos más importantes a ser tomados en cuenta en dicha tabla, los cuales se muestran a continuación:

a) Función principal: Entregar el caudal requerido a la altura requerida.

- b) Seguridad: Identificar peligros de operación, evaluarlos y establecer medidas de control a fin de evitar accidentes. Regirse bajo estándares de la norma OHSAS 18001.
  - c) Medio ambiente: Identificar posibles daños al medio ambiente, prevenirlos a fin de controlar la contaminación ambiental. . Regirse bajo estándares de la norma ISO 14001.
  - d) Calidad: Cumplir con exigencias y mejorar la calidad del producto, utilizar normas internacionales para identificar elementos en su fabricación, regirse bajo estándares de la norma ISO 9001.
  - e) Ergonomía: Establecer el mejor diseño para su fácil levante, transporte y manejo; identificar las mejores formas para su manipulación.
  - f) Fabricación: Se deberá desarrollar un diseño de la bomba con tecnología y materiales disponibles.
  - g) Montaje: El montaje debe realizarse con personal apto para desarrollar las actividades mediante una secuencia de operaciones. Todas las actividades deberán ser supervisadas a fin de garantizar el éxito de este punto.
  - h) Mantenimiento: Se deberá emplear elementos de fácil acceso y de fácil recambio.
- Habiendo determinado los puntos más importantes, desarrollamos la tabla de exigencias la cual se muestra en la Tabla N° 4.

<b>LISTA DE EXIGENCIAS</b>			<b>Revisión: 01</b> <b>Páginas: 1 de 1</b> <b>Elaborado por: E.G.A.</b> <b>Revisado por: M.S.V.</b>
<b>PROYECTO</b>		Diseño y construcción de una bomba de ariete para una capacidad de 102 litros por hora y una altura de 8 metros	
<b>CLIENTE</b>		Viviendas aledañas al Ojo del Milagro, Characato, Arequipa, Perú	
<b>PRIORIDAD</b>	<b>DESEO / EXIGENCIA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RESPONSABLE</b>
1	Exigencia	Función principal: Suministrar 102 litros por hora a una altura de 8 m.	Eduardo Gonzales
2	Exigencia	Seguridad: Identificar peligros de operación, evaluarlos y establecer medidas de control a fin de evitar accidentes. Regirse bajo estándares de la norma OHSAS 18001.	Eduardo Gonzales
3	Exigencia	Medio ambiente: Identificar posibles daños al medio ambiente, prevenirlos a fin de controlar la contaminación ambiental. . Regirse bajo estándares de la norma ISO 14001.	Eduardo Gonzales
4	Exigencia	Calidad: Cumplir con exigencias y mejorar la calidad del producto, utilizar normas internacionales para identificar elementos en su fabricación, regirse bajo estándares de la norma ISO 9001.	Eduardo Gonzales
5	Exigencia	Ergonomía: Establecer el mejor diseño para su fácil levante, transporte y manejo; identificar las mejores formas para su manipulación.	Eduardo Gonzales
6	Exigencia	Fabricación: Se deberá desarrollar un diseño de la bomba con tecnología y materiales disponibles.	Eduardo Gonzales
7	Exigencia	Montaje: El montaje debe realizarse con personal apto para desarrollar las actividades mediante una secuencia de operaciones.	Eduardo Gonzales
8	Exigencia	Control de proceso: Medidores de caudal y presión.	Eduardo Gonzales
9	Deseo	Uso: Las formas de las piezas serán sencillas.	Eduardo Gonzales
10	Exigencia	Mantenimiento: Se deberá emplear elementos de fácil acceso y de fácil recambio.	Eduardo Gonzales
11	Exigencia	Costos: El costo de la bomba estará cercano a bombas similares en el mercado.	Eduardo Gonzales
12	Deseo	Reciclaje: Piezas de recambio podrán ser recicladas.	Eduardo Gonzales
13	Exigencia	Fecha de entrega: 16/11/15.	Eduardo Gonzales

**Tabla N° 4: Lista de exigencias**

**Fuente: Propia**

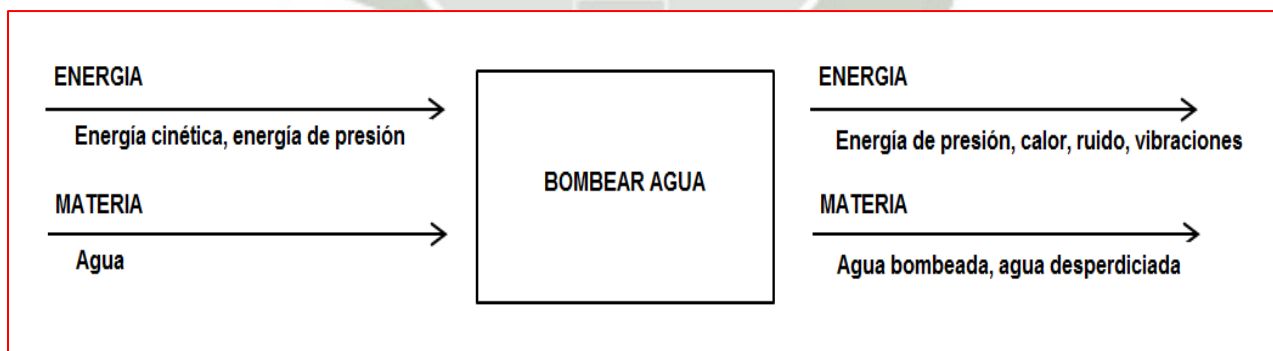
## 4.2 FASE II DE DISEÑO - CREACIÓN

### 4.2.1 Estructura de funciones

- Para desarrollar la estructura de funciones se deberá analizar cuál es la función principal y cuáles son las funciones secundarias que nuestra bomba debe desarrollar.

#### 4.2.1.1 Función principal

- La función principal vendrá representada por medio de la caja negra (Black Box), la cual tendrá entradas y salidas, ambas medidas en magnitudes esenciales: materia, energía y señales, como se puede apreciar en la Figura N° 31.



**Figura N° 31: Caja negra, función principal**  
**Fuente: Propia**

- La función principal viene dada con ayuda de la caja negra, la cual es “Bombear agua a razón de 102 litros por hora a una altura de 8 metros”.

#### 4.2.1.2 Funciones secundarias

- Las funciones secundarias que desarrollan tareas específicas para cumplir con el proceso requerido son:
  - ✓ Expulsar y retener: Eliminar agua para aprovechar la presión por la velocidad cinética del fluido y luego retener el agua para producir el golpe de ariete.
  - ✓ Permitir y retener: Permitir el paso del agua en un solo sentido de tal manera que no permita que el agua fluya en sentido contrario
  - ✓ Almacenar y suministrar: Almacenar aire para aprovechar su compresión y permitir el bombeo del agua.
  - ✓ Suministrar: Entregar aire para mantener un volumen constante de este para su compresión.

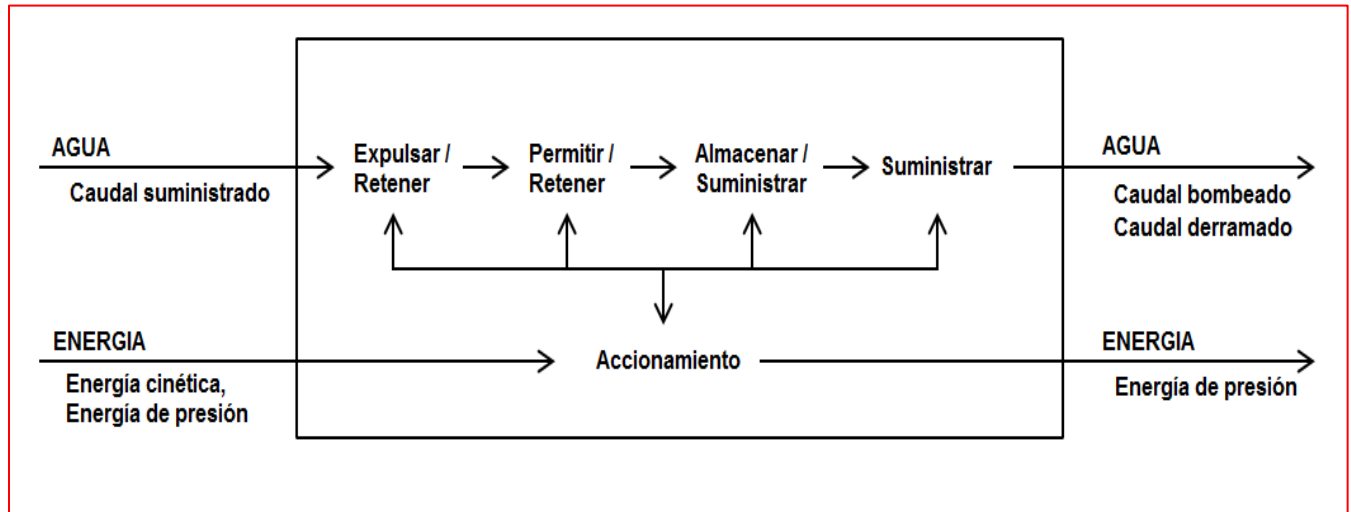


Figura N° 32: Funciones secundarias  
Fuente: Propia

#### 4.2.2 Concepto de solución

- En este punto desarrollaremos una Matriz Morfológica, método por el cual construiremos un sistema de soluciones para nuestro problema.

##### 4.2.2.1 Matriz morfológica

- En nuestro problema se establecieron siete funciones para cumplir el objetivo principal, estas funciones se muestran a continuación:

- a) Expansión y contracción: Medio por el cual el fluido generará ondas de sobrepresión.
  - b) Acoplamiento: Medio por el cual se conectarán las diferentes partes de la bomba.
  - c) Expulsar y retener agua: Medio por el cual se expulsará y se retendrá el agua.
  - d) Permitir y retener agua: Medio por el cual se permitirá el paso del agua en un solo sentido.
  - e) Almacenar y suministrar: Medio por el cual se almacenará aire el cual al momento de ser comprimido producirá una presión para bombear el agua.
  - f) Suministrar: Medio por el cual se mantendrá una cantidad de aire en el tanque de acumulación.
  - g) Medir: Sistema por el cual se cuantificará la presión antes y después del bombeo.
- La Matriz morfológica a partir de las funciones mencionadas se muestra en la Tabla N° 5.

MATRIZ MORFOLÓGICA				
FUNCIONES	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4
Expandir y contrae				
Acoplamiento				
Expulsar / Retener				
Permitir / Retener				
Almacenar / Suministrar				
Suministrar				
Medir				



Tabla N° 5: Matriz morfológica  
Fuente: Propia

#### 4.2.2.2 Disposición básica

- Como concepto de solución tenemos las cuatro soluciones mostradas en la matriz morfológica (S1, S2, S3, S4). A continuación se detallará cada una de ellas:

a) Solución S1: El diseño de la bomba de ariete en esta solución se dará utilizando piezas de PVC, las cuales serán unidas mediante pegamento, las funciones de expulsión y retención de agua se darán por medio de una válvula check de clapeta, para evitar el retorno del agua se empleará una válvula check de disco. La cámara de aire vendrá dada por un tubo de PVC, para mantener la presencia de aire en esta cámara se utilizará una válvula check para aire. Se medirán las presiones de entrada y salida con la ayuda de manómetros.

b) Solución S2: El diseño de la bomba de ariete en esta solución se dará utilizando piezas de acero galvanizado, las cuales serán unidas mediante roscas, las funciones de expulsión y retención de agua se darán por medio de una válvula check de clapeta, para evitar el retorno del agua se empleará una válvula check de disco. La

cámara de aire vendrá dada por un tanque de membrana por lo que no se necesitará suministrar aire al tanque. Se medirán las presiones de entrada y salida con la ayuda de manómetros.

c) Solución S3: El diseño de la bomba de ariete en esta solución se dará utilizando piezas de acero galvanizado, las cuales serán unidas mediante roscas, las funciones de expulsión y retención de agua se darán por medio de una válvula de pie modificada, para evitar el retorno del agua se empleará una válvula check de disco. La cámara de aire vendrá dada por un tanque de almacenamiento, para mantener la presencia de aire en el tanque se utilizará una cámara de aire. Se medirán las presiones de entrada y salida con la ayuda de manómetros de diferentes escalas.

d) Solución S4: El diseño de la bomba de ariete en esta solución se dará utilizando piezas de acero inoxidable, las cuales serán unidas mediante bridas soldadas, las funciones de expulsión y retención de agua se darán por medio de una válvula de impulso con resorte, para evitar el retorno del agua se empleará una válvula check de

clapeta. La cámara de aire vendrá dada por un tanque de acero inoxidable con pelotas de tenis en su interior. Se medirán las presiones de entrada y salida con la ayuda de manómetros.

#### 4.2.2.3 Evaluación del concepto de solución

- Tomando en cuenta los puntajes en una escala de 0 a 4 (0: No satisface, 1: Aceptable, 2: Suficiente, 3: Bien, 4: Muy bien), se evaluará las soluciones de forma técnica y de forma económica.
- Los criterios de evaluación técnica serán: Eficiencia, seguridad, fácil manufactura, fácil operación, fácil ensamble, fácil limpieza, transporte, espacio requerido, mantenimiento, complejidad, número de piezas, adquisición de materiales.
- Los criterios de evaluación económica serán: costo de material, costo de fabricación, costo de mantenimiento, costo mano de obra.

<b>DISEÑO MECÁNICO - EVALUACIÓN DE PROYECTOS</b>												
<b>VALOR TÉCNICO ( xi )</b>												
<b>PROYECTO: BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO</b>												
p: Puntaje de 0 a 4 (0= No satisface, 1= Aceptable, 2= Suficiente, 3= Bien, 4= Muy bien) g: Peso ponderado en función de los criterios de evaluación												
<b>CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA DISEÑOS EN FASE DE CONCEPTOS</b>												
Variantes de concepto			Solución S1		Solución S2		Solución S3		Solución S4		Solución Ideal	
N°	Criterios de evaluación	g	p	p*g	p	p*g	p	p*g	p	p*g	p	p*g
1	Eficiencia	3	1	3	3	9	3	9	3	9	4	12
2	Seguridad	3	3	9	3	9	3	9	3	9	4	12
3	Fácil manufactura	4	3	12	3	12	3	12	1	4	4	16
4	Fácil operación	3	3	9	3	9	3	9	3	9	4	12
5	Fácil ensamble	3	3	9	3	9	3	9	1	3	4	12
6	Fácil limpieza	2	3	6	3	6	3	6	2	4	4	8
7	Transporte	2	3	6	3	6	3	6	3	6	4	8
8	Espacio requerido	2	3	6	1	2	3	6	3	6	4	8
9	Fácil mantenimiento	2	3	6	3	6	3	6	2	4	4	8
10	Complejidad	3	2	6	2	6	2	6	3	9	4	12
11	Número de piezas	3	3	9	3	9	3	9	3	9	4	12
12	Adquisición de materiales	3	3	9	3	9	3	9	3	9	4	12
<b>PUNTAJE MAXIMO: <math>\Sigma p</math> o <math>\Sigma g*p</math></b>		33	33	90	33	92	35	96	30	81	48	132
<b>VALOR TECNICO ( xi )</b>			0.68		0.70		0.73		0.61		1	

Tabla N° 6: Evaluación técnica del concepto de solución

Fuente: Propia

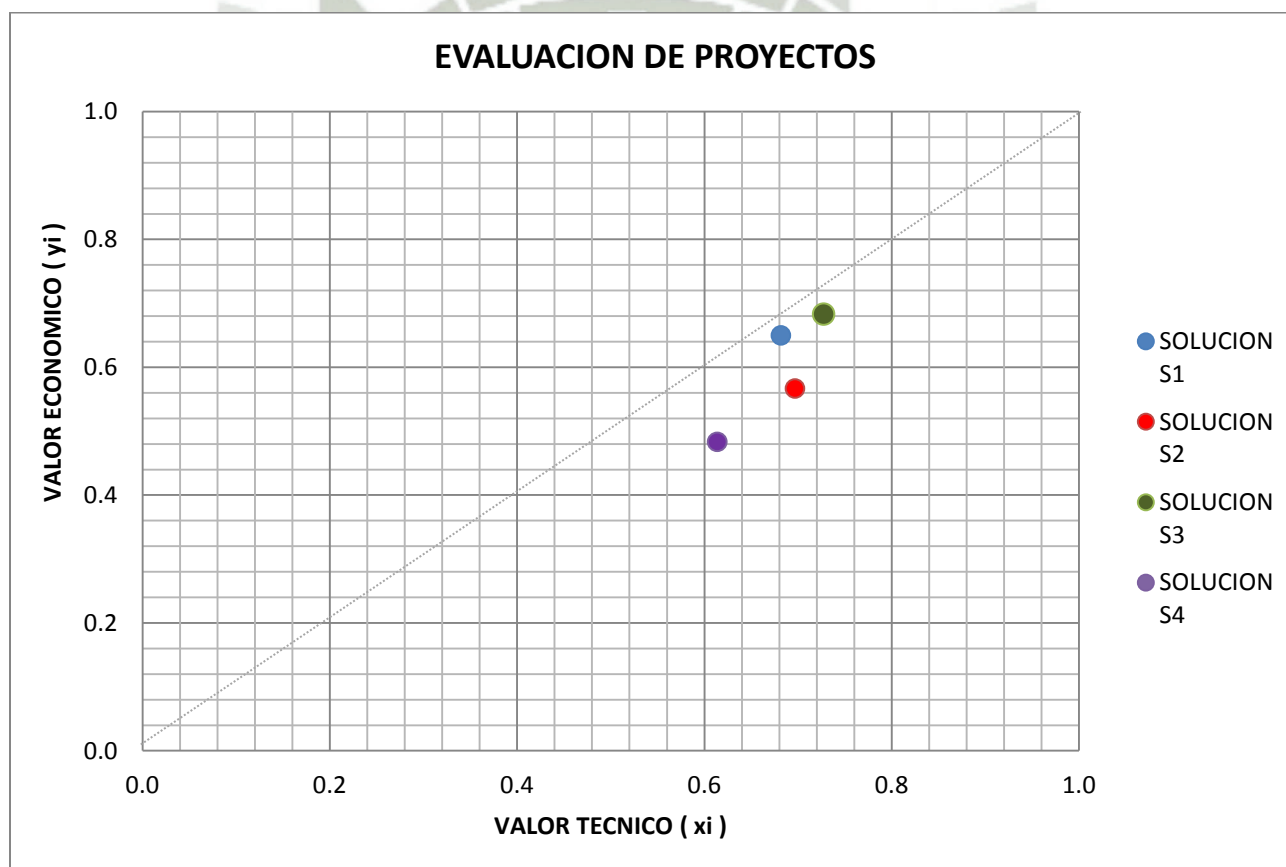
<b>DISEÑO MECÁNICO - EVALUACIÓN DE PROYECTOS</b>													
<b>VALOR ECONÓMICO ( yi )</b>													
<b>PROYECTO: BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO</b>													
p: Puntaje de 0 a 4 (0= No satisface, 1= Aceptable, 2= Suficiente, 3= Bien, 4= Muy bien) g: Peso ponderado en función de los criterios de evaluación													
<b>CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA DISEÑOS EN FASE DE CONCEPTOS</b>													
Variantes de concepto				Solución S1		Solución S2		Solución S3		Solución S4		Solución Ideal	
N°	Criterios de evaluación	g	p	p*g	p	p*g	p	p*g	p	p*g	p	p*g	
1	Costo de material	4	3	12	2	8	2	8	1	4	4	16	
2	Costo de fabricación	4	3	12	2	8	3	12	2	8	4	16	
3	Costo de mantenimiento	3	1	3	2	6	3	9	3	9	4	12	
4	Costo mano de obra	4	3	12	3	12	3	12	2	8	4	16	
<b>PUNTAJE MAXIMO: <math>\Sigma p</math> o <math>\Sigma g \cdot p</math></b>		15	10	39	9	34	11	41	8	29	16	60	
<b>VALOR ECONOMICO ( yi )</b>				0.65		0.57		0.68		0.48		1	

Tabla N° 7: Evaluación económica del concepto de solución  
Fuente: Propia

- En la figura N° 33 compararemos las soluciones tanto técnica como económicamente, en la cual diferenciaremos como mejor alternativa de solución la “Solución 3”.

EVALUACION DE PROYECTOS	SOLUCION	SOLUCION	SOLUCION	SOLUCION
	S1	S2	S3	S4
VALOR TECNICO ( xi )	0.68	0.70	0.73	0.61
VALOR ECONOMICO ( yi )	0.65	0.63	0.68	0.48

**Tabla N° 8: Valores técnicos y económicos de las soluciones**  
Fuente: Propia

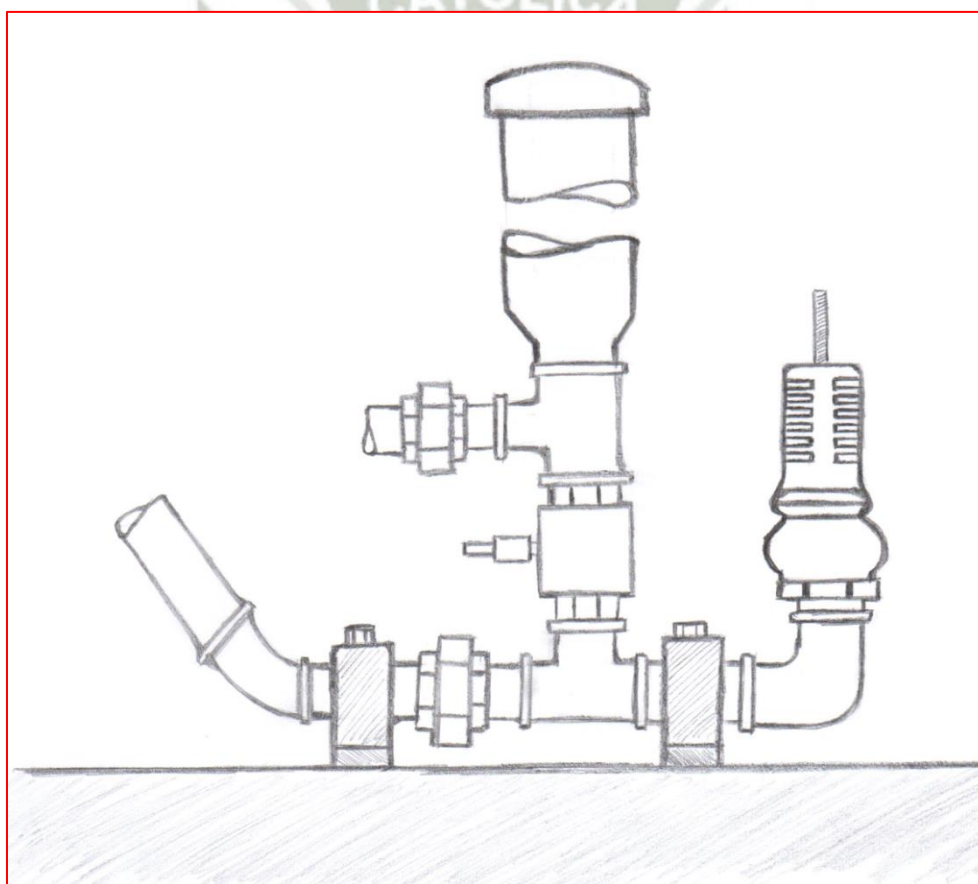


**Figura N° 33: Diagrama de evaluación**  
Fuente: Propia

### 4.3 FASE III DE DISEÑO - DESARROLLO

#### 4.3.1 Proyecto preliminar

- Teniendo en cuenta la mejor solución escogida entre todas las planteadas se procede a generar un bosquejo de nuestro concepto de solución como se aprecia en la Figura N° 34:



**Figura N° 34: Bosquejo de proyecto preliminar**  
**Fuente: Propia**

## 4.4 FASE IV DE DISEÑO – INGENIERIA DE DETALLE

### 4.4.1 Datos de entrada

#### 4.4.1.1 Reservorio

- No será necesario construir un reservorio de agua para cada vivienda debido a que existe la posibilidad de adaptar la tubería de impulsión directamente al canal.



**Figura N° 35: Canal de agua**  
**Fuente: Propia**

#### 4.4.1.2 Caudal de impulsión

- Se realizó un estudio en la zona de la problemática para determinar el caudal de agua que podría ser captado del canal, el promedio de los datos obtenidos en base a este estudio resulta 1.11 litros por segundo por lo que se tendrá un posible caudal de impulsión de 66.6 litros por minuto.



**Figura N° 36: Caudal de impulsión**  
**Fuente: Propia**

#### 4.4.1.3 Altura y longitud de impulsión:

- Se realizó un estudio en la zona de la problemática para determinar las alturas y longitudes mínimas con las que se disponen en las viviendas que pueden aprovechar este sistema de bombeo. Es necesario mencionar que las viviendas de esta zona poseen un desnivel con respecto al inicio de su chacra lo que permite tener una altura de impulsión en una determinada longitud, permitiendo a su vez la reutilización del agua expulsada por la bomba de ariete, haciendo que esta agua regrese al curso del canal. Según las condiciones geográficas de la zona y la ubicación de las viviendas, se tiene una altura mínima de impulsión de 0.6 metros en 7 metros de longitud.

#### 4.4.2 Tubería de impulso

##### 4.4.2.1 Diámetro

- Para un correcto dimensionamiento del diámetro de la tubería de impulsión es necesario conocer el caudal de impulsión con el que se cuenta en nuestro caso es 66.6 litros por minuto, con este

caudal y con ayuda de la Tabla N° 9 podemos seleccionar el diámetro adecuado para la tubería de impulsión:

CARACTERISTICAS TIPICAS PARA UNA BOMBA DE ARIETE	
TUBERIA DE ALIMENTACIÓN (MM)	CAUDAL ALIMENTADO MINIMO (L/MIN)
19.05	7.5
25.4	23
38.1	53
50.8	95
63.5	130
76.2	230
152.4	570

**Tabla N° 9: Selección de diámetro de tubería de impulsión**  
Fuente: Propia

- El diámetro seleccionado de acuerdo a nuestro caudal es de 1 ½”.
- Es necesario verificar la relación entre la longitud y el diámetro de la tubería de impulsión por lo que se hace necesario utilizar la siguiente relación:

$$150 \leq \frac{L}{D} \leq 1000$$

Ec. ( 67 )

$$150 \leq \frac{7}{0.0381} \leq 1000$$

$$150 \leq 183.72 \leq 1000$$

- Tomando en cuenta que la relación entre la longitud y el diámetro de la tubería de impulsión está dentro del rango establecido podemos afirmar que el diámetro de la tubería está bien dimensionado.

#### 4.4.2.2 Dimensiones y propiedades mecánicas

- Para seleccionar el material de la tubería de impulso se debe tomar en cuenta que la tubería deberá ser comercial, de bajo costo y ser lo más rígido para soportar las sobrepresiones producidas por el golpe de ariete.
- La tubería de impulso que se escogió es de serie liviana con un diámetro de 1 ½" esta es un tubo de acero al carbono con recubrimiento de acero galvanizado para conducción de agua teniendo en cuenta en la norma ISO 65 que lo rige.
- En la Figura N° 37 podemos apreciar los diámetros y espesores de las diferentes series que se fabrican.

## Tubo ISO65



DESIGNACIONES Y PESOS NOMINALES en Kg/m					
Designación Nominal (pulgadas)	Dimensión Exterior (mm)	Serie Liviana (L)		Serie Standard (S)	
		Espesor (mm)	Peso (kg/m)	Espesor (mm)	Peso (kg/m)
1/4	13.5	-	-	2.0	0.570
3/8	17.2	-	-	2.0	0.742
1/2	21.3	2.0	0.947	2.3	1.080
3/4	26.9	2.0	1.228	2.3	1.390
1	33.7	2.6	1.980	2.9	2.200
1 1/4	42.4	2.6	2.540	2.9	2.820
1 1/2	48.3	2.65	2.983	2.9	3.240
2	60.3	2.9	4.080	3.2	4.490
2 1/2	73.0	3.0	5.179	3.2	5.730
3	88.9	3.2	6.720	3.6	7.550
4	114.3	3.6	9.750	4.0	10.800
5	139.7				
6	165.1				

■ Negro y Galvanizado

**Figura N° 37: Características Tubos de acero al Carbono**  
Fuente: Catálogo de Productos y Servicios de Aceros Arequipa

- Las dimensiones según fabricante de la tubería escogida son:
  - Diámetro exterior (mm): 48.3
  - Diámetro interior (mm): 43.0
  - Espesor (mm): 2.65
- Las propiedades mecánicas de la tubería escogida son:
  - Resistencia a la tracción (N/mm<sup>2</sup>): 320 – 520
  - Resistencia a la fluencia (N/mm<sup>2</sup>): 80
  - Elongación mínima (%): 15
  - Prueba Hidrostática (Psi): 700

#### 4.4.2.3 Factor de fricción de pérdidas primarias

- Para obtener el valor del factor de fricción de pérdidas primarias utilizaremos la Ecuación 17, también necesitaremos la rugosidad absoluta del material de la tubería, la cual podrá ser extraída de la Tabla N° 2.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2. \log_{10}\left(\frac{D}{2\epsilon}\right) + 1.74$$

Reduciendo la expresión a:

$$f = \left( \frac{1}{2. \log_{10}\left(\frac{D}{2\epsilon}\right) + 1.74} \right)^2$$

$$f = \left( \frac{1}{2. \log_{10}\left(\frac{0.043}{2. (0.15 \times 10^{-3})}\right) + 1.74} \right)^2$$

$$f = 2.7296 \times 10^{-2} = 0.02729$$

$$f = 0.02729$$

#### 4.4.2.4 Velocidad del flujo

- Partiendo de la ecuación de Bernoulli (Ec. 13) y sabiendo que:

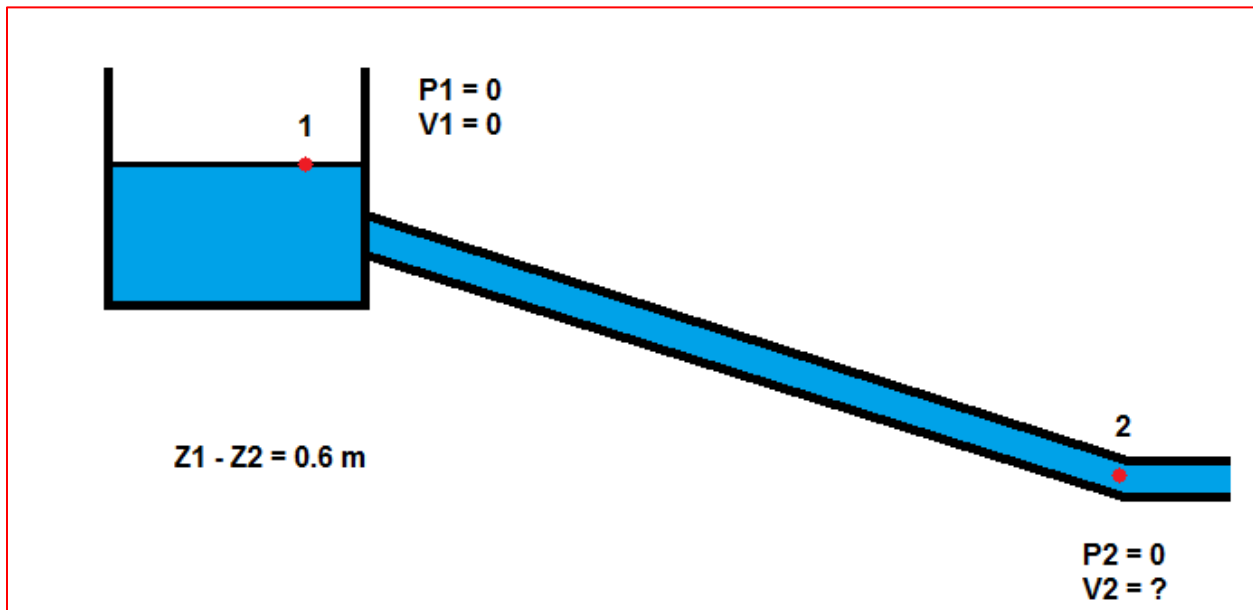


Figura N° 38: Puntos 1 y 2 de tubería de impulso  
Fuente: Propia

- Tenemos:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + H_A - H_L - H_E = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\frac{V_2^2}{2g} + H_p = z_1 - z_2$$

$$\frac{V_2^2}{2g} + f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V_2^2}{2g} = z_1 - z_2$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot g(z_1 - z_2)}{1 + f \cdot \frac{L}{D}}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \times 9.81 \times (0.6)}{1 + 0.02729 \cdot \frac{7}{0.043}}}$$

$$V_2 = 1.471 \text{ m/s}$$

#### 4.4.2.5 Pérdidas primarias

- Las pérdidas primarias producidas por la fricción del fluido con la tubería se pueden hallar mediante la Ecuación 14:

$$h_p = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$h_p = 0.02729 \times \frac{7}{0.043} \times \frac{1.471^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_p = 0.489 \text{ m}$$

#### 4.4.2.6 Pérdidas secundarias

- Las pérdidas secundarias producidas por los accesorios de la tubería se pueden hallar mediante la Ecuación 19, también se deberá tomar en cuenta los valores de “k” de la Tabla N° 3.

- Los valores de “k” son:
  - ✓ Válvula de globo abierta (1 ½”): 7.10
  - ✓ Codo de 45° (1 ½”): 0.34
  - ✓ Codo de 90°(1 ½”): 0.63
  - ✓ Tee (1 ½”): 1.26

- Las pérdidas secundarias serán:

$$h_s = \Sigma k \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$h_s = (7.10 + 0.4 + 1.26 + 0.63) \times \frac{1.471^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_s = 1.036 \text{ m}$$

#### 4.4.2.7 Número de Reynolds (N° Re)

- A partir de la Ecuación 7 determinamos el tipo de flujo con el que vamos a trabajar:

$$N^\circ Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

$$N^\circ Re = \frac{1.471 \times 0.043}{1.007 \times 10^{-6}}$$

$$N^\circ Re = 62813.31$$

- De acuerdo al N° de Reynolds el flujo es turbulento.

#### 4.4.2.8 Celeridad

- La velocidad de propagación de la onda se puede calcular mediante la Ecuación 23, donde el módulo de compresibilidad del agua a una temperatura de 20°C es  $2.2 \times 10^9 \text{ N/m}^2$  y el módulo de elasticidad del Acero al carbono es  $20.5 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ .

$$c = \frac{1345}{\sqrt{1 + \frac{\varepsilon \cdot D}{e \cdot E}}}$$

$$c = \frac{1345}{\sqrt{1 + \frac{2.2 \times 10^9 \times 0.043}{0.00265 \times 20.5 \times 10^{10}}}}$$

$$c = 1241.26 \text{ m/s}$$

#### 4.4.2.9 Sobrepresión máxima

- Para determinar la sobrepresión máxima generada por el golpe de ariete primero deberá conocerse la velocidad y la sección por donde pasa el fluido. Utilizando la Ecuación N° 9 se tiene:

$$Q = V \cdot A \quad / \quad V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{66.6 \text{ l/min}}{\pi \cdot \left(\frac{0.043^2}{4}\right) \text{ m}^2} = \frac{0.00111 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot \left(\frac{0.043^2}{4}\right) \text{ m}^2}$$

$$V = 0.764 \text{ m/s}$$

- Teniendo los datos necesarios calculamos la sobrepresión máxima a partir de la fórmula de Allievi (Ecuación 24):

$$\Delta h_{max} = \frac{c.V}{g}$$

$$\Delta h_{max} = \frac{1241.26 \times 0.764}{9.81}$$

$$\Delta h_{max} = 96.67 \text{ m. c. a.}$$

$$\Delta h_{max} = 0.948 \text{ MPa}$$

#### 4.4.2.10 Esfuerzos máximos y mínimos

- Teniendo las sobrepresiones producidas, hallamos los esfuerzos tangenciales máximos y mínimos a partir del esfuerzo tangencial en recipientes de paredes delgadas:

$$\sigma_t = \frac{p \cdot d_i}{2 \cdot e}$$

Ec. ( 68 )

Donde:

$\sigma_t$ : Esfuerzo tangencial (MPa)

$p$ : Sobrepresión (MPa)

$d_i$ : Diámetro interior (m)

$e$ : Espesor (m)

- El esfuerzo máximo será:

$$\sigma_t = \frac{p \cdot d_i}{2 \cdot e}$$

$$\sigma_t = \frac{0.948 \times 0.043}{2 \times 0.00265}$$

$$\sigma_t = 7.691 \text{ MPa}$$

- El esfuerzo mínimo será:

$$\sigma_t = \frac{p \cdot d_i}{2 \cdot e}$$

$$\sigma_t = \frac{0.101 \times 0.043}{2 \times 0.00265}$$

$$\sigma_t = 0.819 \text{ MPa}$$

#### 4.4.2.11 Diseño estático

- Para desarrollar el diseño estático de la tubería de impulso se aplicará la teoría de la energía de la distorsión:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_A^2 - \sigma_A \sigma_B - \sigma_B^2} \quad \text{Ec. (69)}$$

$$\sigma' = \sqrt{7.691^2 - 7.691 \times 0.819 - 0.819^2}$$

$$\sigma' = 7.22 \text{ MPa}$$

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma'} \quad \text{Ec. ( 70 )}$$

$$n_s = \frac{80}{7.22}$$

$$n_s = 11.1$$

#### 4.4.2.12 Diseño a fatiga

- Debido al tipo de trabajo de la bomba de ariete se desarrollan cargas cíclicas por lo que se deberá verificar que la tubería no falle:
- Siendo la resistencia a la fatiga de la tubería:  $S_u \leq 1400 \text{ MPa}$  :

$$S_{e'} = 0.5 \times S_u$$

$$S_{e'} = 0.5 \times 320$$

$$S_{e'} = 160 \text{ MPa}$$

Ec. ( 71 )

- Esta resistencia a la fatiga deberá ser modificada por los factores modificadores del límite de fluencia:

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S_{e'}$$

Ec. ( 72 )

Donde:

$$k_a = 57.7 \times 320^{-0.718} = 0.917$$

$$k_b = 0.79 \times 0.043^{-0.107} = 0.842$$

$$k_c = 0.80$$

$$k_d = 1$$

$$k_e = 1$$

$$k_f = 1$$

Reemplazando los valores en la Ecuación 72 se tiene:

$$S_e = 0.917 \times 0.842 \times 0.80 \times 1 \times 1 \times 1 \times 160$$

$$S_e = 98.83 \text{ MPa}$$

- Una vez calculada la resistencia a la fatiga se calcula el esfuerzo medio y la amplitud del esfuerzo:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad \text{Ec. ( 73 )}$$

$$\sigma_m = \frac{7.691 - 0.819}{2} = 3.436$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad \text{Ec. ( 74 )}$$

$$\sigma_a = \frac{7.691 + 0.819}{2} = 4.255$$

- Para calcular el límite de resistencia a la fatiga utilizamos el diagrama modificado de Goodman:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n}$$

Ec. ( 75 )

$$\frac{4.255}{98.83} + \frac{3.436}{80} = \frac{1}{n}$$

$$n = 11.6$$

- Ambos factores calculados (estático y de fatiga) nos garantizan que la tubería no fallará por estar sometida a las variaciones de presión producidas por el golpe de ariete.

#### 4.4.3 Tubería de descarga

##### 4.4.3.1 Diámetro y características

- De acuerdo a los estudios realizados varios autores concluyen que el diámetro de la tubería de impulsión debe ser la mitad del diámetro de la tubería de impulsión por lo que se tendría:

$$d = \frac{D}{2}$$

$$d = \frac{1.5''}{2} = 0.75''$$

$$d = 3/4''$$

- Para la selección del material de la tubería de descarga se debe considerar que esta no deberá ser rígida pero deberá poseer paredes lisas evitando utilizar accesorios para obtener un caudal continuo. Según las características antes mencionadas, la tubería que se presenta como mejor opción en su utilización es una manguera de plástico de 3/4".



**Figura N° 39: Tubería de descarga, manguera de plástico de 3/4"**  
**Fuente: Propia**

#### 4.4.3.2 Pérdidas en la tubería de entrega

- Considerando que solo existen pérdidas primarias en la tubería de descarga ya que no habrán variaciones en el trayecto, se despreciarán las pérdidas secundarias, por lo que las pérdidas serán calculadas después de calcular la velocidad del flujo de salida y factor de fricción en la tubería de salida.

- La velocidad del flujo en la salida será:

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

$$V = \frac{1.7 \text{ l/min}}{\pi \cdot \frac{(0.01905^2)}{4}}$$

$$V = 0.099 \text{ m/s}$$

- Habiendo considerando que la tubería de descarga es de  $\frac{3}{4}$ " y de material de plástico, su rugosidad absoluta 0.0015 según Tabla N° 2, el factor de fricción será:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2. \log_{10} \left( \frac{D}{2\epsilon} \right) + 1.74$$

Reduciendo la expresión a:

$$f = \left( \frac{1}{2. \log_{10} \left( \frac{D}{2\epsilon} \right) + 1.74} \right)^2$$

$$f = \left( \frac{1}{2. \log_{10} \left( \frac{0.01905}{2. (0.0015 \times 10^{-3})} \right) + 1.74} \right)^2$$

$$f = 0.0114$$

- Las pérdidas totales en la tubería de salida se hallan mediante la

Ec. 14:

$$h_p = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$h_p = 0.0114 \times \frac{20}{0.01905} \cdot \frac{0.099^2}{2 \times 9.81}$$

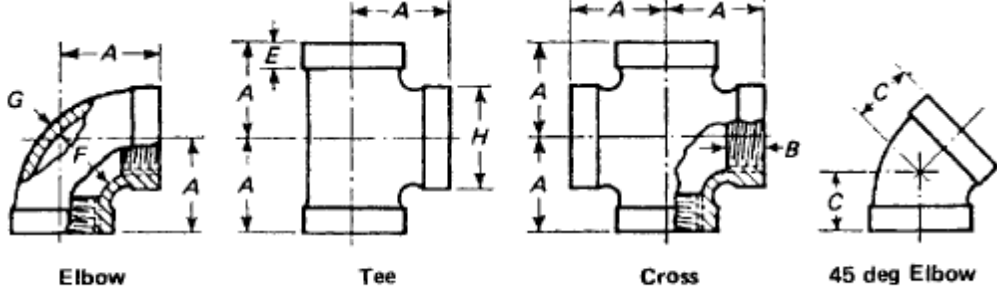
$$h_p = 0.00597 \text{ m}$$

#### 4.4.4 Cuerpo del ariete

##### 4.4.4.1 Dimensiones y propiedades mecánicas

- Siguiendo la solución más apropiada de nuestro concepto de solución problema, el cuerpo del ariete hidráulico vendrá dado por accesorios de tubería de serie 150 bajo la norma ASME B16.3

(Accesorios roscados de hierro maleable), los cuales deberán ser diseñados estáticamente y por fatiga verificando sus esfuerzos máximos. En la tabla N° 10 apreciamos los principales accesorios que utilizaremos con sus respectivas dimensiones.



**DIMENSIONS OF CLASS 150,  
90 deg ELBOWS, TEES, AND CROSSES, AND 45 deg ELBOWS (STRAIGHT SIZES)**

Nominal Pipe Size	Center-to-End, Elbows, Tees, and Crosses, A [Note (1)]	Center- to-End, 45 deg Elbows, C	Length of Thread, Min., B	Width of Band, Min., E	Inside Diameter of Fitting, F		Metal Thickness, G	Outside Diameter of Band, Min., H
					Min.	Max.		
1/8	0.69	...	0.25	0.20	0.40	0.43	0.09	0.69
1/4	0.81	0.73	0.32	0.21	0.54	0.58	0.09	0.84
3/8	0.95	0.80	0.36	0.23	0.67	0.72	0.10	1.01
1/2	1.12	0.88	0.43	0.25	0.84	0.90	0.10	1.20
3/4	1.31	0.98	0.50	0.27	1.05	1.11	0.12	1.46
1	1.50	1.12	0.58	0.30	1.31	1.38	0.13	1.77
1 1/4	1.75	1.29	0.67	0.34	1.66	1.73	0.14	2.15
1 1/2	1.94	1.43	0.70	0.37	1.90	1.97	0.15	2.43
2	2.25	1.68	0.75	0.42	2.37	2.44	0.17	2.96
2 1/2	2.70	1.95	0.92	0.48	2.87	2.97	0.21	3.59
3	3.08	2.17	0.98	0.55	3.50	3.60	0.23	4.28
3 1/2	3.42	2.39	1.03	0.60	4.00	4.10	0.25	4.84
4	3.79	2.61	1.08	0.66	4.50	4.60	0.26	5.40
5	4.50	3.05	1.18	0.78	5.56	5.66	0.30	6.58
6	5.13	3.46	1.28	0.90	6.62	6.72	0.34	7.77

Tabla N° 10: Dimensiones de accesorios a ser utilizados  
Fuente: ASME B16.3

#### 4.4.4.2 Esfuerzos máximos y mínimos

- En primer lugar calcularemos las presiones máximas y mínimas a partir de las cargas máximas y mínimas.
- Presión máxima y mínima:

$$H_{max} = H + p$$

$$H_{max} = 96.67 + 1 = 97.67$$

$$P_{max} = \gamma \cdot H_{max}$$

$$P_{max} = 9810 \times 97.67$$

$$P_{max} = 0.958 \text{ MPa}$$

$$H_{min} = H - p$$

$$H_{min} = 96.67 - 1 = 95.67$$

$$P_{min} = \gamma \cdot H_{min}$$

$$P_{min} = 9810 \times 95.67$$

$$P_{min} = 0.938 \text{ MPa}$$

- Análisis de los esfuerzos máximos y mínimos:

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max} \cdot d_i}{2 \cdot e}$$

$$\sigma_{max} = \frac{0.958 \times 43}{2 \times 2.65}$$

$$\sigma_{max} = 7.77 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = \frac{P_{min} \cdot d_i}{2 \cdot e}$$

$$\sigma_{min} = \frac{0.938 \times 43}{2 \times 2.65}$$

$$\sigma_{min} = 7.61 \text{ MPa}$$

#### 4.4.4.3 Diseño estático

- Para desarrollar el diseño estático del cuerpo del ariete se aplicará la teoría de la energía de la distorsión:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_A^2 - \sigma_A \sigma_B - \sigma_B^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{7.77^2 - 7.77 \times 7.61 - 7.61^2}$$

$$\sigma' = 7.53 \text{ MPa}$$

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$n_s = \frac{80}{7.53} = 10.62$$

#### 4.4.4.1 Diseño por fatiga

- Debido al tipo de trabajo de la bomba de ariete se desarrollan cargas cíclicas por lo que se deberá verificar que el cuerpo del ariete no falle.

$$\sigma_a = \frac{7.77 + 7.61}{2}$$

$$\sigma_a = 7.69 \text{ MPa}$$

- Para calcular el límite de resistencia a la fatiga utilizamos el diagrama modificado de Goodman:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{7.69}{98.83} + \frac{7.53}{80} = \frac{1}{n}$$

$$n = 5.82$$

- Ambos factores calculados (estático y de fatiga) nos garantizan que el cuerpo del ariete no fallará por estar sometido a las variaciones de presión producidas por el golpe de ariete.

#### 4.4.5 Cámara de aire

##### 4.4.5.1 Caudal entregado teórico

- El caudal teórico entregado se podrá calcular mediante la siguiente formula:

$$q = \frac{Q \cdot R \cdot H}{h}$$

Ec. ( 76 )

Donde:

$q$ : Caudal teórico entregado (l/min)

$Q$ : Caudal suministrado (l/min)

$R$ : Rendimiento del ariete hidráulico

$H$ : Altura de trabajo o de alimentación (m)

$h$ : Altura de elevación o suministro (m)

- El caudal teórico entregado será:

$$q = \frac{66.6 \times 0.35 \times 0.6}{8}$$

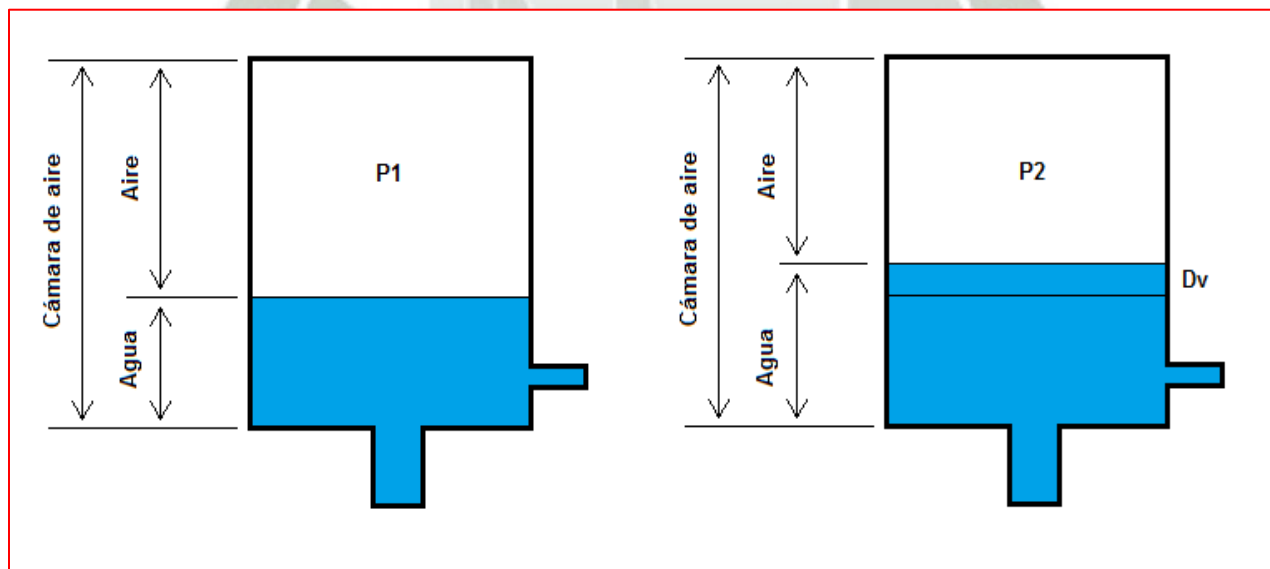
$$q = 1.748 \text{ l/min}$$

- El caudal por ciclo será:

$$q_{ciclo} = 0.00002914 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### 4.4.5.2 Dimensionamiento

- La cámara de aire convierte el suministro intermitente de la bomba de ariete en un suministro constante gracias a la compresión del aire que se encuentra dentro de la cámara actuando como un elemento elástico en la fase de sobrepresión en el momento que el agua ingresa a la cámara. Cuando se expande el agua, la cámara de aire suministra una cantidad determinada a la tubería de descarga dando un flujo continuo en un funcionamiento constante de la bomba. En la figura N° 40 podemos apreciar la cámara de aire antes y después de que se produzca un ingreso de agua haciendo que el aire se comprima.



**Figura N° 40: Compresión de aire por ingreso de agua a la cámara de aire**

**Fuente: Propia**

- Asumiremos que la compresión del aire en la cámara se dará de manera politrópica por lo que:

$$P_1 \cdot V_1^n = P_2 \cdot V_2^n \quad \text{Ec. (77)}$$

- Asumiremos que la compresión será isotérmica por lo que el valor de  $n$  vendrá dado por el valor de 1. Debemos tomar en cuenta que la presión 1 vendrá dada por la presión atmosférica como condición inicial y la presión 2 vendrá dada por la altura de suministro más la altura de pérdidas por lo que la Ecuación 77 queda reducida a:

$$P_{atm} \cdot V_C^1 = P_{sum} \cdot V_1^1$$

Siendo:

$$P_{atm} = \gamma_{aire} \cdot 10.33 \text{ m}$$

$$P_{sum} = \gamma_{aire} \cdot (h + hr) \text{ m}$$

Reemplazando los valores en la ecuación anterior tenemos:

$$\gamma_{aire} \times 10.33 \times V_C = \gamma_{aire} \cdot (h + hr) \cdot V_1$$

$$V_1 = \frac{V_C \times 10.33}{(h + hr)}$$

Se debe considerar que existe una sobrepresión en el tanque para que pueda ser bombeado  $D_v$  de agua en un ciclo:

$$(h + hr). (1 + x). (V_1 - D_v) = (h + hr). V_1$$

Reemplazando el volumen de aire en la cámara a la presión de la altura de entrega en las ecuaciones anteriores, se tiene que el volumen de la cámara de aire  $V_c$  será igual a:

$$V_c = \frac{D_v. (1 + x). (h + hr)}{10.33x} \quad \text{Ec. ( 78 )}$$

- Tomando en cuenta el caudal por ciclo, la altura de entrega, la pérdida de altura y el valor de  $x = 0.08$  para mayor estabilidad de la cámara de aire podemos obtener la longitud de la cámara de aire la cual será:

$$V_c = \frac{D_v. (1 + x). (h + hr)}{10.33x}$$

$$A_c. L_c = \frac{D_v. (1 + x). (h + hr)}{10.33x}$$

$$L_c = \frac{\frac{D_v. (1 + x). (h + hr)}{10.33x}}{A_c}$$

$$L_c = \frac{D_v \cdot (1 + x) \cdot (h + hr)}{\frac{10.33x}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}}}$$

$$L_c = \frac{0.00002914 \cdot (1 + 0.08) \cdot (8 + 5.173)}{\frac{10.33(0.08)}{\pi \cdot \frac{0.0381^2}{4}}}$$

$$L_c = 0.4413 \text{ m}$$

- Las dimensiones de la cámara de aire serán:  $L_c = 0.4413 \text{ m}$  y  $D_c = 0.0381 \text{ m}$  teniendo un volumen de:

$$V_c = L_c \cdot A_c$$

$$V_c = 0.4413 \times \frac{\pi \cdot (0.0431^2)}{4}$$

$$V_c = 0.0006438 \text{ m}^3$$

- El volumen inicial de la cámara de aire vendrá dado por la siguiente expresión:

$$V_1 = V_c - V_{H2O}$$

$$V_1 = 0.0006438 - 0.000255$$

$$V_1 = 0.00038884 \text{ m}^3$$

- El volumen final de la cámara de aire vendrá dado por la siguiente expresión:

$$V_2 = V_1 - D_v$$

$$V_2 = 0.00038884 - 0.00002914$$

$$V_2 = 0.0003597 \text{ m}^3$$

#### 4.4.5.3 Presión de la cámara antes del golpe de ariete

- La presión que se produce antes del golpe de ariete será:

$$P_1 = P_0 + \gamma \cdot p$$

Donde:

$P_0$ : Presión atmosférica (Pa)

$p$ : Sobrepresión por golpe de ariete (m)

Por lo que:

$$P_1 = 101325 + 9810(96.67)$$

$$P_1 = 1.049 \text{ MPa}$$

#### 4.4.5.4 Presión de la cámara después del golpe de ariete

- Mediante el uso de la ley de Boyle, ecuación de los gases ideales, obtenemos la presión de la cámara después del golpe de ariete la cual vendrá dada por la siguiente expresión:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

$$P_2 = \frac{P_1 \cdot V_1}{V_2}$$

$$P_2 = \frac{1.049 \times 0.00038884}{0.0003597}$$

$$P_2 = 1.13 \text{ MPa}$$

#### 4.4.5.5 Esfuerzos máximos y mínimos

- Análisis de los esfuerzos máximos y mínimos:

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max} \cdot d_i}{2 \cdot e}$$

$$\sigma_{max} = \frac{1.13 \times 43}{2 \times 2.65} = 9.17 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = \frac{P_{min} \cdot d_i}{2 \cdot e}$$

$$\sigma_{min} = \frac{1.049 \times 43}{2 \times 2.65} = 8.51 \text{ MPa}$$

#### 4.4.5.6 Diseño estático

- Para desarrollar el diseño estático del cuerpo del ariete se aplicará la teoría de la energía de la distorsión:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_A^2 - \sigma_A \sigma_B - \sigma_B^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{9.17^2 - 9.17 \times 8.51 - 8.51^2}$$

$$\sigma' = 8.15 \text{ MPa}$$

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$n_s = \frac{80}{8.15} = 9.82$$

#### 4.4.5.7 Diseño por fatiga

- Sabiendo que la resistencia a la fatiga es  $S_e = 98.83 \text{ MPa}$  se tiene:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{0.329}{98.83} + \frac{8.84}{80} = \frac{1}{n}$$

$$n = 8.78$$

#### 4.4.6 Válvula anti retorno

##### 4.4.6.1 Selección

- Esta válvula permitirá el paso del agua desde el cuerpo de ariete hidráulico a la cámara de aire, por lo que deberá tener una apertura larga para evitar obstrucciones, también se encargará de evitar que el agua bombeada regrese al cuerpo del ariete. La válvula seleccionada para cumplir todas estas funciones es una válvula check vertical de 1 ½" con resorte de asiento de goma NBR. En la Figura N° 41 se puede apreciar la válvula. La ficha técnica de esta válvula es adjuntada en el Anexo 4.



**Figura N° 41: Válvula check vertical de resorte**

**Fuente: <http://importecnia.com/p5.html>**

#### 4.4.7 Válvula de impulso

##### 4.4.7.1 Consideraciones

- La válvula de impulso tiene como función realizar un movimiento axial el cual se resumen en, cerrarse automáticamente debido a la presión del líquido y abrirse automáticamente al disminuir la presión provocada por su propio peso. Es por esto que se decide modificar una válvula de pie de pozo para que esta realice las funciones antes mencionadas. Esta válvula será montada de manera invertida y modificada para que en su posición normal sea normalmente abierta. En la Figura N° 42 podemos apreciar la posición de la válvula la cual es normalmente abierta.



**Figura N° 42: Válvula de impulso normalmente abierta**

**Fuente: Propia**

#### 4.4.7.2 Dimensiones

- Según la ficha técnica de la válvula de pie (Anexo 5) se obtienen sus dimensiones específicas a partir de las cuales se determina el área de la válvula de impulso por donde se expulsará el agua.

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \cdot 0.0407^2}{4}$$

$$A = 0.0013 \text{ m}^2$$

#### 4.4.7.3 Carrera de la válvula de impulsión

- La carrera máxima que podrá desarrollar nuestra válvula de impulso será 11 milímetros.

#### 4.4.7.4 Coeficiente de pérdida de carga en la válvula de impulso

- Tomando en cuenta que la carrera de la válvula de impulsión será 11 milímetros equivalentes a 0.433 pulgadas, determinamos el coeficiente de carga en la válvula de impulso a partir de la siguiente ecuación:

$$R(s) = \frac{2.43 - 1.06 \times S + 10^{(0.95 - 13.3 \times S)}}{S} \quad \text{Ec. ( 79 )}$$

Donde:

S: Carrera de la válvula de impulso (pulg)

$$R(s) = \frac{2.43 - 1.06 \times 0.433 + 10^{(0.95 - 13.3 \times 0.433)}}{0.433}$$

$$R(s) = 4.55 = K_3$$

#### 4.4.7.5 Velocidad de flujo en la válvula de impulsión

- o La velocidad de flujo en la válvula de impulsión vendrá dada por la siguiente expresión:

$$V_v = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H}{1 + f \cdot \frac{L}{D} + \Sigma k}} \quad \text{Ec. ( 80 )}$$

$$V_v = \sqrt{\frac{2 \times 9.81 \times 0.6}{1 + 0.02729 \cdot \frac{7}{0.043} + 1.036 + 4.55}}$$

$$V_v = 1.033 \text{ m/s}$$

#### 4.4.7.6 Coeficiente de arrastre de la válvula de impulsión

- Para determinar el coeficiente de arrastre de la válvula de impulsión se empleará la siguiente ecuación:

$$C_d = \frac{0.282 - 8.854 \times S + 10^{(0.52 - 270 \times S)}}{S} \quad \text{Ec. ( 81 )}$$

Donde:

$S$ : Carrera de la válvula de impulso (m)

$$C_d = \frac{0.282 - 8.854 \times 0.011 + 10^{(0.52 - 270 \times 0.011)}}{0.011}$$

$$C_d = 17.1$$

#### 4.4.7.7 Fuerza hidráulica que actúa sobre la válvula de impulso

- Para determinar la fuerza hidráulica que actúa sobre la válvula de impulsión se empleará la siguiente ecuación:

$$F_d = C_d \cdot \frac{(\gamma \cdot V_v)}{2} \cdot A \quad \text{Ec. ( 82 )}$$

Donde:

$F_d$ : Fuerza hidráulica (N)

$C_d$ : Coeficiente de arrastre de la válvula de impulso

$V_v$ : Velocidad en la válvula de impulso (m/s)

$A$ : Área de la válvula de impulsión ( $m^2$ )

Entonces:

$$F_d = 17.1 \times \frac{(1000 \times 1.033)}{2} \times 0.0013$$

$$F_d = 11.48 \text{ N}$$

$$F_d = 1.17 \text{ kg}$$

- El peso máximo de la válvula de impulsión será:

$$W_v = F_d = 1.17 \text{ kg}$$

#### 4.4.7.8 Resorte de compresión

- Teniendo en cuenta que la carrera del disco de la válvula de impulsión es 11 mm y que la distancia máxima de la posición de reposo al regulador del resorte es de 71 mm, se selecciona el resorte de compresión con código # 24900 (Anexo 7), el cual es de acero inoxidable debido a que estará en contacto permanente con el agua expulsada por la válvula. Este resorte presenta las siguientes características:

- ✓ Diámetro exterior: 20 mm
- ✓ Diámetro de hilo: 1.4 mm
- ✓ Longitud: 65 mm
- ✓ Número de espiras: 10
- ✓ Paso: 6.5 mm
- ✓ Contante k: 0.0597 DaN/mm

- El peso máximo de la válvula de impulsión será 1.17 kg según los cálculos realizados previamente, por lo que este valor deberá ser mayor que la suma del peso del disco de la válvula y la fuerza producida por la compresión del resorte, para que de esta forma la válvula de impulso pueda ser cerrada por la fuerza ejercida por el agua.

- Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones se tiene que la fuerza de compresión mínima del resorte será:

$$F_c = k \cdot x$$

$$F_c = 0.0597 x \quad (11)$$

$$F_c = 0.6567 \text{ kg}$$

- La fuerza producida por la compresión mínima del resorte y el peso del disco de la válvula será:

$$F_t = F_c + W_v$$

$$F_t = 0.6567 + 0.1305$$

$$F_t = 0.7872 \text{ kg} < F_d = 1.17 \text{ kg}$$



**Figura N° 43: Resorte de compresión #24900**  
**Fuente: Propia**

#### 4.4.8 Ciclo de operación del ariete hidráulico

- Antes de analizar los períodos mediante el método de Krol se deberán conocer los valores de la sobrepresión máxima, la celeridad y la pérdida de carga en el período de retardación y la distancia de retroceso del agua.

- La celeridad fue calculada anteriormente (Punto 4.4.2.8) por lo que:

$$c = 1241.26 \text{ m/s}$$

- La sobrepresión máxima fue calculada anteriormente (Punto 4.4.2.9) por lo que:

$$\Delta h_{max} = 96.67 \text{ m}$$

- La pérdida de carga durante el período de retardación en la tubería de impulso, válvula de descarga y la tubería de descarga se calcula por medio de la Ecuación 46:

$$h_r = 5.64 x \left( 1 - \frac{h}{h_{max}} \right)$$

$$h_r = 5.64 x \left( 1 - \frac{8}{96.67} \right)$$

$$h_r = 5.173 \text{ m}$$

- La distancia de retroceso del agua se podrá calcular a partir de la Ecuación 31 y también por medio de la siguiente ecuación:

$$y = \frac{(h + h_r)^2 \cdot L \cdot g}{2 \cdot H \cdot c^2}$$

$$y = \frac{(8 + 5.173)^2 \times 7 \times 9.81}{2 \times 0.6 \times 1241.26^2}$$

$$y = 0.0064$$

#### 4.4.8.1 Período 1

- La velocidad en el período 1 se calculará a partir de la Ecuación N° 30:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H \cdot y}{L}}$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \times 9.81 \times 0.6 \times 0.0064}{7}}$$

$$V_1 = 0.104 \text{ m/s}$$

- El tiempo en el período 1 se calculará a partir de la Ecuación N° 29:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot L \cdot y}{g \cdot H}}$$

$$t_1 = \sqrt{\frac{2 \times 7 \times 0.0064}{9.81 \times 0.6}}$$

$$t_1 = 0.123 \text{ s}$$

#### 4.4.8.2 Período 2

- La velocidad en el período 2 se calculará a partir de la Ecuación N° 34:

$$V_2 = \sqrt{\frac{W \cdot g}{K_0 \cdot A'' \cdot \gamma}}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{11.48 \times 9.81}{17.1 \times 0.0013 \times 9810}}$$

$$V_2 = 0.719 \text{ m/s}$$

- El coeficiente de resistencia de cierre de la válvula de impulso será determinado a partir de la siguiente ecuación:

$$k_0 = \frac{W}{A \cdot \delta \cdot V_2^2}$$

$$k_0 = \frac{11.48}{0.0013 \times 1000 \times 0.719^2}$$

$$k_0 = 17.1$$

- El coeficiente total de pérdidas se determinará de la siguiente ecuación reducida:

$$Z = \frac{0.32 \cdot g \cdot H}{V_2}$$

$$Z = \frac{0.32 \times 9.81 \times 0.6}{0.719}$$

$$Z = 2.62$$

- El tiempo en el período 2 se calculará a partir de la siguiente ecuación:

$$t_2 = \frac{L}{\sqrt{2 \cdot g \cdot H \cdot Z}} \cdot \ln \left[ \frac{\left(1 + \sqrt{\frac{W \cdot Z}{2 \cdot A \cdot H \cdot \gamma \cdot k_0}}\right) \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{y \cdot Z}{L}}\right)}{\left(1 - \sqrt{\frac{W \cdot Z}{2 \cdot A \cdot H \cdot \gamma \cdot k_0}}\right) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{y \cdot Z}{L}}\right)} \right]$$

$$t_2 = \frac{7}{\sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 0.6 \cdot 2.6}} \cdot \ln \left[ \frac{\left(1 + \sqrt{\frac{11.48 \cdot 2.62}{2 \cdot 0.0013 \cdot 0.6 \cdot 9810 \cdot 17.1}}\right) \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{0.0064 \cdot 2.62}{7}}\right)}{\left(1 - \sqrt{\frac{11.48 \cdot 2.62}{2 \cdot 0.0013 \cdot 0.6 \cdot 9810 \cdot 17.1}}\right) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{0.0064 \cdot 2.62}{7}}\right)} \right]$$

$$t_2 = 0.766 \text{ s}$$

#### 4.4.8.3 Período 3

- En esta fase la velocidad del período 2 es la misma que la del período 3 por lo que se tiene:

$$V_3 = V_2 = 0.719 \text{ m/s}$$

- El coeficiente total de pérdidas se determinará de la siguiente ecuación reducida:

$$Z_1 = \sqrt{2 \cdot C_d \cdot A \cdot H \cdot \gamma}$$

$$Z_1 = \sqrt{2 \times 17.1 \times 0.0013 \times 0.6 \times 9810}$$

$$Z_1 = 16.18$$

- El tiempo en el período 3 se calculará a partir de la siguiente ecuación:

$$t_3 = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot L \cdot S \cdot V_2^2}{2 \cdot g^2 \cdot H \cdot \left(1 - \frac{W \cdot Z}{Z_1^2}\right)}}$$

$$t_3 = \sqrt[3]{\frac{3 \times 7 \times 0.011 \times 0.719^2}{2 \times 9.81^2 \times 0.6 \times \left(1 - \frac{11.48 \times 2.62}{16.18^2}\right)}}$$

$$t_3 = 0.105 \text{ s}$$

#### 4.4.8.4 Período 4

- La velocidad en el período 4 se calculará a partir de la Ecuación N°

45:

$$V_4 = V_3 - (h + h_r) \cdot \frac{g}{c}$$

$$V_4 = 0.719 - (8 + 5.173) \times \frac{9.81}{1241.23}$$

$$V_4 = 0.615 \text{ m/s}$$

- El tiempo en el período 4 se calculará a partir de la Ecuación N°

44:

$$t_4 = \frac{2 \cdot L}{c}$$

$$t_4 = \frac{2 \times 7}{1241.26}$$

$$t_4 = 0.011 \text{ s}$$

#### 4.4.8.5 Período 5

- La velocidad en el período 5 es:

$$V_5 = 0 \text{ m/s}$$

- El tiempo en el período 5 se calculará a partir de la Ecuación N° 60:

$$t_5 = \frac{L}{g \cdot (h + hr)} \cdot \left[ \sqrt{\frac{W \cdot g}{\gamma \cdot A'' \cdot K_0}} - \frac{(h + hr) \cdot g}{c} \right]$$

$$t_5 = \frac{7}{9.81 \times (8 + 5.173)} \cdot \left[ \sqrt{\frac{11.48 \times 9.81}{1000 \times 0.0013 \times 17.1}} - \frac{(8 + 5.173) \times 9.81}{1241.26} \right]$$

$$t_5 = 0.116 \text{ s}$$

#### 4.4.8.6 Período 6

- La velocidad en el período 6 se calculará a partir de la Ecuación N° 62:

$$V_6 = - \frac{(h + hr) \cdot g}{c}$$

$$V_6 = - \frac{(8 + 5.173) \times 9.81}{1241.23}$$

$$V_6 = - 0.104 \text{ m/s}$$

- El tiempo en el período 6 se calculará a partir de la Ecuación N°

63:

$$t_6 = \frac{2 \cdot L}{c}$$

$$t_6 = \frac{2 \times 7}{1241.23}$$

$$t_6 = 0.010 \text{ s}$$

#### 4.4.8.7 Período 7

- La velocidad en el período 7 se calculará a partir de la Ecuación N°

64:

$$V_7 = \frac{g \cdot H \cdot t_7}{L}$$

$$V_7 = \frac{9.81 \times 0.6 \times 0.124}{7}$$

$$V_7 = 0.104 \text{ m/s}$$

- El tiempo en el período 7 se calculará a partir de la Ecuación N°

65:

$$t_7 = \frac{L \cdot (h + hr)}{H \cdot c}$$

$$t_7 = \frac{7 \times (8 + 5.173)}{0.6 \times 1241.23}$$

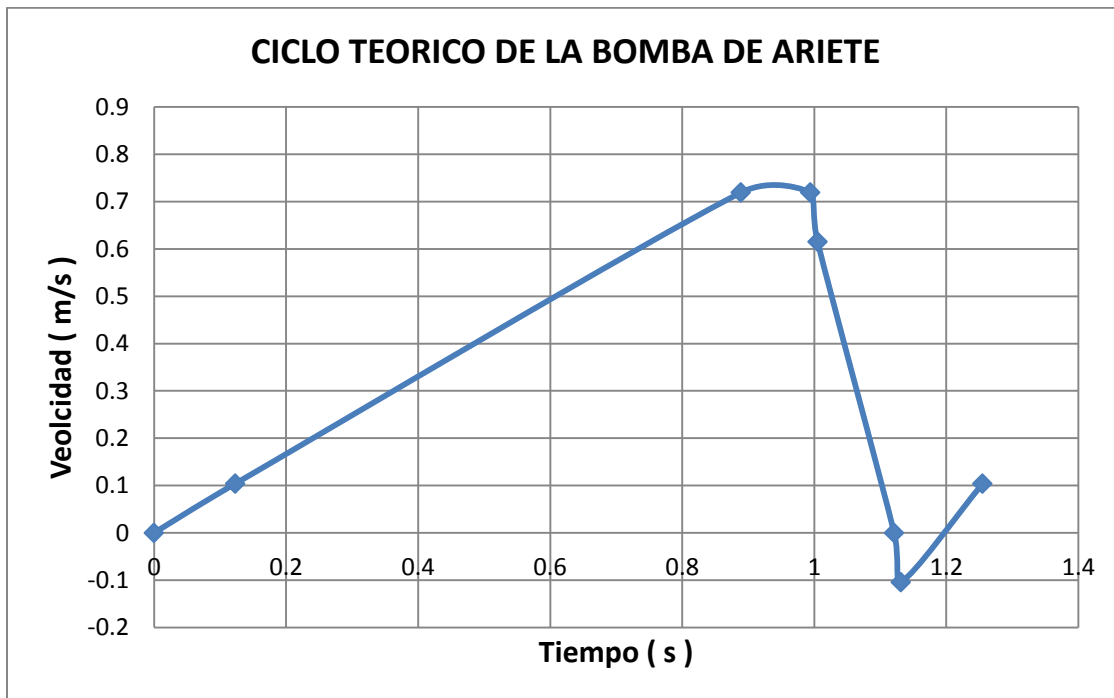
$$t_7 = 0.124 \text{ s}$$

#### 4.4.9 Análisis del ciclo de operación del ariete hidráulico

- Todos los resultados teóricos obtenidos por el método de Krol serán resumidos en la tabla N° 11 para ver la variación de la velocidad del fluido con respecto al tiempo. En la Figura N° 44 se muestran los resultados en forma gráfica.

<b>CICLO TEORICO DE LA BOMBA DE ARIETE</b>			
<b>PERÍODO</b>	<b>VELOCIDAD ( m/s )</b>	<b>TIEMPO ( s )</b>	<b>TIEMPO AC. ( s )</b>
<b>0</b>	0	0	0
<b>1</b>	0.104	0.123	0.123
<b>2</b>	0.719	0.766	0.889
<b>3</b>	0.719	0.105	0.994
<b>4</b>	0.615	0.011	1.005
<b>5</b>	0.000	0.116	1.121
<b>6</b>	-0.104	0.010	1.131
<b>7</b>	0.104	0.124	1.255
<b>Tiempo de ciclo ( s )</b>		1.26	

**Tabla N° 11: Ciclo teórico de operación de la bomba de ariete**  
**Fuente: Propia**



**Figura N° 44: Gráfico del ciclo teórico de operación de la bomba de ariete**  
**Fuente: Propia**

#### 4.5 CONSTRUCCION DE LA BOMBA DE ARIETE

Para la construcción de la bomba de ariete se deberá tomar en cuenta la utilización de las siguientes herramientas estandarizadas:

- ✓ Tornillo de banco con cadena
- ✓ Llave Stillson de 14"
- ✓ Llave francesa de 10"
- ✓ Destornillador plano
- ✓ Juego de machos M10

Para la construcción de la bomba de ariete se deberá tomar en cuenta la utilización de los siguientes equipos:

- ✓ Torno
- ✓ Taladro
- ✓ Equipo de oxicorte
- ✓ Máquina de soldar

La construcción de la bomba de ariete seguirá un conjunto de actividades las cuales garantizaran su correcto funcionamiento, estas actividades son:

- ✓ Contar con un ambiente adecuado y seguro para la construcción de la bomba, el cual cuente con las herramientas y equipos antes mencionados.
- ✓ Disposición de todos los componentes necesarios para la construcción.
- ✓ Fabricación de las piezas que según planos.
- ✓ Ensamblar válvula de impulsión según plano de despiece.
- ✓ Ensamblar todos los componentes de la bomba de ariete hidráulico, recordar que estas por ser unidas mediante roscas deberán contar con elementos de sellado, en este caso se recomienda utilizar cinta teflón y un formador de empaquetadura para asegurar que no se presenten fugas en las uniones realizadas.
- ✓ Realizar el ensamble según plano de despiece de la bomba.



**Figura N° 45: Componentes válvula de impulsión**  
**Fuente: Propia**



**Figura N° 46: Ensamble bomba de ariete**  
**Fuente: Propia**

## 4.6 ANALISIS DE RESULTADOS

### 4.6.1 Condiciones de trabajo

- La altura de descarga posee una gran importancia, ya que esta influye notoriamente en el caudal descargado y en el rendimiento de la bomba de ariete hidráulico, por lo que antes de analizar los resultados obtenidos en las pruebas experimentales, debemos señalar las condiciones en las cuales se instaló la bomba de ariete hidráulico.
- Las condiciones en la zona de alimentación se muestran en la siguiente tabla:

ALIMENTACIÓN			
TUBERIA		PARAMETROS	
LONGITUD - L (m)	AREA - A (mm <sup>2</sup> )	CAUDAL - Q (l/min)	ALTURA - H (m)
7.00	0.001452	66.66	0.60

Tabla N° 12: Condiciones en la zona de alimentación  
Fuente: Propia

- Las condiciones en la zona de descarga se muestran en la siguiente tabla:

DESCARGA			
TUBERIA		PARAMETROS	
LONGITUD - l (m)	AREA - a (mm <sup>2</sup> )	CAUDAL - q (l/min)	ALTURA - h (m)
20.00	0.000285	1.75	8.00

**Tabla N° 13: Condiciones en la zona de descarga**

**Fuente: Propia**

- En las figuras N° 47, 48, 49 y 50 se puede apreciar la disposición de la tubería de impulso y la tubería de descarga en las pruebas realizadas.



**Figura N° 47: Toma de tubería de impulsión**

**Fuente: Propia**



**Figura N° 48: Tubería de impulsión**  
**Fuente: Propia**



**Figura N° 49: Toma de tubería de descarga**  
**Fuente: Propia**



**Figura N° 50: Tubería de descarga**  
**Fuente: Propia**



**Figura N° 51: Bomba de ariete hidráulico**  
**Fuente: Propia**

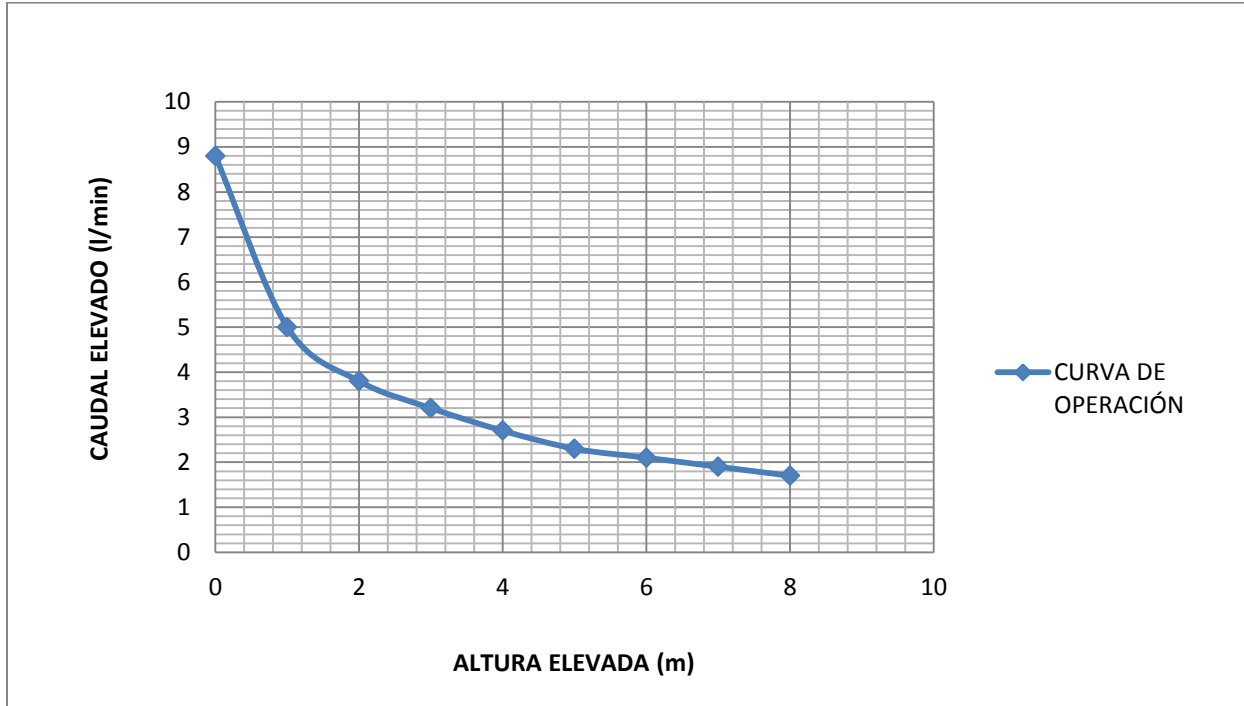
#### 4.6.2 Pruebas experimentales

- Se tomaron en cuenta las condiciones de trabajo mencionadas en el punto anterior.
- Se realizaron pruebas variando la carrera del disco de la válvula de impulso, teniendo resultados puntuales los cuales hicieron descartar una carrera menor del disco, por lo que se toma como mejor opción la máxima carrera la cual según diseño de la válvula de impulso fue 11 milímetros.
- Se debe tomar en cuenta que el mejor caudal obtenido en las pruebas a la altura requerida fue graduando el regulador del resorte hacia el interior en 4 vueltas o 6 milímetros, por lo que los ciclos realizados por la válvula de impulso en un minuto son 41, teniendo un tiempo de ciclo de 1.46 segundos.
- Estas pruebas se realizaron variando las alturas de descarga en 1 metro cada una para analizar el efecto que transmite al caudal elevado y al rendimiento de la bomba de ariete hidráulico.
- Tomando en cuenta las condiciones mencionadas en la sección anterior, podemos observar los datos obtenidos en las pruebas experimentales en la tabla N° 14.

PRUEBA	CAUDAL DE DESCARGA (l/min)	ALTURA DE DESCARGA (m)	PRESION DE DESCARGA (bar)
1	1.70	8.00	0.90
2	1.80	7.00	0.80
3	2.00	6.00	0.70
4	2.20	5.00	0.60
5	2.60	4.00	0.50
6	3.20	3.00	0.40
7	3.80	2.00	0.30
8	5.10	1.00	0.20
9	8.80	0.00	0.10

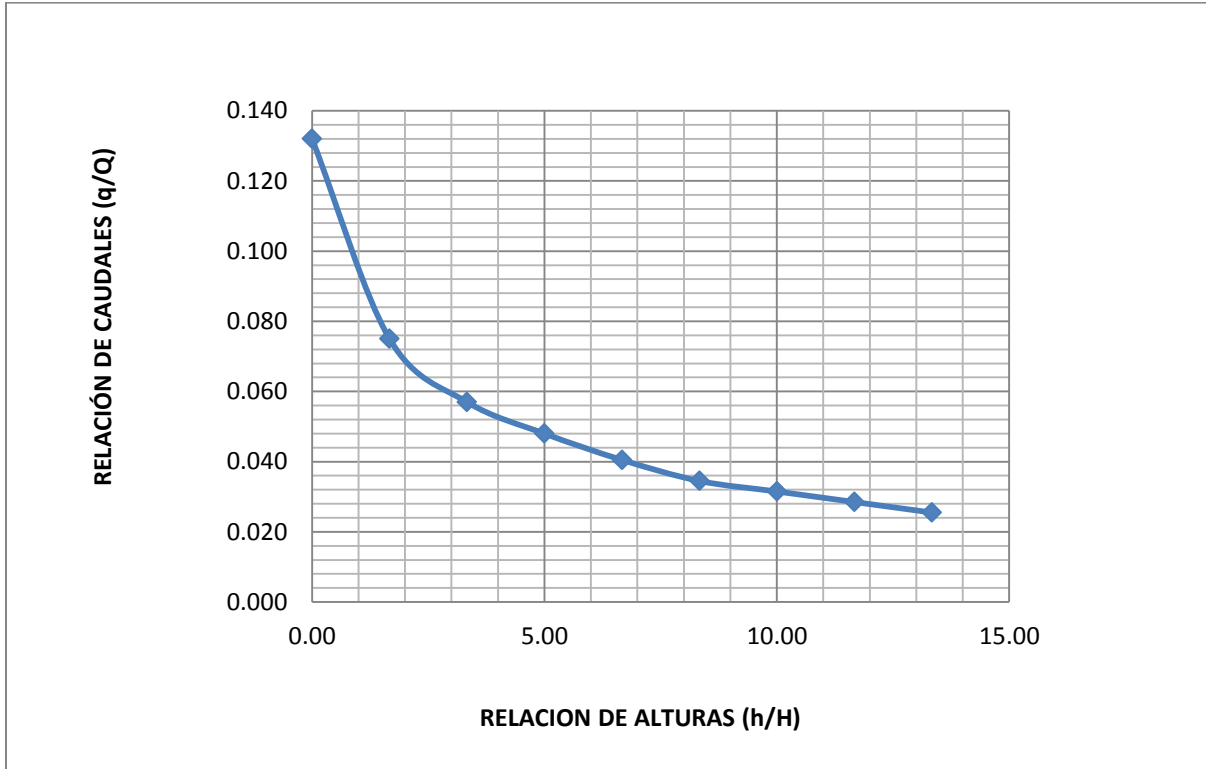
**Tabla N° 14: Resultados obtenidos**  
**Fuente: Propia**

- Para un mejor análisis de los resultados, se realiza la curva de operación de la bomba de ariete hidráulico según los datos obtenidos en la tabla anterior, estos son mostrados de manera gráfica en la figura N° 52:



**Figura N° 52: Curva de operación de la bomba de ariete hidráulico**  
**Fuente: Propia**

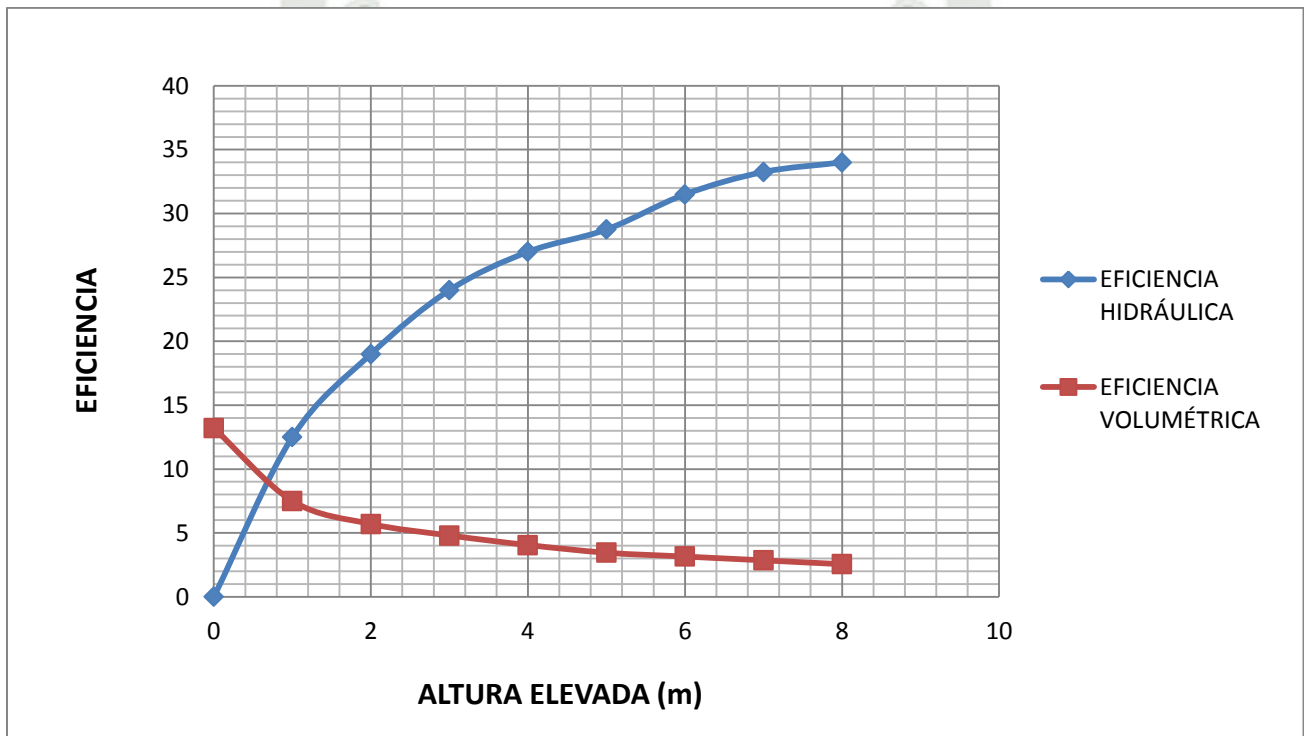
- Como se aprecia en la figura anterior el caudal elevado disminuye a medida que se incrementa la altura de elevación, pudiendo alcanzar una gran altura y un pequeño caudal.
- En la figura N° 53 podemos apreciar la relación de los caudales (caudal elevado, caudal de impulsión) con respecto a las alturas (altura de descarga, altura de impulsión).



**Figura N° 53: Relación de caudales y alturas**  
**Fuente: Propia**

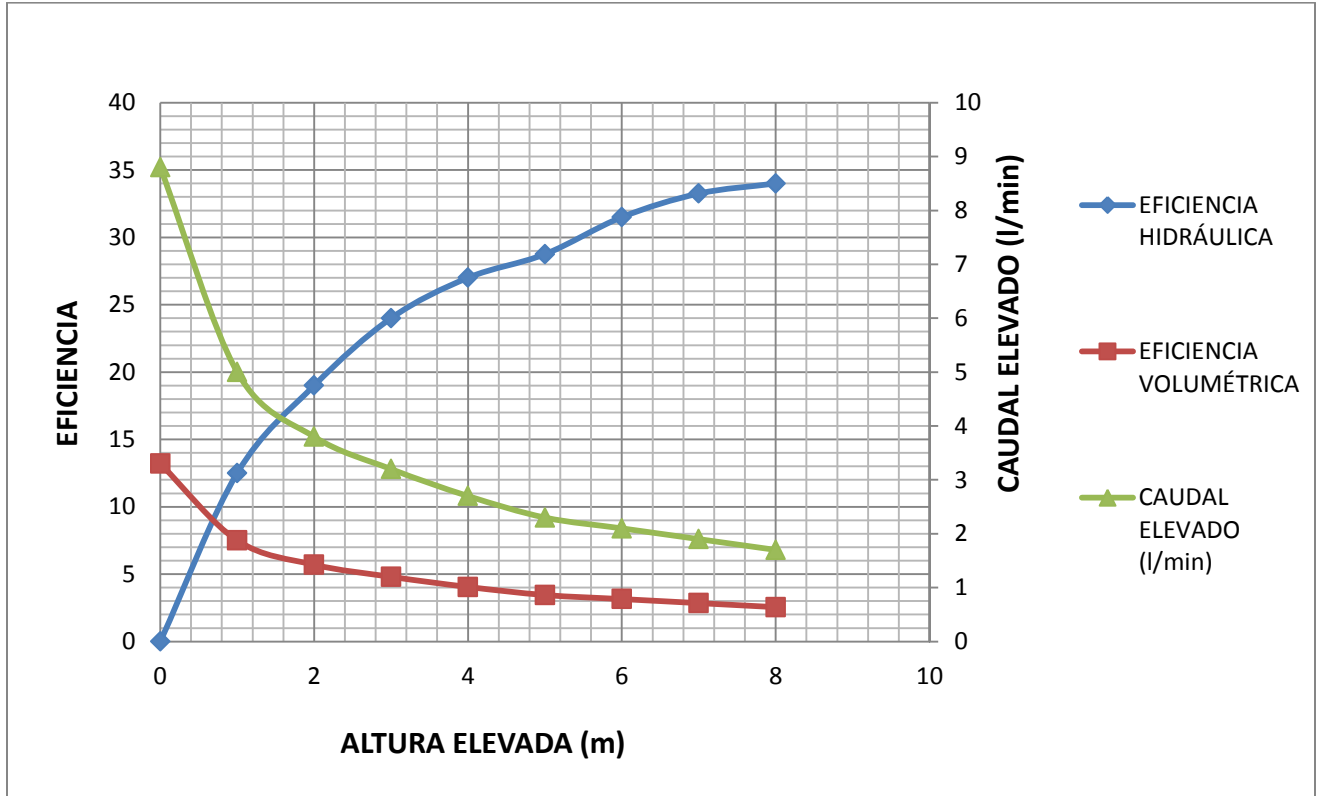
- Para conocer la eficiencia hidráulica que posee la bomba de ariete hidráulico, se deberá tomar en cuenta la ecuación N° 76, en la cual intervienen los valores del caudal de impulsión, la altura de impulsión, el caudal elevado y la altura de descarga.
- Otra forma de cálculo de la eficiencia hidráulica es a partir de la división de la potencia útil entregada en la descarga y la potencia recibida del agua de alimentación.

- Para conocer la eficiencia volumétrica se deberá tomar en cuenta que esta es el cociente del caudal de descarga y el caudal de impulsión.
- Ambas eficiencias se aprecian en la figura N° 54 en relación con la altura elevada.



**Figura N° 54: Eficiencias de la bomba de ariete hidráulico**  
Fuente: Propia

- En la figura N° 55 se puede apreciar el comportamiento de la bomba de ariete hidráulico en función de la altura de elevación.



**Figura N° 55: Comportamiento de la bomba en función de la altura elevada**  
Fuente: Propia

- Para determinar la potencia útil entregada en la descarga se deberá tomar en cuenta la siguiente ecuación:

$$P_u = q \times h \times g \times \rho$$

Donde:

$P_u$ : Potencia útil entregada en la descarga (W)

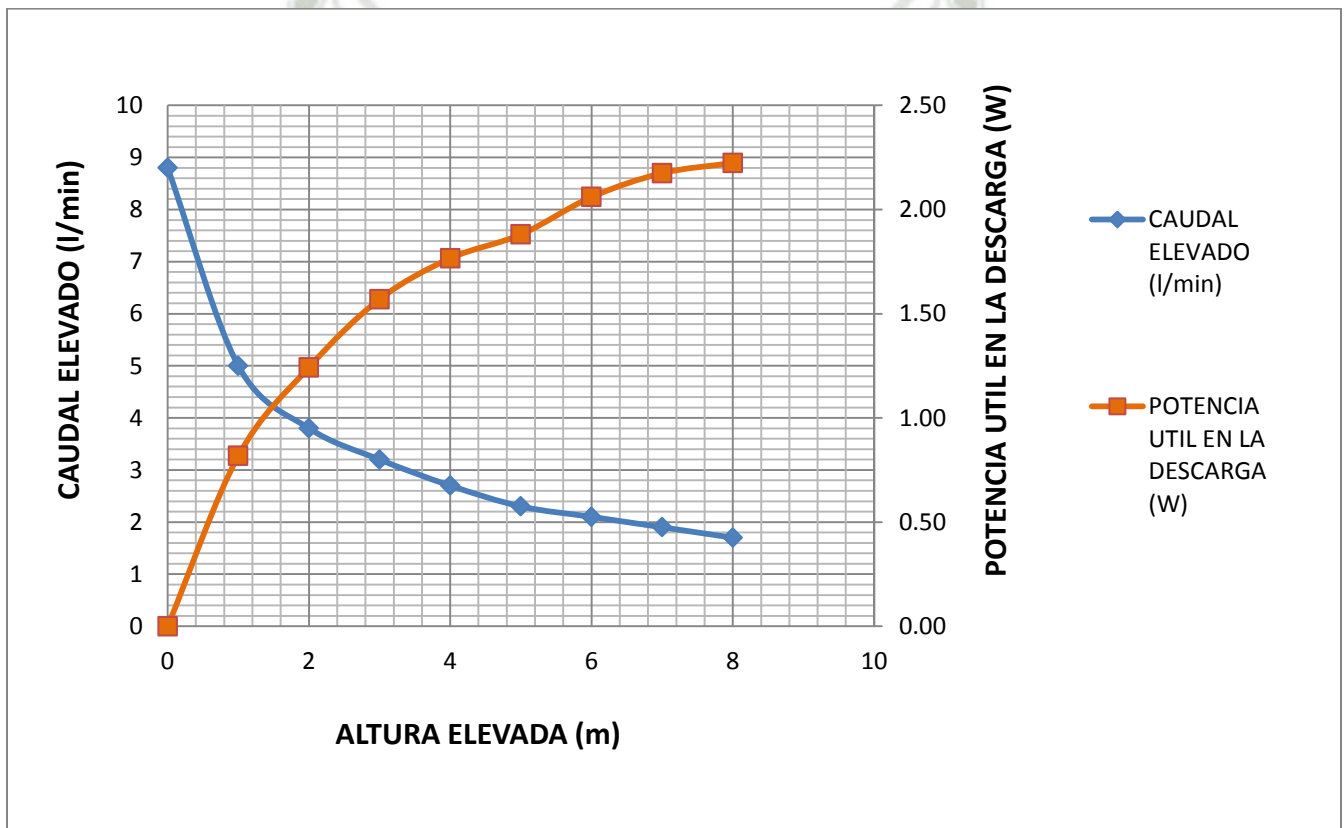
$q$ : Caudal elevado ( $m^3/s$ )

$h$ : Altura de descarga (m)

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

$\rho$ : Densidad del fluido ( $kg/m^3$ )

- En la figura N° 56 se puede la potencia útil entregada y el caudal de descarga en función de la altura elevada.



**Figura N° 56: Potencia útil en la descarga en función de la altura de descarga**  
Fuente: Propia

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS DE COSTOS

#### 5.1 DESCRIPCION

En este capítulo se hará una estimación de los costos tanto directos como indirectos para que estos sumados nos den el costo final de la fabricación y ensamble de la bomba de ariete.

#### 5.2 COSTOS DIRECTOS

Los materiales a ser utilizados en la construcción e instalación de la bomba de ariete hidráulico se pueden apreciar en la Tabla N° 12.

ITEM	ELEMENTO	CANTIDAD	MEDIDA	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Abrazadera tornillo de 3/4"	2	Un	4.00	8.00
2	Angulo de 25 x 3.0 x 6m	1	Un	60.00	60.00
3	Cámara de aire	1	Un	8.00	8.00
4	Cinta teflón de 1/2"	15	Un	0.70	10.50
5	Codo de 45° de 1 1/2"	1	Un	8.00	8.00
6	Codo de 90° de 1 1/2"	1	Un	6.00	6.00
7	Electrodo 7018 de 1/8"	1	Kg	14.00	14.00

8	Plancha de metal	1	Un	40.00	40.00
9	Platina de 1/4 x 1"x 6m	1	Un	60.00	60.00
10	Perno M10 x 40	1	Un	1.50	1.50
11	Manguera de 3/4 "	20	M	2.00	40.00
12	Manómetro de 0 a 5 bar	2	Un	23.00	46.00
13	Manómetro de 0 a 10 bar	1	Un	27.00	27.00
14	Niple de 3/4" x 2"	2	Un	4.00	8.00
15	Niple de 1 1/2" x 3"	5	Un	7.00	35.00
16	Soportes para tubería de 1 1/2"	2	Un	20.00	40.00
17	Reducción bushing de 3/4" a 1/4"	2	Un	4.00	8.00
18	Reducción bushing de 1 1/2" a 3/4"	1	Un	8.00	8.00
19	Resorte # 24900	1	Un	50.00	50.00
20	Tapa roscada de 1 1/2"	1	Un	15.00	15.00
21	Tee de 3/4"	1	Un	9.00	9.00
22	Tee de 1 1/2"	3	Un	12.00	36.00
23	Tubo acero recub. galvanizado de 1 1/2" x 6 m	1	Un	95.00	95.00
24	Tubo acero recub. galvanizado de 1 1/2" x 1.44 m	1	Un	35.00	35.00
25	Tubo PVC 3/4	3	Un	6.00	18.00
26	Tuerca M10	2	Un	0.30	0.60
27	Válvula check de disco con resorte de 1 1/2"	1	Un	60.00	60.00
28	Válvula de paso de 3/4"	1	Un	40.00	40.00
29	Válvula de paso de 1 1/2"	1	Un	75.00	75.00
30	Válvula de pie de 1 1/2"	1	Un	55.00	55.00
				<b>TOTAL ( S/.)</b>	<b>916.60</b>

**Tabla N° 15: Costos directos**  
**Fuente: Propia**

### 5.3 COSTOS INDIRECTOS

En la Tabla N° 13 se detallan los costos que se generan por la utilización de máquinas y herramientas:

ITEM	MAQUINA	TIEMPO	COSTO POR HORA	COSTO TOTAL
1	Máquina de soldar	1	50.00	50.00
2	Torno	0.5	50.00	25.00
3	Taladro	0.5	30.00	15.00
4	Esmeril	1	15.00	15.00
5	Herramientas	6	15.00	90.00
<b>TOTAL ( S/.)</b>				<b>195.00</b>

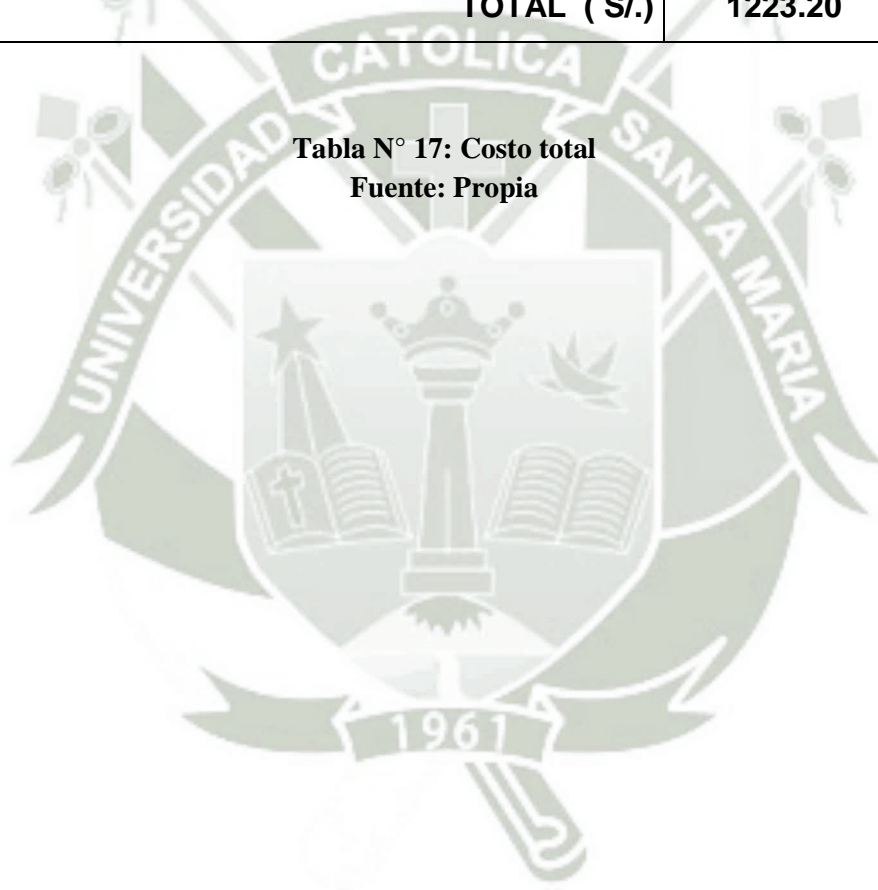
**Tabla N° 16: Costos indirectos**  
**Fuente: Propia**

### 5.4 COSTO TOTAL

Para determinar el costo total para la construcción y ensamble de la bomba de ariete es necesario sumar los costos directos e indirectos calculados anteriormente, en la Tabla N° 14 se tiene el costo total al cual se le adicionará un factor 10% generado por gastos de imprevistos que se pudieran generar.

ITEM	COSTO TOTAL	VALOR
1	Costos directos	916.60
2	Costos indirectos	195.00
<b>SUB - TOTAL ( S/.)</b>		1111.60
3	Imprevistos 10%	111.60
<b>TOTAL ( S/.)</b>		<b>1223.20</b>

**Tabla N° 17: Costo total**  
**Fuente: Propia**



## CONCLUSIONES

1.- Mediante la identificación de la mejor solución a nuestro problema, se diseñó y construyó la bomba de ariete hidráulico, la cual cumplió con las condiciones de trabajo requeridas, las cuales eran: suministrar agua a las viviendas a razón de 102 litros por hora y entregar este caudal a una altura de 8 metros, cabe mencionar que el proceso de fabricación y ensamble cumplió con estándares planteados en el diseño.

2.- El caudal obtenido en la prueba experimental de funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico fue de 1.7 litros por minuto. Según las condiciones identificadas en nuestro problema, la necesidad por vivienda es de 1100 litros al día, los cuales podrán ser abastecidos en el tanque de almacenamiento de la vivienda en 10.78 horas. Si se requeriría el trabajo constante de la bomba de ariete hidráulico, el caudal máximo a obtener al día sería de 2448 litros.

3.- La altura de bombeo obtenida en la prueba experimental de funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico fue 8 metros. Es necesario mencionar que esta bomba posee la capacidad de bombear agua a mayor altura pero se deberá tomar en cuenta que el caudal elevado no será el mismo y este disminuirá según la tendencia de curva de operación de la bomba de ariete hidráulico.

4.- Para el funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico se debe tener en cuenta que, primero se deberá abrir la válvula de la zona de impulsión, haciendo que el fluido sea expulsado por la válvula de impulsión hasta que la fuerza generada por este sea mayor que la sumatoria del peso del disco de la válvula y la fuerza producida por el resorte de compresión haciendo que la válvula de impulsión se cierre y produzca el golpe de ariete; luego de unos ciclos se deberá abrir la válvula de descarga para suministrar el agua hacia la vivienda. Para detener el funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico se deberá cerrar primero la válvula de la zona de impulsión y luego cerrar la válvula de la zona de descarga.

5.- El rendimiento de la bomba de ariete hidráulico fue de 34%, el cual es aceptable tomando en cuenta las consideraciones mencionadas en las referencias bibliográficas de distintos autores. Debido que la bomba de ariete hidráulico fue diseñada bajo condiciones de trabajo específicas, es necesario decir que el rendimiento de esta bomba aumentaría si estas condiciones fueran más favorables.

## RECOMENDACIONES

1.- Debido a los golpes y vibraciones producidos por la bomba de ariete hidráulico, se recomienda fijar tanto la tubería como la base de la bomba sabiendo que esta deberá poseer una altura para evitar el contacto con el agua expulsada por la válvula de impulsión.

2.- Se recomienda colocar filtros en la toma para evitar que cuerpos extraños ingresen al interior de la bomba de ariete hidráulico, estos filtros deberán permitir el ingreso del agua de manera normal hacia la tubería de impulsión.

3.- Se recomienda realizar inspecciones en los elementos móviles de la bomba de ariete hidráulicos, como es el caso de la válvula de descarga y la válvula de impulsión, a fin de asegurar el correcto funcionamiento de la bomba.

4.- Teniendo en cuenta los altos precios de los combustibles y energía eléctrica, la bomba de ariete hidráulico representa una buena opción de ahorro, ya que solo se requiere el gasto para la obtención de los componentes y un gasto mínimo por mantenimiento; por lo que se recomienda su uso en zonas o comunidades de características similares en donde el recurso hídrico se encuentre en abundancia o se pueda reaprovechar el agua que se expulsa en los ciclos de la bomba.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Agustín Martín Domingo (1997). "Apuntes de Mecánica de Fluidos". España: Creative Commons.
2. Chi, M. (2002). "Hydraulic Ram Handbook. A guide for policy makers, technicians and users based on experiences made in the R. P. of China". Bremen Overseas Research and Development Association. China.
3. Enrique Cabrera Marcet (1977). "Cálculo del golpe de ariete en tuberías de impulsión por el método de las características". España: Dyna.
4. Francisco Acitores Martínez. (2012). "Estudio teórico y experimental de la bomba de ariete". Universidad Carlos III de Madrid. España.
5. Francisco Jiménez Víctor. (2011). "Cálculo, diseño y construcción de un prototipo de ariete hidráulico". Universidad Veracruzana. México.
6. Javier Ortega Nebra. (2013). "Construcción, caracterización hidráulica, y estudio de aplicación de una bomba de ariete para el riego de una finca agrícola". Universidad de Zaragoza. España.
7. J.M de Azevedo Netto & Guillermo Acosta Álvarez (1975). "Manual de hidráulica, sexta edición". México: Harla.
8. Krol, J. (1951). "The Automatic Hydraulic Ram. Its Theory and Design". Institution of Mechanical Engineering Proceedings, Vol. 165, nº 64, pp. 53-73.
9. L. Streeter, V. (1970). "Mecánica de los Fluidos". México: Mc Graw – Hill.

10. Lee, S. (2000). "Building a homemade ram pump". Home Power 76, p. 42-48.
11. Omar Bejarano Grandéz. (2013). Diseño de una máquina experimental para la deformación en frío en una dirección de láminas no ferrosas, mediante fuerzas de compresión. Perú.
12. Reinaldo A. De Freitas & Sergio A. Sánchez. (2002). "Diseño y construcción de un sistema de suministro de agua para una comunidad agrícola". Universidad Central de Venezuela. Venezuela.
13. Robert L. Mott (1996). "Mecánica de Fluidos aplicada, Cuarta edición". México: Pearson.
14. Roberto Hernández S., Carlos Fernández C., María del Pilar Baptista. (2010). "Metodología de la investigación, Quinta edición". México: Mc Graw – Hill.
15. Sierra Carlos Andrés & Biancha Gerson Eduardo. (2012). "Análisis del Ariete Hidráulico para diferentes configuraciones". Universidad Industrial de Santander. Colombia.
16. White, Frank M. (2008). "Mecánica de Fluidos". España: Mc GraW Hill.
17. Young, B. W. (1998). "Generic design of ram pumps. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers". New Guinea.



## ANEXO 1: NORMA S.100 REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES

104



NORMAS LEGALES

El Peruano  
Martes 23 de mayo de 2006

**5.9.4.5.** Deberá tenerse en cuenta por lo menos los siguientes aspectos:

- concentración de metales pesados en los lodos y compatibilidad con los niveles máximos permisibles;
- cantidad de cationes en los lodos y capacidad de intercambio iónico;
- tipos de cultivo y formas de riego, etc.

### 5.9.5. REMOCIÓN DE LODOS DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

**5.9.5.1.** Para la remoción de lodos de las lagunas primarias, se procederá al drenaje mediante el uso de sifones u otro dispositivo. Las lagunas deberán drenarse hasta alcanzar un nivel que permita la exposición del lodo al ambiente. La operación de secado debe efectuarse en la estación seca. Durante esta operación el agua residual debe idealmente tratarse sobrecargando otras unidades en paralelo.

**5.9.5.2.** El lodo del fondo debe dejarse secar a la intemperie. El mecanismo de secado es exclusivamente por evaporación y su duración depende de las condiciones ambientales, principalmente de la temperatura.

**5.9.5.3.** El lodo seco puede ser removido en forma manual o con la ayuda de equipo mecánico. En el diseño de lagunas deberá considerarse las rampas de acceso de equipo pesado para la remoción de lodos.

**5.9.5.4.** El lodo seco debe almacenarse en pilas de hasta 2 m por un tiempo mínimo de 6 meses, previo a su uso como acondicionador de suelos. De no usarse deberá disponerse en un relleno sanitario.

**5.9.5.5.** Alternativamente se podrá remover el lodo de lagunas primarias por dragado o bombeo a una laguna de secado de lodos.

**5.9.5.6.** El proyectista deberá especificar la frecuencia del período de remoción de lodos, este valor deberá estar consignado en el manual de operación de la planta.

### 5.9.6. LECHOS DE SECADO

**5.9.6.1.** Los lechos de secado son generalmente el método más simple y económico de deshidratar los lodos estabilizados.

**5.9.6.2.** Previo al dimensionamiento de los lechos se calculará la masa y volumen de los lodos estabilizados.

En el caso de zanjas de oxidación el contenido de sólidos en el lodo es conocido. En el caso de lodos digeridos anaerobiamente, se determinará la masa de lodos considerando una reducción de 50 a 55% de sólidos volátiles. La gravedad específica de los lodos digeridos varía entre 1.03 y 1.04. Si bien el contenido de sólidos en el lodo digerido depende del tipo de lodo, los siguientes valores se dan como guía:

- para el lodo primario digerido: de 8 a 12% de sólidos.
- para el lodo digerido de procesos biológicos, incluido el lodo primario: de 6 a 10% de sólidos.

**5.9.6.3.** Los requisitos de área de los lechos de secado se determinan adoptando una profundidad de aplicación entre 20 y 40 cm y calculando el número de aplicaciones por año. Para el efecto se debe tener en cuenta los siguientes períodos de operación:

- período de aplicación: 4 a 6 horas;
- período de secado: entre 3 y 4 semanas para climas cálidos y entre 4 y 8 semanas para climas más fríos;
- período de remoción del lodo seco: entre 1 y 2 semanas para instalaciones con limpieza manual (dependiendo de la forma de los lechos) y entre 1 y 2 días para instalaciones pavimentadas en las cuales se pueden remover el lodo seco, con equipo.

**5.9.6.4.** Adicionalmente se comprobarán los requisitos de área teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

Tipo de Lodo Digerido	(Kg sólidos/(m <sup>2</sup> .año))
Primario	120 - 200
Primario y filtros percoladores	100 - 160
Primario y lodos activados	60 - 100
Zanjas de oxidación	110 - 200

**5.9.6.5.** Para el diseño de lechos de secado se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Pueden ser construidos de mampostería, de concreto o de tierra (con diques), con profundidad total útil de 50 a 60 cm. El ancho de los lechos es generalmente de 3 a 6 m., pero para instalaciones grandes puede sobrepasar los 10 m.

- El medio de drenaje es generalmente de 0.3 de espesor y debe tener los siguientes componentes:

El medio de soporte recomendado está constituido por una capa de 15 cm. formada por ladrillos colocados sobre el medio filtrante, con una separación de 2 a 3cm. llena de arena. La arena es el medio filtrante y debe tener un tamaño efectivo de 0,3 a 1,3mm., y un coeficiente de uniformidad entre 2 y 5. Debajo de la arena se debe colocar un estrato de grava graduada entre 1,6 y 51mm.(1/6" y 2"), de 0.20m. de espesor.

Los drenes deben estar constituidos por tubos de 100mm. de diámetro instalados debajo de la grava.

Alternativamente, se puede diseñar lechos pavimentados con losas de concreto o losas prefabricadas, con una pendiente de 1,5% hacia el canal central de drenaje. Las dimensiones de estos lechos son: de 5 a 15m. de ancho, por 20 a 45m. de largo.

Para cada lecho se debe proveer una tubería de descarga con su respectiva válvula de compuerta y losa en el fondo, para impedir la destrucción del lecho.

## NORMA OS.100

### CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA SANITARIA

#### 1. INFORMACIÓN BÁSICA

##### 1.1. Previsión contra Desastres y otros riesgos

En base a la información recopilada el proyectista deberá evaluar la vulnerabilidad de los sistemas ante situaciones de emergencias, diseñando sistemas flexibles en su operación, sin descuidar el aspecto económico. Se deberá solicitar a la Empresa de Agua la respectiva factibilidad de servicios. Todas las estructuras deberán contar con libre disponibilidad para su utilización.

##### 1.2. Período de diseño

Para proyectos de poblaciones o ciudades, así como para proyectos de mejoramiento y/o ampliación de servicios en asentamientos existentes, el período de diseño será fijado por el proyectista utilizando un procedimiento que garantice los períodos óptimos para cada componente de los sistemas.

##### 1.3. Población

La población futura para el período de diseño considerado deberá calcularse:

a) Tratándose de asentamientos humanos existentes, el crecimiento deberá estar acorde con el plan regulador y los programas de desarrollo regional si los hubiere; en caso de no existir éstos, se deberá tener en cuenta las características de la ciudad, los factores históricos, socio-económico, su tendencia de desarrollo y otros que se pudieren obtener.

b) Tratándose de nuevas habilitaciones para viviendas deberá considerarse por lo menos una densidad de 6 hab/vivienda.

##### 1.4. Dotación de Agua

La dotación promedio diaria anual por habitante, se fijará en base a un estudio de consumos técnicamente justificado, sustentado en informaciones estadísticas comprobadas.

Si se comprobara la no existencia de estudios de consumo y no se justificara su ejecución, se considerará por lo menos para sistemas con conexiones domiciliarias una dotación de 180 l/hab/d, en clima frío y de 220 l/hab/d en clima templado y cálido.

Para programas de vivienda con lotes de área menor o igual a 90 m<sup>2</sup>, las dotaciones serán de 120 l/hab/d en clima frío y de 150 l/hab/d en clima templado y cálido.

Para sistemas de abastecimiento indirecto por surtidores para camión cisterna o piletas públicas, se considerará una dotación entre 30 y 50 l/hab/d respectivamente.

## ANEXO 2: CAPITULO IV - REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES

El Peruano  
Martes 23 de mayo de 2006



NORMAS LEGALES

115

nes de seguridad sísmica, contra incendios o por condiciones de iluminación y ventilación naturales de los ambientes que la conforman.

**Artículo 17.-** La separación entre edificaciones por seguridad sísmica se establece en el cálculo estructural correspondiente, de acuerdo con las normas sismorresistentes.

**Artículo 18.-** En los conjuntos residenciales conformados por varios edificios multifamiliares, la separación entre ellos, por razones de privacidad e iluminación natural, se determinará en función al uso de los ambientes que se encuentran frente a frente, según lo siguiente:

a) Para edificaciones con vanos de dormitorios, estudios, comedores y salas de estar, la separación deberá ser igual o mayor a un tercio de la altura de la edificación más baja, con una distancia mínima de 5.00 m. Cuando los vanos se encuentren frente a los límites de propiedad laterales o posterior, la distancia será igual o mayor a un tercio de la altura de la propia edificación.

b) Para edificaciones con vanos de ambientes de cocinas, pasajes y patios techados, la distancia de separación deberá ser mayor a un cuarto de la altura de la edificación más alta, con una distancia mínima de 4.00 m.

**Artículo 19.-** Los pozos para iluminación y ventilación natural deberán cumplir con las siguientes características:

Para viviendas unifamiliares, tendrán una dimensión mínima de 2.00 m por lado medido entre las caras de los paramentos que definen el pozo

Para viviendas en edificaciones multifamiliares:

a) Tendrán dimensiones mínimas de 2.20 m por lado, medido entre las caras de los paramentos que definen el pozo.

b) La distancia perpendicular entre los vanos de los ambientes de dormitorios, estudios, salas de estar y comedores, que se sirven del pozo medida en el punto central o eje del vano y el muro opuesto que conforma el pozo no debe ser menor a un tercio de la altura del paramento mas bajo del pozo, medido a partir del alfeizar del vano mas bajo.

c) La distancia perpendicular entre los vanos de los ambientes de servicio, cocinas, pasajes y patios de servicio techados que se sirven del pozo, medida en el punto central o eje del vano, y el muro opuesto que conforma el pozo, no debe ser menor a un cuarto de la altura total del paramento mas bajo del pozo, medido a partir del alfeizar del vano mas bajo.

Cuando la dimensión del pozo perpendicular a los vanos a los que sirve, es mayor en mas de 10% al mínimo establecido en los incisos b) y c) anteriores, la dimensión perpendicular del pozo se podrá reducir en un porcentaje proporcional hasta un mínimo de 1.80 m

En edificaciones de 5 pisos o mas, cuando la dimensión del pozo perpendicular a los vanos a los que sirve, es menor hasta en 20% al mínimo establecido en los incisos b) y c) anteriores, la dimensión mínima perpendicular del pozo deberá aumentar en un porcentaje proporcional.

**Artículo 20.-** Los pozos de luz pueden estar techados con una cubierta transparente y dejando un área abierta para ventilación, a los lados, superior al 50% del área del pozo. Esta cubierta no reduce el área libre.

### CAPITULO IV DIMENSIONES MÍNIMAS DE LOS AMBIENTES

**Artículo 21.-** Las dimensiones, área y volumen, de los ambientes de las edificaciones deben las necesarias para:

a) Realizar las funciones para las que son destinados.  
b) Albergar al número de personas propuesto para realizar dichas funciones.

c) Tener el volumen de aire requerido por ocupante y garantizar su renovación natural o artificial.

d) Permitir la circulación de las personas así como su evacuación en casos de emergencia.

e) Distribuir el mobiliario o equipamiento previsto.

f) Contar con iluminación suficiente.

**Artículo 22.-** Los ambientes con techos horizontales, tendrán una altura mínima de piso terminado a cielo raso de 2.30 m. Las partes mas bajas de los techos inclinados podrán tener una altura menor. En climas calurosos la altura deberá ser mayor.

**Artículo 23.-** Los ambientes para equipos o espacios para instalaciones mecánicas, podrán tener una altura menor, siempre que permitan el ingreso de personas para la instalación, reparación o mantenimiento.

**Artículo 24.-** Las vigas y dinteles, deberán estar a una altura mínima de 2.10 m sobre el piso terminado.

### CAPITULO V ACCESOS Y PASAJES DE CIRCULACION

**Artículo 25.-** Los pasajes para el tránsito de personas deberán cumplir con las siguientes características:

a) Tendrán un ancho libre mínimo calculado en función del número de ocupantes a los que sirven.

b) Los pasajes que formen parte de una vía de evacuación carecerán de obstáculos en el ancho requerido, salvo que se trate de elementos de seguridad o cajas de paso de instalaciones ubicadas en las paredes, siempre que no reduzcan en más de 0.15 m el ancho requerido. El cálculo de los medios de evacuación se establecen en la norma A-130.

c) La distancia horizontal desde cualquier punto, en el interior de una edificación, al vestíbulo de acceso de la edificación o a una circulación vertical que conduzca directamente al exterior, será como máximo de 45.0 m sin rociadores o 60.0 m con rociadores.

d) En edificaciones de uso residencial se podrá agregar 11.0 m adicionales, medidos desde la puerta del departamento hasta la puerta de ingreso a la ruta de evacuación.

e) Sin perjuicio del cálculo de evacuación mencionada, la dimensión mínima del ancho de los pasajes y circulaciones horizontales interiores, medido entre los muros que lo conforman será las siguientes:

- Interior de las viviendas	0.90 m.
- Pasajes que sirven de acceso hasta a dos viviendas	1.00 m.
- Pasajes que sirven de acceso hasta a 4 viviendas	1.20 m.
- Áreas de trabajo interiores en oficinas	0.90 m.
- Locales comerciales	1.20 m.
- Locales de salud	1.80 m.
- Locales educativos	1.20 m.

### CAPITULO VI ESCALERAS

**Artículo 26.-** Las escaleras pueden ser:

a) Integradas

Son aquellas que no están aisladas de las circulaciones horizontales y cuyo objetivo es satisfacer las necesidades de tránsito de las personas entre pisos de manera fluida y visible.

b) De evacuación

Son aquellas que son a prueba de fuego y humos y pueden ser:

**Con Vestíbulo Previo Ventilado:** Sus características son las siguientes:

- Las cajas de las escaleras deberán ser protegidas por muros de cierre.

- No deberán tener otras aberturas que las puertas de acceso.

- El acceso será únicamente a través de un vestíbulo que separe en forma continua la caja de la escalera del resto de la edificación

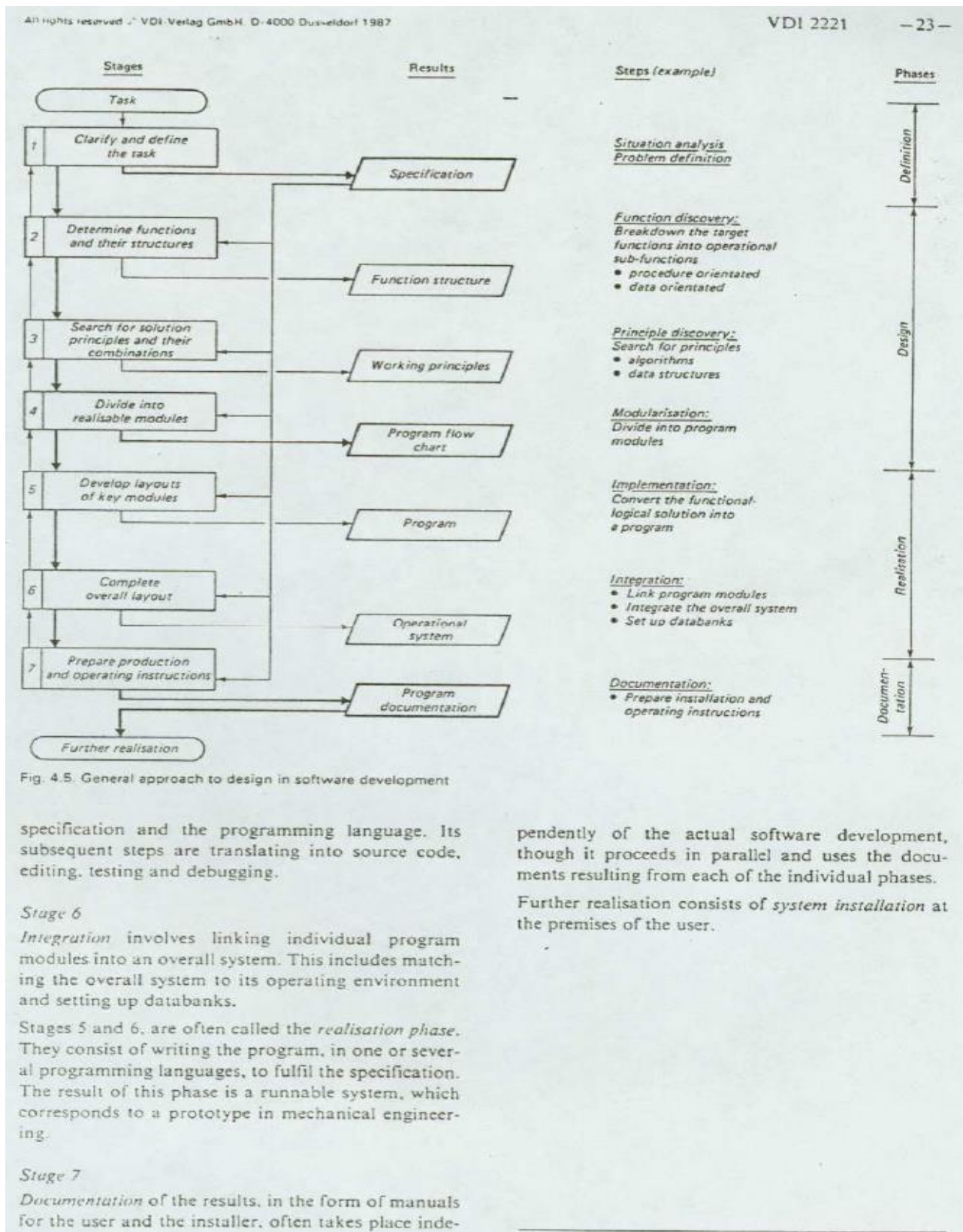
- Los escapes, antes de desembocar en la caja de la escalera deberán pasar forzosamente por el vestíbulo, el que deberá tener cuando menos, un vano abierto al exterior de un mínimo de 1.5 m<sup>2</sup>.

- La puerta de acceso a la caja de la escalera deberá ser puerta corta fuego con cierre automático.

- En caso el vestíbulo previo este separado de las áreas de circulación horizontal, la puerta cortafuego deberá ubicarse en al acceso al vestíbulo ventilado. En este caso la puerta entre el vestíbulo y la caja de escalera podrá no ser cortafuego pero deberá contar con cierre automático.

- En caso que se opte por dar iluminación natural a la caja de la escalera, se podrá utilizar un vano cerrado con blocks de vidrio el cual no excederá de 1.50 m<sup>2</sup>

## ANEXO 3: GUIA VDI 2221 - ENFOQUE SISTEMÁTICO PARA EL DISEÑO



## ANEXO 4: OPERACIÓN DEL ARIETE HIDRÁULICO – E. SCHILLER

### Rational Methods

Methods based on theoretical analysis of the hydraulic ram, with some parameters determined experimentally have been verified by Gosline and O'Brien (1933), Lansford and Dugan (1941), Krol (1951), Kahangire (1984). This is so far the most successful approach to the study of the operation of the hydraulic ram pump.

### ANALYSIS OF THE HYDRAULIC RAM ACTION

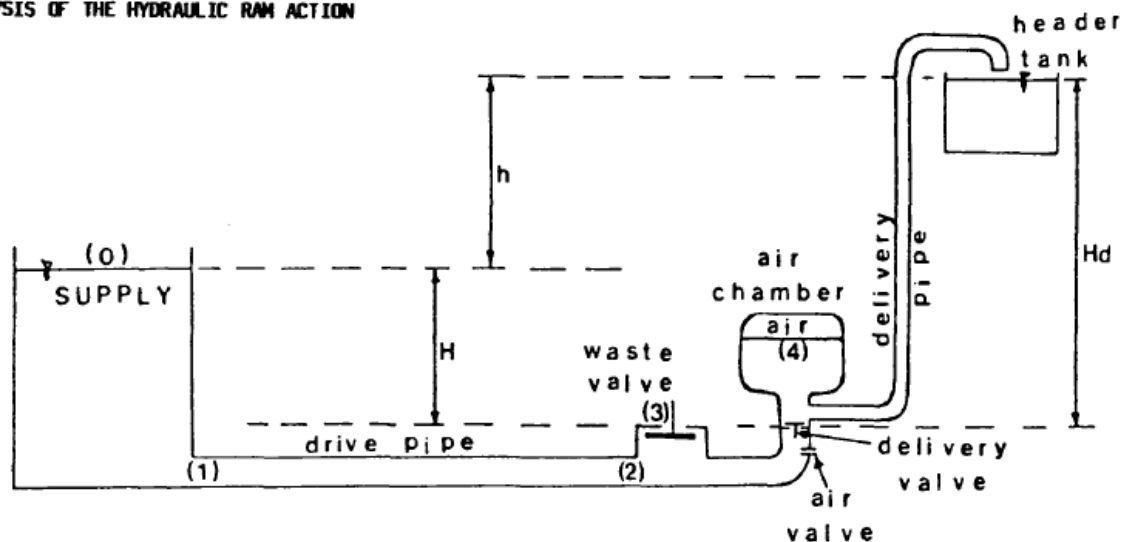


FIGURE 1: TYPICAL HYDRAULIC RAM INSTALLATION

### Hydraulic Ram Action

The momentum produced by a flow of water from a low supply head,  $H$ , (Figure 1) is used to pump a small part of the flow to a higher head,  $H_d$ , above the waste valve opening. The rapid opening and closing of the waste and delivery valves creates pressure surges which are superimposed on the major effects of steady pressure differences and kinetic energy of the flow in the drive pipe. The pressure fluctuations create compression waves which, in turn, are superimposed on the velocity changes in the drive pipe. Considering all these effects would lead to a very complex analysis. Theoretical models that predict the hydram performance accurately are therefore lengthy and complex which reduces their usefulness to practical designers and users of hydrams.

The approximate analysis presented in this paper is based on the average effects of the supply head, atmospheric pressure, delivery head and frictional forces. Only the main effects of the hydram action are considered and the model derived is simple to understand and use. The major waterhammer effects are considered together with the friction head losses. The details of recoil and effects of elasticity of valve materials are neglected (Kahangire 1984). The analysis lies between the detailed analysis of Krol (1951) and the simplified analysis of Iversen (1975).

### Hydram Operation

For this simple analysis the pumping cycle of the hydram is divided into four main periods. The division is based on the position of the waste valve and the average time-velocity variation in the drive pipe (Figure 2).

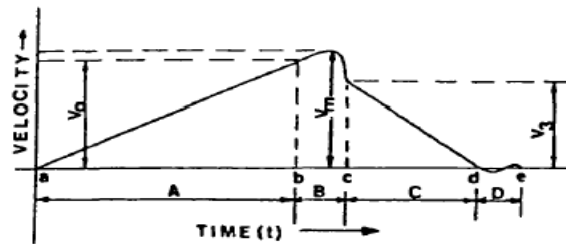


FIGURE 2: TIME-VELOCITY VARIATION IN THE DRIVE PIPE

- A. The waste valve is open and water starts to flow from the source and escapes through the waste valve. The flow accelerates under the effect of the supply head,  $H$ , until a velocity  $V_0$  is attained in the drive pipe. At this velocity, the total drag and pressure forces on the waste valve equals its weight and thereafter the valve begins to close.
- B. The waste valve continues to close and is finally fully closed. For a good hydram design, the valve closure is rapid or instantaneous.
- C. The waste valve is fully closed and remains closed. The sudden closure creates a high pressure in the hydram and on the check valve that is in excess of the static delivery pressure. The check valve is forced open and pumping takes place until the velocity becomes zero and pumping stops, under the retarding effect of the delivery pressure head.
- D. The delivery valve closes. The pressure near the check valve is much higher than the static supply pressure and the flow is reversed towards the supply source. This action is termed recoil. The recoil action creates a vacuum in the hydram, temporarily forcing a small amount of air to be sucked into the hydram through the air valve. The pressure on the underside of the waste valve is also reduced and together with the effect of its own weight, the waste valve opens automatically. The water in the drive pipe returns to the static supply pressure as before and the next cycle begins. The action is repeated automatically at a frequency of a few beats to over 300 beats per minute.

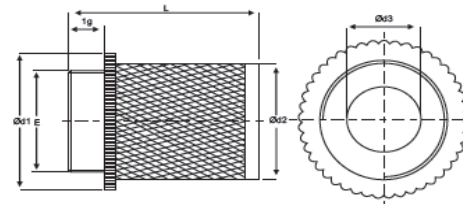
## ANEXO 5: FICHA TÉCNICA – VÁLVULA DE DESCARGA (CHECK)



ISO 9001 Certified

Brass Valves

Stainless Steel Filter (Threaded)



**SPECIFICATION**

Stainless steel screen - nylon moulded bonnet - threaded

**APPLICATION**

Foot valve. Can also be used on air valve to prevent insects and birds from damaging outlet

**FEATURES**

For use with Brass Spring Loaded Check Valve to create a Footvalve

**DIMENSIONS**

Code	SIZE	Ød1	Ød2	Ød3	1g	1
112534	15mm (½")	27	24.0	15.0	8	20.5
112538	20mm (¾")	35	30.6	19.0	8	40.0
112539	25mm (1")	41	37.0	24.0	10	52.0
112543	32mm (1¼")	49	44.0	34.5	10	57.5
112544	40mm (1½")	58	53.0	40.0	11	65.0
112546	50mm (2")	69	63.0	49.0	12	79.0
112547	65mm (2½")	85	78.0	63.0	13	93.0
112548	80mm (3")	96	87.0	78.0	13	108.0
112549	100mm (4")	122	112.0	98.0	14	115.0

**MATERIAL**

NO.	NAME	MATERIAL
1	Bonnet	ABS Plastic
2	Filter	S/S

Brass Spring Loaded Check Valve F x F (Female Threaded Ends)



**SPECIFICATION**

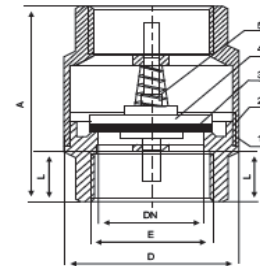
Hot forged brass body - ABS insert

**APPLICATION**

Domestic installations, Municipal, Industrial and water reticulation. Prevents back flow and maintain pump pressure. Can be used as foot valve by adding stainless steel filter.

**FEATURES**

\* Spring loaded for assisted closure and low pressure heads \*  
NBR seat



**DIMENSIONS**

Code	E	A	D	L	L1	SW	DN	TEMP Max	PN BAR
112508	15mm (½")	45.5	33.2	10.0	10.0	25.5	18.0	60°	16
112509	20mm (¾")	48.0	41.7	12.0	11.5	32.0	23.0	60°	16
112516	25mm (1")	53.0	46.7	13.0	12.5	38.0	29.0	60°	16
112517	32mm (1¼")	59.0	58.7	14.5	14.0	46.0	36.0	60°	16
112519	40mm (1½")	68.5	67.5	17.0	16.0	53.0	43.0	60°	16
112524	50mm (2")	78.0	80.0	17.0	17.0	65.0	53.0	60°	16
112528	65mm (2½")	102	96.5	25.0	21.5	80.5	68.0	60°	12
112529	80mm (3")	105	110	25.0	22.0	96.5	75.0	60°	10
112533	100mm (4")	123	143	26.0	24.0	121	103.0	60°	10

**MATERIALS**

NO.	NAME	MATERIAL
1	Body	Brass
2	Bonnet	Brass
3	O Ring	NBR
4	Insert	ABS Plastic
5	Spring	S/S

S/S = Stainless Steel

\*All measurements are in mm

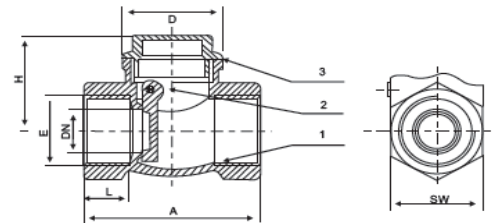
## ANEXO 6: FICHA TÉCNICA – VÁLVULA DE IMPULSO



ISO 9001 Certified

Brass Valves

Brass Swing Type Check Valve with Metal Seat F x F (Female Threaded Ends)



### SPECIFICATION

Hot forged brass body - brass flap - brass bonnet

### APPLICATION

Domestic installations, Municipal, Industrial, Irrigation and Water reticulation

### FEATURES

- \* Metal to metal seat \* Prevents back flow \* Maintain pipes with water head
- \* PN 16 Bar rated operating pressure

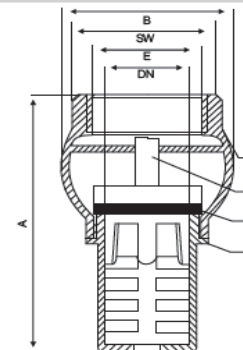
### DIMENSIONS

Code	Size	A	H	D	L	SW	DN	TEMP Max	PN BAR
112489	15mm (½")	47.0	30.5	27.0	12.5	24.5	12.5	90°	16
112493	20mm (¾")	55.5	36.0	31.0	13.0	31.0	17.5	90°	16
112494	25mm (1")	62.0	45.0	40.0	14.0	38.0	22.0	90°	16
112498	32mm (1¼")	72.5	49.0	47.0	14.5	47.0	27.0	90°	16
112499	40mm (1½")	80.5	52.0	52.0	14.0	53.5	30.0	90°	16
112504	50mm (2")	93.5	60.5	63.5	15.0	66.0	42.0	90°	16
112505	65mm (2½")	101.5	70.5	74.0	16.5	83.5	53.5	90°	16
112506	80mm (3")	126.0	80.0	88.0	19.0	96.0	62.0	90°	10
112507	100mm (4")	160.0	103.0	118.0	25.0	123.0	89.0	90°	10

### MATERIAL

NO.	NAME	MATERIAL
1	Body	Brass
2	Flap	Brass
3	Bonnet	Brass

Brass Clack Type Foot Valve, threaded end



### SPECIFICATION

Hot forged brass body - brass insert - NBR liner

### APPLICATION

Borehole, Irrigation and agricultural applications. Prevents debris from entering pipeline and damaging pump

### DIMENSIONS

Code	E	A	L	SW	DN	TEMP Max
112553	25mm (1")	76.5	13	38.0	25.0	60°
112554	32mm (1¼")	85.0	15	47.0	28.5	60°
112556	40mm (1½")	93.0	16	53.5	35.0	60°
112558	50mm (2")	107.0	18	65.5	40.5	60°
112559	65mm (2½")	135.0	22	83.5	49.0	60°
112562	80mm (3")	145.0	25	96.0	58.0	60°
112563	100mm (4")	158.0	28	122.5	68.0	60°

### MATERIALS

NO.	NAME	MATERIAL
1	Body	Brass
2	Strainer	Brass
3	Clack	Brass
4	Seat	NBR

S/S = Stainless Steel

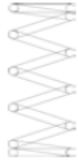
\* All measurements are in mm

5

## ANEXO 7: FICHA TÉCNICA – RESORTE DE COMPRESIÓN

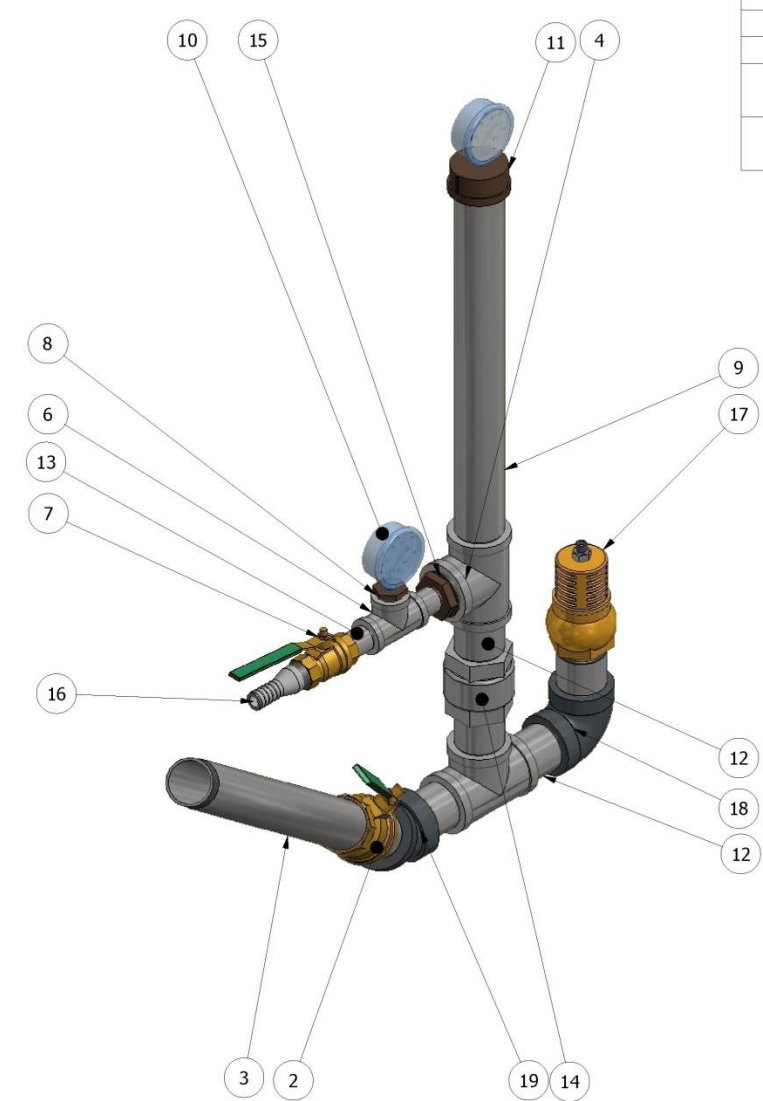
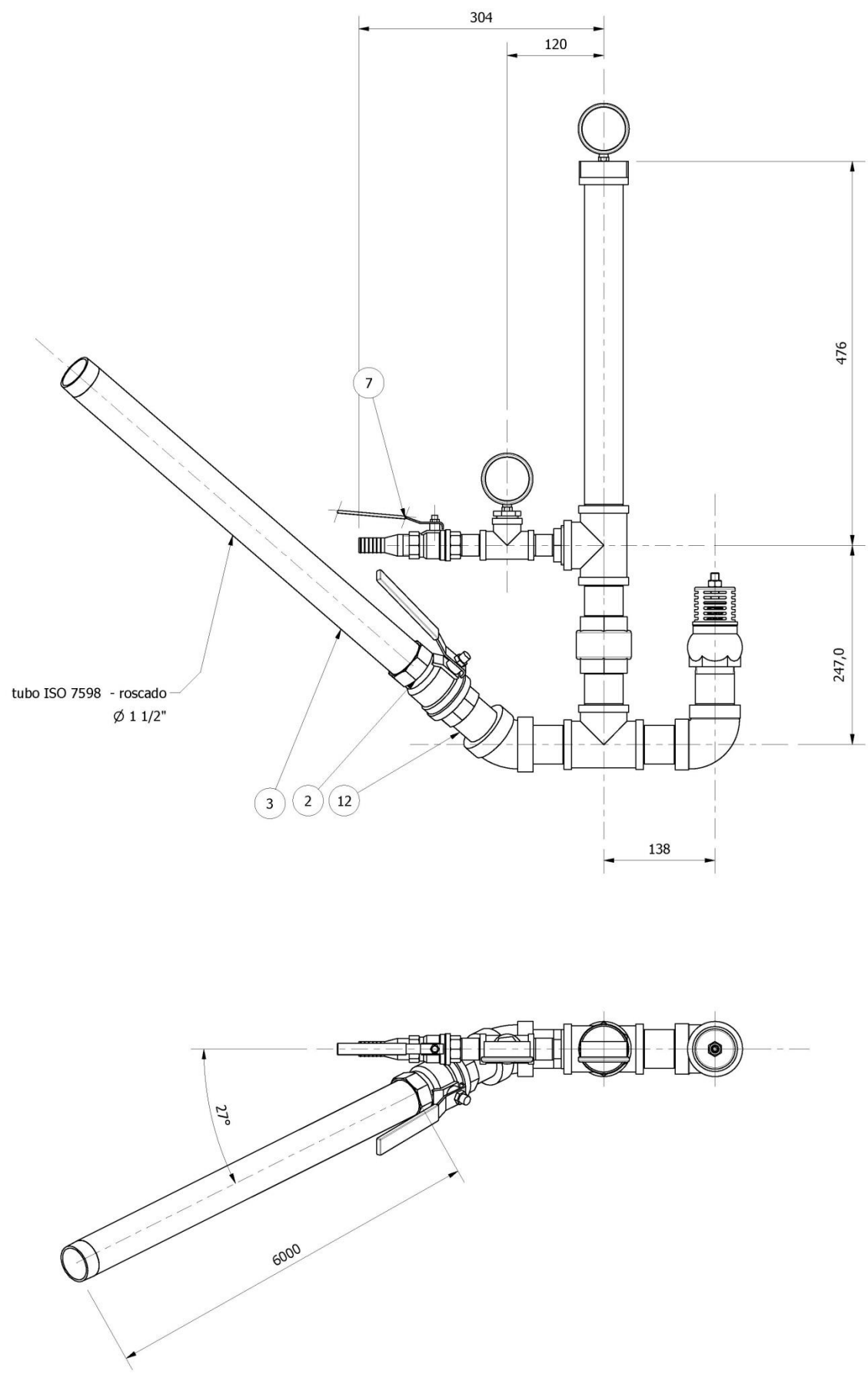
3

### MUELLES COMPRESIÓN



MUELLES COMPRESIÓN					ALAMBRE DE ACERO FOSFATADO EN 10270 - 1 SH - PH					ALAMBRE DE ACERO INOXIDABLE AISI 302 EN 10270 - 3 1.4310 X10CrNi18-8								
D. Ext	Hilo	Largo	Espiras Útiles	Paso	Código	Cód. Tarifa	Constante K DaN/mm	Carga 25% DaN	Carga Máx DaN	Bloque	Código	Cód. Tarifa	Constante K DaN/mm	Carga 25% DaN	Carga Máx DaN	Bloque		
18,00	2,50	55	7,0	7,86	24801	CE	1,5922	21,893	41,25	53,737	21,25	24802	CF	1,4985	20,605	41,25	50,576	21,25
18,00	2,50	60	8,0	7,50	24803	CE	1,3932	20,898	45,00	50,502	23,75	24804	CF	1,3112	19,668	45,00	47,532	23,75
18,00	2,50	65	9,0	7,22	24805	CE	1,2384	20,124	48,75	47,987	26,25	24806	CF	1,1655	18,940	48,75	45,164	26,25
18,00	2,50	70	10,0	7,00	24807	CE	1,1145	19,504	52,50	45,975	28,75	24808	CG	1,0490	18,357	52,50	43,270	28,75
18,00	2,50	75	8,5	8,82	24809	CE	1,3112	24,585	56,25	65,561	25,00	24810	CF	1,2341	23,139	56,25	61,704	25,00
18,00	2,50	80	12,0	6,67	24811	CE	0,9288	18,576	60,00	42,956	33,75	24812	CG	0,8741	17,483	60,00	40,429	33,75
18,00	2,50	90	14,0	6,43	24813	CF	0,7961	17,912	67,50	40,800	38,75	24814	CG	0,7493	16,859	67,50	38,400	38,75
18,00	2,50	95	15,0	6,33	24815	CF	0,7430	17,647	71,25	39,938	41,25	24816	CG	0,6993	16,609	71,25	37,588	41,25
18,00	2,50	100	16,0	6,25	24817	CF	0,6966	17,415	75,00	39,183	43,75	24818	CH	0,6556	16,390	75,00	36,878	43,75
18,00	2,50	500	65,0	7,69	24819	SS	0,1715	21,433	375,00	57,227	166,25	24820	SS	0,1614	20,173	375,00	53,861	166,25
18,00	2,70	22	3,0	7,33	24821	CE	5,2552	28,904	16,50	51,764	12,15	24822	CE	4,9461	27,203	16,50	48,719	12,15
18,00	2,70	26	3,0	8,67	24823	CE	5,2552	34,159	19,50	72,784	12,15	24824	CE	4,9461	32,149	19,50	68,503	12,15
18,00	2,70	30	3,5	8,57	24825	CE	4,5044	33,783	22,50	74,323	13,50	24826	CE	4,2395	31,796	22,50	69,951	13,50
18,00	2,70	38	4,5	8,44	24827	CE	3,5035	33,283	28,50	76,375	16,20	24828	CF	3,2974	31,325	28,50	71,883	16,20
18,00	2,70	40	4,5	8,89	24829	CE	3,5035	35,035	30,00	83,382	16,20	24830	CF	3,2974	32,974	30,00	78,478	16,20
18,00	2,70	45	5,0	9,00	24831	CE	3,1531	35,473	33,75	86,553	17,55	24832	CF	2,9676	33,386	33,75	81,462	17,55
18,00	2,70	50	6,0	8,33	24833	CE	2,6276	32,845	37,50	78,171	20,25	24834	CF	2,4730	30,913	37,50	73,573	20,25
18,00	2,70	55	7,0	7,86	24835	CE	2,2522	30,968	41,25	72,184	22,95	24836	CF	2,1197	29,146	41,25	67,938	22,95
18,00	2,70	60	8,0	7,50	24837	CE	1,9707	29,560	45,00	67,693	25,65	24838	CF	1,8548	27,822	45,00	63,711	25,65
18,00	2,70	65	9,0	7,22	24839	CE	1,7517	28,466	48,75	64,201	28,35	24840	CG	1,6487	26,791	48,75	60,424	28,35
18,00	2,70	70	10,0	7,00	24841	CE	1,5766	27,590	52,50	61,407	31,05	24842	CG	1,4838	25,967	52,50	57,795	31,05
18,00	2,70	75	8,0	9,38	24843	CE	1,9707	36,951	56,25	97,254	25,65	24844	CF	1,8548	34,777	56,25	91,533	25,65
18,00	2,70	80	12,0	6,67	24845	CF	1,3138	26,276	60,00	57,216	36,45	24846	CG	1,2365	24,730	60,00	53,850	36,45
18,00	2,70	90	14,0	6,43	24847	CF	1,1261	25,338	67,50	54,222	41,85	24848	CH	1,0599	23,847	67,50	51,033	41,85
18,00	2,70	95	15,0	6,33	24849	CF	1,0510	24,962	71,25	53,025	44,55	24850	CH	0,9892	23,494	71,25	49,906	44,55
18,00	2,70	100	16,0	6,25	24851	CF	0,9853	24,634	75,00	51,977	47,25	24852	CH	0,9274	23,185	75,00	48,920	47,25
18,00	2,70	500	60,0	8,33	24853	SS	0,2628	32,845	375,00	87,749	166,05	24854	SS	0,2473	30,913	375,00	82,587	166,05
18,00	3,00	26	3,0	8,67	24855	CE	8,5000	55,250	19,50	106,250	13,50	24856	CF	8,0000	52,000	19,50	100,000	13,50
18,00	3,00	30	3,5	8,57	24857	CE	7,2857	54,643	22,50	109,286	15,00	24858	CF	6,8571	51,429	22,50	102,857	15,00
18,00	3,00	38	4,5	8,44	24859	CE	5,6667	53,833	28,50	113,333	18,00	24860	CF	5,3333	50,667	28,50	106,667	18,00
18,00	3,00	40	4,5	8,89	24861	CE	5,6667	56,667	30,00	124,667	18,00	24862	CF	5,3333	53,333	30,00	117,333	18,00
18,00	3,00	45	5,0	9,00	24863	CE	5,1000	57,375	33,75	130,500	19,50	24864	CF	4,8000	54,000	33,75	122,400	19,50
18,00	3,00	50	5,5	9,09	24865	CE	4,6364	57,955	37,50	134,455	21,00	24866	CF	4,3636	54,545	37,50	126,545	21,00
18,00	3,00	55	6,0	9,17	24867	CE	4,2500	58,438	41,25	138,125	22,50	24868	CF	4,0000	55,000	41,25	130,000	22,50
18,00	3,00	60	6,5	9,23	24869	CE	3,9231	58,846	45,00	141,231	24,00	24870	CF	3,6923	55,385	45,00	132,923	24,00
18,00	3,00	65	7,0	9,29	24871	CE	3,6429	59,196	48,75	143,893	25,50	24872	CG	3,4286	55,714	48,75	135,429	25,50
18,00	3,00	70	8,0	8,75	24873	CE	3,1875	55,781	52,50	132,281	28,50	24874	CG	3,0000	52,500	52,50	124,500	28,50
18,00	3,00	75	9,0	8,33	24875	CE	2,8333	53,125	56,25	123,250	31,50	24876	CG	2,6667	50,000	56,25	116,000	31,50
18,00	3,00	80	10,0	8,00	24877	CF	2,5500	51,000	60,00	116,025	34,50	24878	CG	2,4000	48,000	60,00	109,200	34,50
18,00	3,00	500	60,0	8,33	24879	SS	0,4250	53,125	375,00	134,088	184,50	24880	SS	0,4000	50,000	375,00	126,200	184,50
20,00	1,40	22	3,0	7,33	24881	CA	0,2114	1,163	16,50	3,320	6,30	24882	CA	0,1990	1,094	16,50	3,124	6,30
20,00	1,40	26	3,0	8,67	24883	CA	0,2114	1,374	19,50	4,165	6,30	24884	CA	0,1990	1,293	19,50	3,920	6,30
20,00	1,40	30	3,5	8,57	24885	CA	0,1812	1,359	22,50	4,168	7,00	24886	CA	0,1706	1,279	22,50	3,923	7,00
20,00	1,40	38	4,5	8,44	24887	CA	0,1410	1,339	28,50	4,172	8,40	24888	CA	0,1327	1,260	28,50	3,927	8,40
20,00	1,40	40	5,0	8,00	24889	CA	0,1269	1,269	30,00	3,920	9,10	24890	CA	0,1194	1,194	30,00	3,689	9,10
20,00	1,40	45	6,0	7,50	24891	CA	0,1057	1,189	33,75	3,647	10,50	24892	CA	0,0995	1,119	33,75	3,433	10,50
20,00	1,40	50	7,0	7,14	24893	CA	0,0906	1,133	37,50	3,452	11,90	24894	CA	0,0853	1,066	37,50	3,249	11,90
20,00	1,40	55	8,0	6,88	24895	CA	0,0793	1,090	41,25	3,306	13,30	24896	CB	0,0746	1,026	41,25	3,112	13,30
20,00	1,40	60	9,0	6,67	24897	CA	0,0705	1,057	45,00	3,193	14,70	24898	CB	0,0663	0,995	45,00	3,005	14,70
20,00	1,40	65	10,0	6,50	24899	CA	0,0634	1,031	48,75	3,102	16,10	24900	CB	0,0597	0,970	48,75	2,919	16,10
20,00	1,40	70	11,0	6,36	24901	CA	0,0577	1,009	52,50	3,027	17,50	24902	CB	0,0543	0,950	52,50	2,849	17,50
20,00	1,40	75	9,0	8,33	24903	CA	0,0705	1,321	56,25	4,250	14,70	24904	CB	0,0663	1,244	56,25	4,000	14,70
20,00	1,40	80	13,0	6,15	24905	CA	0,0488	0,976	60,00	2,913	20,30	24906	CB	0,0459	0,918	60,00	2,742	20,30
20,00	1,40	90	15,0	6,00	24907	CA	0,0423	0,951	67,50	2,829	23,10	24908	CB	0,0398	0,895	67,50	2,663	23,10
20,00	1,40	95	16,0	5,94	24909	CA	0,0396	0,942	71,25	2,795	24,50	24910	CB	0,0373	0,886	71,25	2,631	24,50
20,00	1,40	500	65,0	7,69	24911	SS	0,0098	1,220	375,00	3,971	93,10	24912	SS	0,0092	1,148	375,00	3,737	93,10
20,00	1,50	22	3,0	7,33	24913	CA	0,2832	1,557	16,50	4,318	6,75	24914	CA	0,2665	1,466	16,50	4,064	6,75
20,00	1,50	26	3,0	8,67	24915	CA	0,2832	1,841	19,50	5,451	6,75	24916	CA	0,2665	1,732	19,50	5,130	6,75
20,00	1,50	30	3,5	8,57	24917	CA	0,2427	1,820	22,50	5,461	7,50	24918	CA	0,2284	1,713	22,50	5,140	7,50
20,00	1,50	38	4,5	8,44	24919	CA	0,1888	1,793	28,50	5,475	9,00	24920	CA	0,1777	1,688	28,50	5,153	9,00
20,00	1,50	40	5,0	8,00	24921	CA	0,1699	1,699	30,00	5,140	9,75	24922	CA	0,1599	1,599	30,00	4,837	9,75
20,00	1,50	45	6,0	7,50	24923	CA	0,1416	1,593	33,75	4,779	11,25	24924	CA	0,1333	1,499	33,75	4,498	11,25
20,00	1,50	50	7,0	7,14	24925	CA	0,1214	1,517	37,50	4,521	12,75	24926	CB	0,1142	1,428	37,50	4,255	12,75
20,00	1,50	55																





PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
2	1	Parker Brass Ball Valve XV520P XV520P-24	Brass Ball Valve
3	6000.000 mm	ISO 7598 Tube with Threaded Ends DN40 - 6000 - 1 1/2	Stainless steel tubes suitable for screwing in accordance with ISO7-1
4	2	ASME B16.3 Tee - Class 150 1 1/2	Malleable Iron Threaded Fittings Tee - Class 150
6	1	ASME B16.3 Tee - Class 150 3/4	Malleable Iron Threaded Fittings Tee - Class 150
7	1	Parker Brass Ball Valve XV520P XV520P-12	Brass Ball Valve
8	1	ANSI/ASME B16.15 Outside Head Bushing - Class 250 3/4 x 1/4	Cast Bronze Threaded Outside Head Bushing - Class 250
9	440.000 mm	ISO 7598 Tube with Threaded Ends DN40 - 440	Stainless steel tubes suitable for screwing in accordance with ISO7-1
10	2	manometro	
11	1	ANSI/ASME B16.15 Cast Cap Type 1 - Class 125 1 1/2	Cast Bronze Threaded Cap Type 1 - Class 125
12	6	JIS B 2302 Long Nipple 1 1/2 x 75	Nipple
13	2	JIS B 2302 Long Nipple 3/4 x 50	Nipple
14	1	JIS B 2051 Screwed Lift Check Valve - 10K 1 1/2	Lift Check Valve
15	1	ANSI/ASME B16.15 Inside Head Bushing - Class 250 1 1/2 x 3/4	Cast Bronze Threaded Inside Head Bushing - Class 250
16	1	reductor espiga	
17	1	Brass Clack Type Foot Valve	
18	1	ASME B16.4 90 Deg Elbow - Class 125 1 1/2	Elbow
19	1	ASME B16.4 45 Deg Elbow - Class 125 1 1/2	Elbow

PROYECTO: BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO

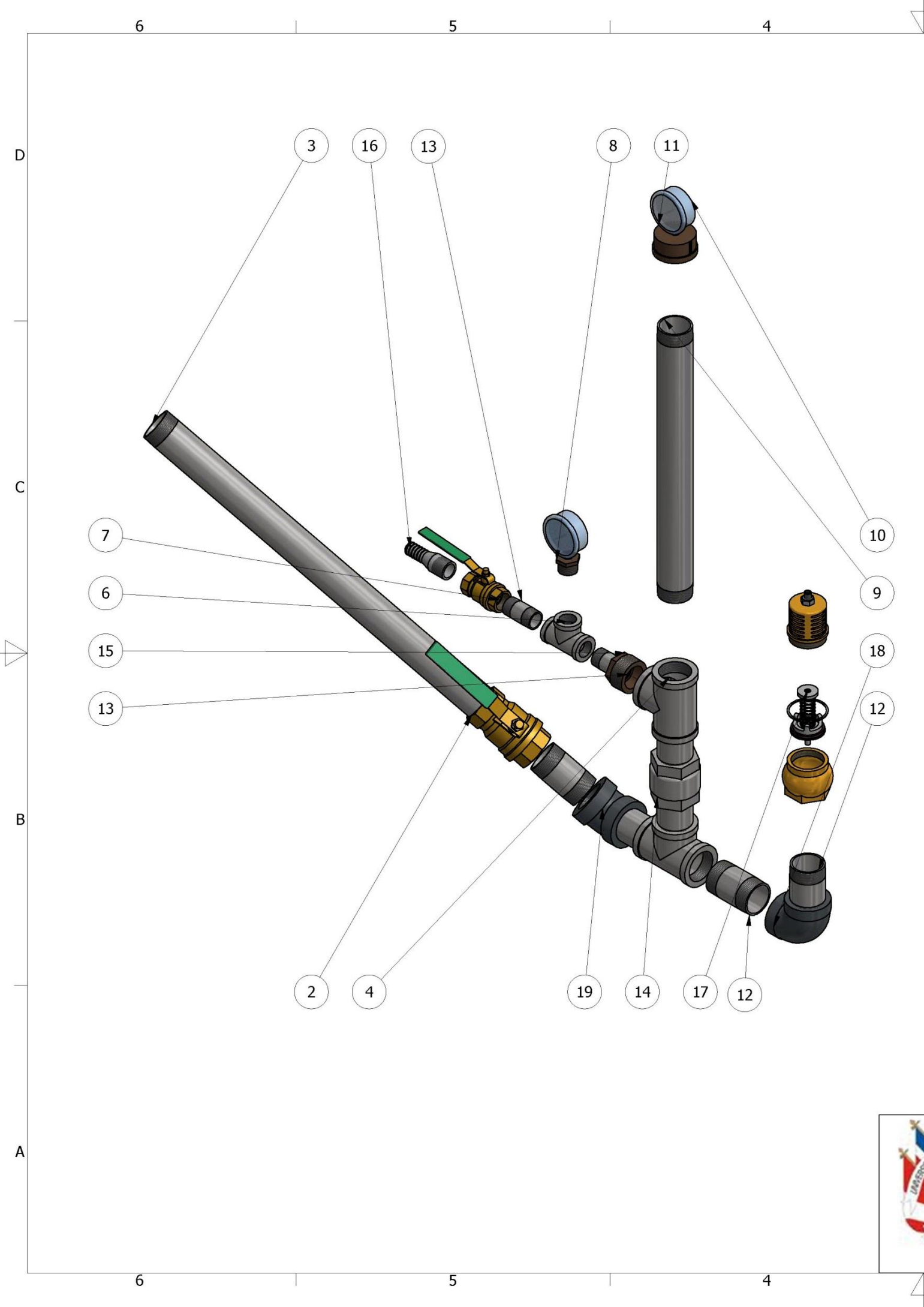
REALIZADO POR: Eduardo Gonzales Alayza

PLANO: VISTAS GENERALES – ISOMETRICO

PROYECCION: ESCALA: 1 / 5 FECHA: 19/11/2015 FORMATO: A2

LAMINA:

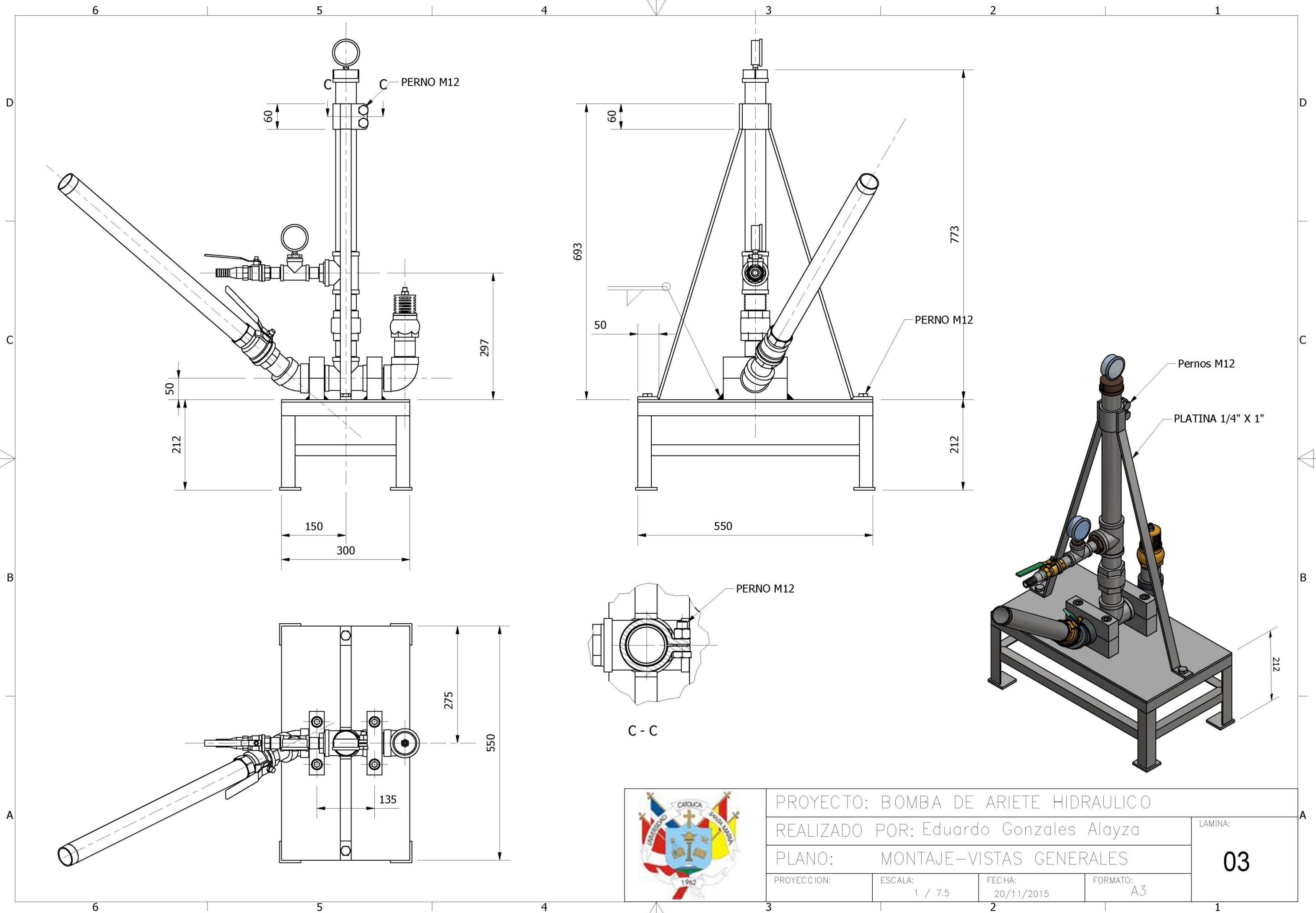
01



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
2	1	Parker Brass Ball Valve XV520P XV520P-24	Brass Ball Valve
3	6000.000 mm	ISO 7598 Tube with Threaded Ends DN40 - 6000 - 1 1/2	Stainless steel tubes suitable for screwing in accordance with ISO7-1
4	2	ASME B16.3 Tee - Class 150 1 1/2	Malleable Iron Threaded Fittings Tee - Class 150
6	1	ASME B16.3 Tee - Class 150 3/4	Malleable Iron Threaded Fittings Tee - Class 150
7	1	Parker Brass Ball Valve XV520P XV520P-12	Brass Ball Valve
8	1	ANSI/ASME B16.15 Outside Head Bushing - Class 250 3/4 x 1/4	Cast Bronze Threaded Outside Head Bushing - Class 250
9	440.000 mm	ISO 7598 Tube with Threaded Ends DN40 - 440	Stainless steel tubes suitable for screwing in accordance with ISO7-1
10	2	manometro	
11	1	ANSI/ASME B16.15 Cast Cap Type 1 - Class 125 1 1/2	Cast Bronze Threaded Cap Type 1 - Class 125
12	6	JIS B 2302 Long Nipple 1 1/2 x 75	Nipple
13	2	JIS B 2302 Long Nipple 3/4 x 50	Nipple
14	1	JIS B 2051 Screwed Lift Check Valve - 10K 1 1/2	Lift Check Valve
15	1	ANSI/ASME B16.15 Inside Head Bushing - Class 250 1 1/2 x 3/4	Cast Bronze Threaded Inside Head Bushing - Class 250
16	1	reductor espiga	
17	1	Brass Clack Type Foot Valve	
18	1	ASME B16.4 90 Deg Elbow - Class 125 1 1/2	Elbow
19	1	ASME B16.4 45 Deg Elbow - Class 125 1 1/2	Elbow



PROYECTO: BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO  
 REALIZADO POR: Eduardo Gonzales Alayza  
 PLANO: EXPLOSION  
 PROYECCION: ESCALA: 1 / 7 FECHA: 19/11/2015 FORMATO: A3  
 LAMINA: 02



PROYECTO: BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO

REALIZADO POR: Eduardo Gonzales Alayza

PLANO: MONTAJE-VISTAS GENERALES

PROYECCION:

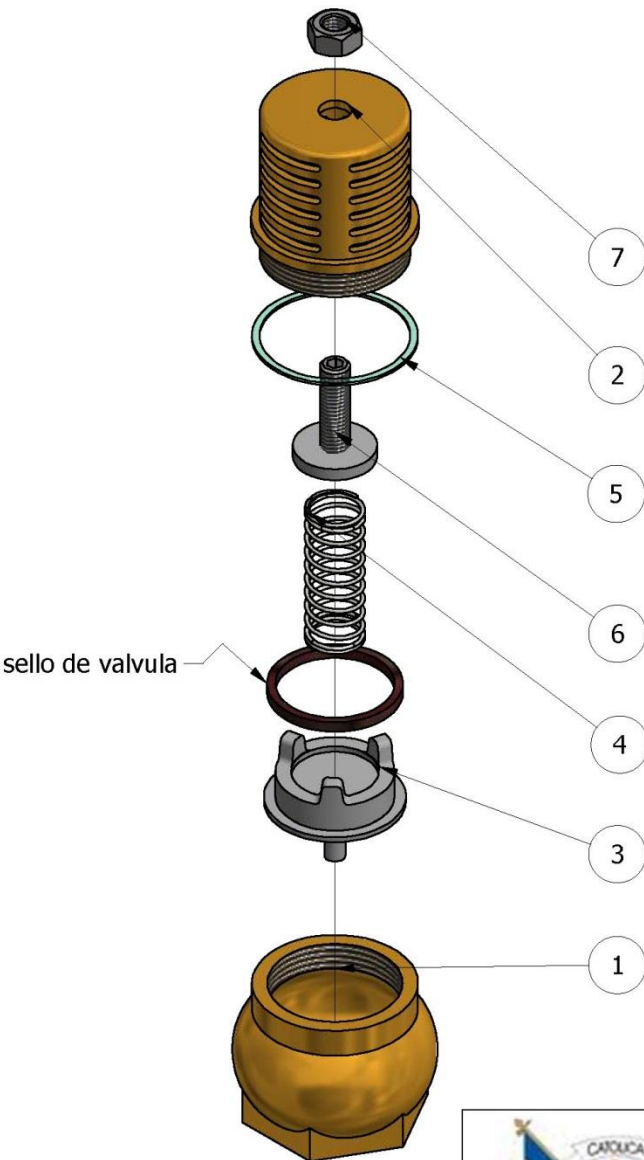
ESCALA: 1 / 7.5

FECHA: 20/11/2015

FORMATO: A3

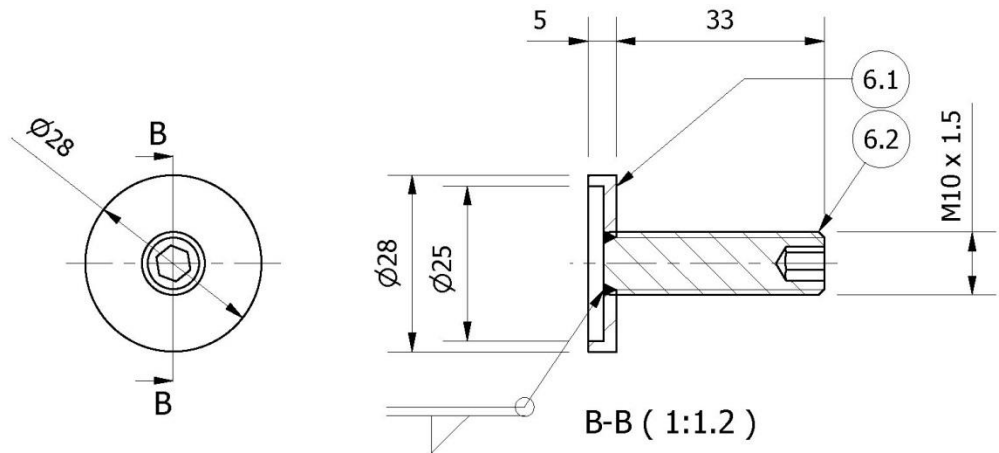
LAMINA:

03



VALVULA DE IMPULSION

PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Brass Clack Type Foot Valve.	
2	1	tapa de valvula	
3	1	disco de valvula	
4	1	resorte N° 24900-10 espiras	20x1.4x65-INOX
5	1	reten	
6	1	regulador	perno M10
7	1	ISO 4032 - M10	Hex Nut



ITEM 06			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
6.1	1	tapa	Sae 1020
6.2	1	DIN 913 - M10 x 35	Hexagon Socket Set Screw



PROYECTO: BOMBA DE ARIETE DIDRAULICO

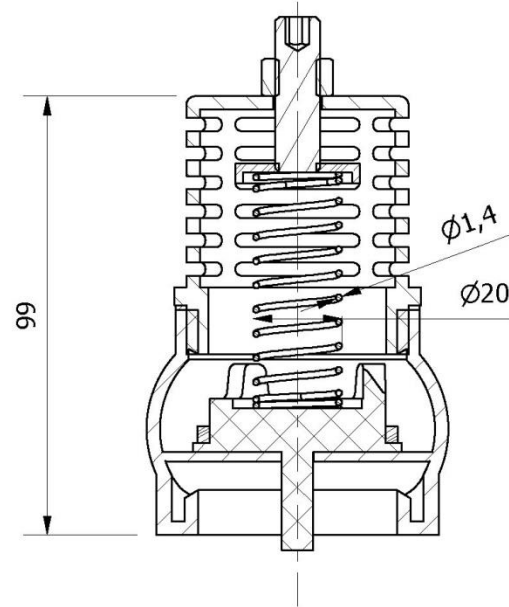
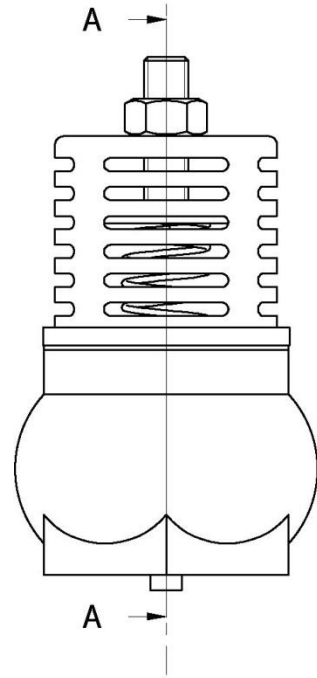
REALIZADO POR: Eduardo Gonzales Alayza

PLANO: Explosión-Valvula de impulsión

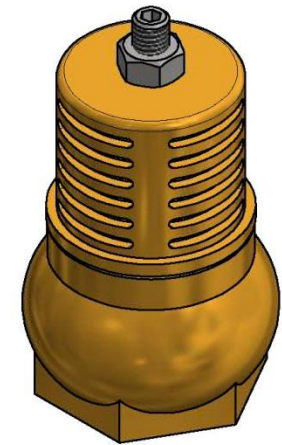
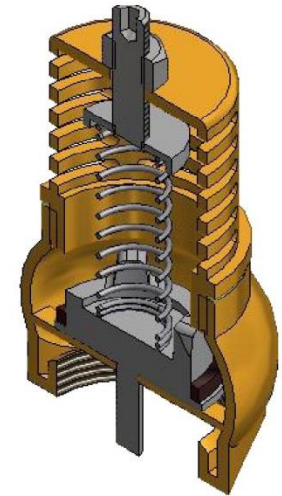
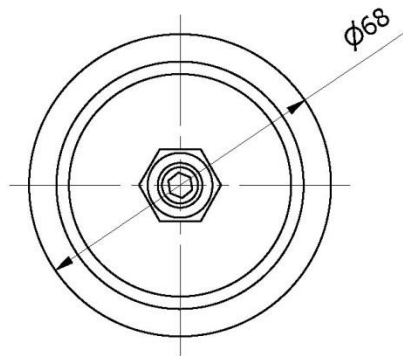
PROYECCION:	ESCALA: 1:2.5	FECHA: 17/11/2015	FORMATO: A4
-------------	------------------	----------------------	----------------

LAMINA:

04



A-A ( 1 : 1.7 )



VALVULA DE IMPULSION



PROYECTO: BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO

REALIZADO POR: Eduardo Gonzales Alayza

PLANO: VALVULA DE IMPULSION

PROYECCION:

ESCALA:

1 : 1.7

FECHA:

16/11/2015

FORMATO:

A4

LAMINA:

05