



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

TESIS DE GRADO

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ARIETE
HIDRÁULICO DE AGUAS BRAVAS COMO UN
SISTEMA ECONÓMICO Y EFICIENTE PARA EL
BOMBEO DE AGUA”

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO
EN ELECTROMECÁNICA

AUTORES:

ALEX FERNANDO GÁLVEZ ÁLVAREZ
JOEL GUILLERMO MOSQUERA ROMERO

DIRECTOR:

ING. MANUEL IGNACIO AYALA CHAUVÍN

LOJA – ECUADOR

2009

CERTIFICACIÓN

Ing. Manuel Ignacio Ayala Chauvín

DOCENTE DEL ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

CERTIFICA:

Haber asesorado y revisado durante todo el desarrollo, la Tesis titulada: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ARIETE HIDRÁULICO DE AGUAS BRAVAS COMO UN SISTEMA ECONÓMICO Y EFICIENTE PARA EL BOMBEO DE AGUA”**, elaborada por los egresados Alex Fernando Gálvez Álvarez y Joel Guillermo Mosquera Romero, previo a la obtención del grado de Ingenieros en Electromecánica.

En tal virtud cumple los requisitos que exigen las normas de graduación de esta Institución, por lo expuesto autorizo su presentación y defensa.

Loja, junio del 2009

Ing. Manuel Ignacio Ayala Chauvín

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

El contenido, criterios, ideas y conceptos, así como conclusiones y recomendaciones desarrollados dentro de este trabajo de tesis son de exclusiva responsabilidad de los autores.

.....
Alex Fernando Gálvez Álvarez

.....
Joel Guillermo Mosquera Romero

AGRADECIMIENTO

Hacemos extensivo nuestro agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, al Área de Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables y a todas aquellas personas que han colaborado desinteresadamente, de manera especial al Ing. Manuel Ayala, Director de Tesis, destacado docente de la carrera de Ingeniería en Electromecánica, por su apoyo intelectual en el desarrollo de la presente investigación.

Al encargado del taller mecánico el tecnólogo Diógenes Bustán por habernos asistido en la construcción de la máquina, y así mismo nuestra gratitud a los docentes de la carrera de Electromecánica quienes impartieron sus conocimientos para nuestra formación profesional.

DEDICATORIA

*A Dios, por darme la vida,
a mis padres por su amor y ejemplo de sacrificio y superación,
a mi esposa por darme su apoyo y cariño verdadero,
a mi hijo, quien es la inspiración para seguir adelante,
a mis hermanos, por brindarme su apoyo y cariño,
a mi compañero de estudio por su amistad y comprensión.
a todos aquellos que hicieron posible la realización de la presente investigación.*

ALEX

*A Dios que es mi guía
a mi madrecita que con un inmenso amor ha forjado en mí el bien,
a mi padre por el incondicional apoyo y cariño,
a mi hermano por su absoluta confianza en mí,
a mi esposa por su amor desinteresado,
a mi futuro hijo(a) que sin duda será la razón de mi vida,
a mi compañero de tesis y a todos que hicieron posible este proyecto.*

JOEL

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DEDICATORIA.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xvi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. METODOLOGÍA.....	4
3. MARCO TEÓRICO.....	6
CAPITULO I	
HIDRÁULICA Y GENERALIDADES DEL ARIETE DE AGUAS	
BRAVAS.....	6
1.1 INTRODUCCIÓN.....	6
1.2 LA HIDRÁULICA Y SU APLICACIÓN.....	7
1.3 CLASIFICACIÓN DE LA HIDRÁULICA.....	7
1.3.1. Hidrostática.....	7
1.3.2. Hidrodinámica.....	8
1.4 EL AGUA.....	8
1.4.1. Estados del agua.....	8
1.5 EL GOLPE DE ARIETE.....	9
1.6 EL ARIETE HIDRÁULICO.....	10
1.6.1. Principio fundamental del ariete.....	10
1.6.2. Esquema y descripción de una instalación de ariete.....	14
1.6.2.1. Captación de fuente.....	14
1.6.2.2. Colector de fuente.....	15
1.6.2.3. El Pozo de extracción.....	16

1.6.2.4. El conducto de impulsión.....	17
1.6.2.5. Conducto vertical.....	18
1.6.2.6. Tanque elevado.....	19
1.7 DISTINTAS FORMAS CONSTRUCTIVAS DEL ARIETE.....	20
1.8 BOMBAS HIDRÁULICAS.....	21
1.8.1 Clasificación.....	22
1.9 BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.....	23
1.10 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE MEMBRANA	23
1.11 ESQUEMA E INSTALACIÓN DE UNA BOMBA DE MEMBRANA.....	24
1.12 TIPOS DE BOMBAS DE MEMBRANA.....	24
1.13 ARIETE DE AGUAS BRAVAS.....	25

CAPITULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO Y MECÁNICO DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS.....

2.1 INTRODUCCIÓN.....	26
2.2 ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE LA HIDROSTÁTICA.....	26
2.3 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS.....	27
2.3.1. Densidad.....	27
2.3.2. Viscosidad.....	28
2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS FLUIDOS.....	29
2.5 RÉGIMENES DE CORRIENTES DE LÍQUIDO EN LOS TUBOS.....	30
2.5.1. Régimen laminar.....	30
2.5.2. Régimen turbulento.....	32
2.5.3. Número de Reynolds.....	33
2.6 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA O PÉRDIDA DE CARGA.....	34
2.6.1. Pérdidas primarias o por fricción en tuberías.....	34
2.6.2. Pérdidas secundarias o locales.....	36
2.7 CÁLCULO DE PÉRDIDAS INERCIALES.....	38
2.8 PÉRDIDAS HIDRÁULICAS EN LA TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN. ECUACIÓN DE BERNOULLI.....	39
2.9 PRESIÓN TOTAL.....	40
2.10 CAUDAL CIRCULANTE POR UNA TUBERÍA.....	40
2.11 DIÁMETRO DE LA TUBERÍA.....	41
2.12 CÁLCULO DEL GOLPE DE ARIETE.....	42
2.12.1 Golpe de ariete en un sistema central-embalse.....	43

2.12.2	Condiciones para el análisis descriptivo del fenómeno.....	43
2.12.3	Análisis cualitativo del fenómeno.....	44
2.12.4	Cálculo de la celeridad del proceso.....	46
2.12.5	Tiempo de cierre de la válvula.....	46
2.12.6	El pulso de Joukowski (Zhukovski).....	47
2.13	FUERZAS HIDRÁULICAS SOBRE LA VÁLVULA DE IMPULSO.....	48
2.13.1	Pérdida hidráulica en la válvula.....	50
2.14	PRESIÓN MÁXIMA Y MÍNIMA DE LA INSTALACIÓN.....	50
2.15	PRESIÓN EN LA CÁMARA DE AIRE.....	50
2.16	ECUACIÓN DE LAPLACE PARA LA PARTE ESFÉRICA Y CILÍNDRICA DE LA CÁMARA DE AIRE.....	51
2.17	CONDICIONES DE RESISTENCIA AL CORTANTE DE LA VÁLVULA DE IMPULSIÓN.....	54
2.18	CÁLCULO DEL NÚMERO DE PERNOS.....	54
2.19	ECUACIÓN DE CONTINUIDAD APLICADA A LAS BOMBAS DE DIAFRAGMA.....	55
2.20	ALTURA DE DESCARGA DE LA BOMBA.....	56
2.21	POTENCIA ABSORBIDA POR EL ARIETE MOTRIZ.....	56
2.22	POTENCIA ENTREGADA POR LA BOMBA DE MEMBRANA.....	57
2.23	FUERZA EJERCIDA SOBRE LA MEMBRANA.....	58
2.24	METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA EFICIENCIA DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS.....	58
4.	EVALUACIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN	59
4.1.	EVALUACIÓN CUALITATIVA Y CUANTITATIVA.....	59
4.1.1.	Instrucciones para el dimensionado de una instalación de ariete.....	59
4.1.2.	Condiciones ideales para un funcionamiento seguro del ariete.....	59
4.1.3.	Puesta en marcha de un ariete.....	60
4.1.4.	Ejemplo de un ariete de aguas bravas en Elmsteiner Tal.....	61
4.2.	DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS	62
5.	DESARROLLO DE LA PROPUESTA ALTERNATIVA	63
5.1	INTRODUCCIÓN.....	63
5.2	DISEÑO DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS.....	63
5.2.1	CÁLCULO HIDRÁULICO DEL ARIETE.....	63
5.2.1.1	Cálculo de la longitud de la tubería de impulsión.....	64

5.2.1.2	Determinación del tipo de régimen.....	64
5.2.1.3	Cálculo de pérdidas primarias en la tubería de alimentación.....	65
5.2.1.4	Cálculo del caudal circulante en la tubería.....	65
5.2.1.5	Cálculo del diámetro del conducto de fuente Cf.....	66
5.2.1.6	Dimensión del tanque de alimentación.....	66
5.2.1.7	Cálculo de pérdidas secundarias o locales en el ariete.....	67
5.2.1.8	Cálculo de las pérdidas hidráulicas en la tubería de alimentación.....	69
5.2.1.9	Cálculo del caudal necesario para alimentar al ariete.....	69
5.2.1.10	Cálculo del área y diámetro de salida de la válvula de impulsión.....	70
5.2.1.11	Cálculo de la velocidad en la salida de la válvula de impulsión.....	71
5.2.1.12	Cálculo de la presión dinámica en la válvula.....	71
5.2.1.13	Cálculo de la celeridad de la onda de presión.....	72
5.2.1.14	Tiempo de cierre de la válvula.....	72
5.2.1.15	Cálculo del pulso de Joukowsky (Zhukovski).....	72
5.2.1.16	Cálculo de la presión máxima y mínima en la cámara de impulsión.....	73
5.2.1.17	Cálculo de las fuerzas hidráulicas sobre la válvula de impulsión.....	73
5.2.2	CÁLCULO HIDRÁULICO EN LA BOMBA DE MEMBRANA.....	74
5.2.2.1	Cálculo del volumen de oscilación de la membrana elástica (descarga).....	74
5.2.2.2	Cálculo del régimen de trabajo.....	74
5.2.2.3	Cálculo de las pérdidas primarias en el conducto de succión.....	75
5.2.2.4	Cálculo de las pérdidas primarias en el conducto de descarga.....	76
5.2.2.5	Cálculo de pérdidas locales en la succión y descarga.....	77
5.2.2.6	Cálculo de pérdidas inerciales en el conducto de descarga.....	77
5.2.2.7	Cálculo de las pérdidas totales del sistema.....	78
5.2.3	CÁLCULO HIDRÁULICO EN LA CÁMARA DE AIRE.....	78
5.2.3.1	Volumen total de la cámara de aire.....	78
5.2.3.2	Volumen total de la cámara de aire cuando contiene agua.....	79
5.2.3.3	Volumen de agua dentro de la cámara de aire.....	79
5.2.3.4	Cálculo del volumen en la cámara de aire durante la succión.....	79
5.2.3.5	Cálculo del volumen en la cámara de aire durante la descarga.....	80
5.2.3.6	Presión en la cámara de aire antes del choque hidráulico.....	80
5.2.3.7	Cálculo de la presión 2 en la cámara de aire (durante el choque hidráulico).....	80
5.2.4	POTENCIA ABSORBIDA POR EL ARIETE MOTRIZ.....	81
5.2.5	POTENCIA ENTREGADA POR LA BOMBA DE MEMBRANA.....	82
5.2.6	CÁLCULO DE LA PRESIÓN QUE EJERCE LA TUBERÍA DE DESCARGA.....	83

5.2.7	CÁLCULO DE LA ALTURA DESARROLLADA POR LA BOMBA.....	84
5.2.8	CÁLCULO MECÁNICO DEL ARIETE.....	84
5.2.8.1	Cálculo de resistencia al cortante de la válvula de impulsión.....	84
5.2.8.2	Cálculo del espesor de la parte cilíndrica de la cámara de aire.....	86
5.2.8.3	Cálculo del espesor de la parte esférica de la cámara de aire.....	86
5.2.8.4	Cálculo del número de pernos en la cámara de aire.....	86
5.3	CONSTRUCCIÓN DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	87
5.3.1	DIBUJO TÉCNICO Y HOJAS DE PROCESO DE MECANIZADO.....	87
5.3.2	CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	87
5.4	CURVA DE FUNCIONAMIENTO DEL ARIETE HIDRÁULICO Y DE LA BOMBA DE MEMBRANA.....	89
5.4.1	DATOS DEL BANCO DE PRUEBAS. CURVA DE LA BOMBA.....	90
5.4.2	CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS.....	91
5.5	SIMULACIÓN HIDRÁULICA Y ANÁLISIS DE RESISTENCIA DE MATERIALES DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS.....	95
5.5.1	SIMULACIÓN HIDRÁULICA.....	95
5.5.1.1	DYAGATS.....	95
5.5.1.2	Simulación del pulso de Joukovsky en la instalación del ariete de aguas bravas.....	96
5.5.2	ANÁLISIS RESISTENCIA DE MATERIALES DE LOS ELEMENTOS DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS EN COSMOSDesignSTAR 4.5.....	97
6.	VALORACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA.....	99
6.1	ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO.....	99
6.2	IMPACTO AMBIENTAL.....	102
7.	CONCLUSIONES.....	103
8.	RECOMENDACIONES.....	104
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	105
10.	ANEXOS.....	108

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

HIDRÁULICA Y GENERALIDADES DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS

Figura 1.1	Elementos componentes del ariete hidráulico.....	11
Figura 1.2	Válvula de purga de aire.....	12
Figura 1.3	Válvula de choque y su soporte.....	12
Figura 1.4	Válvula de retención.....	13
Figura 1.5	Válvula de impulsión.....	13
Figura 1.6	Esquema de funcionamiento de una instalación de ariete.....	14
Figura 1.7	Captación de fuente.....	15
Figura 1.8	Colector de fuente con tapa contra ranas.....	16
Figura 1.9	Pozo de extracción (caso ideal).....	17
Figura 1.10	Conducto de impulsión (caso ideal).....	18
Figura 1.11	Tanque elevado.....	19
Figura 1.12	Ariete hidráulico multipulsor AHM CITA 6-L3V.....	20
Figura 1.13	Ariete hidráulico multipulsor AH-4(IMPAG).....	21
Figura 1.14	Bomba de membrana accionada por una leva.....	23
Figura 1.15	Esquema de instalación de una bomba de membrana.....	24

CAPITULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO Y MECÁNICO DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS

Figura 2.1	Para la deducción de la ecuación fundamental de la hidrostática.....	26
Figura 2.2	Velocidad en una tubería.....	28
Figura 2.3	Esquema para ilustrar la teoría de la corriente laminar en un tubo.....	30
Figura 2.4	Régimen turbulento.....	32
Figura 2.5	Distribución de la velocidad en los regímenes laminar y turbulento.....	34
Figura 2.6	Capa laminar cerca de la pared del tubo.....	34
Figura 2.7	Ensanchamiento brusco y suave.....	37
Figura 2.8	Contracción brusca y suave.....	37
Figura 2.9	Válvula de pie con alcachofa.....	38
Figura 2.10	Esquema embalse-válvula.....	43
Figura 2.11	Ley lineal de cierre de una válvula.....	44
Figura 2.12	Volumen de control en la válvula.....	45
Figura 2.13	Fuerzas sobre la válvula.....	49

Figura 2.14	Bóveda esférica.....	52
Figura 2.15	Recipiente cilíndrico.....	52
Figura 2.16	Ecuación de la Ley de Continuidad.....	55
Figura 2.17	Desplazamiento en la tubería.....	56
Figura 2.18	Desplazamiento de la partícula.....	57
Figura 2.19	Fuerza que ejerce la Bomba sobre el líquido.....	58

4. EVALUACIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN

Figura 4.1	Ariete de aguas bravas en Elmsteiner Tal.....	61
Figura 4.2	Esquema de instalación del ariete de aguas bravas.....	62

5. DESARROLLO DE LA PROPUESTA ALTERNATIVA

Figura 5.1	Dimensiones de la instalación de ariete.....	63
Figura 5.2	Dimensiones de la tubería de impulsión	64
Figura 5.3	Conducto de fuente.....	66
Figura 5.4	Tanque de alimentación.....	67
Figura 5.5	Pérdidas secundarias de la instalación de ariete.....	68
Figura 5.6	Área de salida de la válvula de impulsión.....	71
Figura 5.7	Pérdidas primarias y secundarias de la instalación de bomba.....	76
Figura 5.8	Dimensiones de la cámara de aire.....	78
Figura 5.9	Cámara de aire con agua.....	79
Figura 5.10	Presión en la cámara de aire.....	80
Figura 5.11	Desplazamiento en la tubería de impulsión	81
Figura 5.12	Desplazamiento del líquido desde la bomba hasta el tanque elevado	82
Figura 5.13	Fuerza que ejerce la Bomba sobre el líquido.....	83
Figura 5.14	Válvula de impulsión.....	85
Figura 5.15	Elementos del ariete de aguas bravas.....	88
Figura 5.16	Instalación experimental y funcionamiento del ariete de aguas bravas.....	88
Figura 5.17	Esquema de funcionamiento del ariete hidráulico y bomba de diafragma..	89
Figura 5.18	Curva de funcionamiento del ariete y de la bomba de membrana.....	90
Figura 5.19	Ariete de aguas bravas. Curva de la bomba.....	94
Figura 5.20	Simulación del pulso de Joukovsky.....	96

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A:	Curva, dimensiones y especificaciones de la bomba de membrana	109
ANEXO B:	Tablas, coeficientes y diagramas.....	110
Anexo B1	Densidad relativa del agua a diversas temperaturas.....	110
Anexo B2	Viscosidad dinámica y cinemática del agua a diversas temperaturas.....	110
Anexo B3	Coefficiente de rugosidad absoluta k para tuberías comerciales.....	110
Anexo B4	Diagrama de Moody.....	111
Anexo B5	Coefficiente m en función de α para ensanchamientos.....	112
Anexo B6	Valores de ζ para contracciones bruscas y suaves.....	112
Anexo B7	Coefficiente ζ en codos de sección circular.....	112
Anexo B8	Coefficiente ζ en válvulas de pie con alcachofa.....	112
Anexo B9	Coefficientes de resistencia local ζ	113
Anexo B10	Características de elementos importantes.....	114
ANEXO C:	Planos de dibujo técnico.....	115
Plano 01.01.00	Cámara de aire.....	116
Plano 01.01.01	Casquete esférico.....	117
Plano 01.01.02	Tubo cilíndrico de la cámara.....	118
Plano 01.01.03	Brida.....	119
Plano 01.02.00	Cámara de la bomba de membrana.....	120
Plano 01.02.01	Neplo de descarga.....	121
Plano 01.02.02	Cilindro.....	122
Plano 01.02.03	Membrana elástica.....	123
Plano 01.02.04	Placa de división de flujos.....	124
Plano 01.02.05	Neplo de succión.....	125
Plano 01.02.06	Placa de soporte de válvulas.....	126
Plano 01.03.00	Válvula de impulsión.....	127
Plano 01.03.04	Gota de bronce.....	128
Plano 01.03.05	Tapón de válvula.....	129
Plano 01.04.00	Peso de V.I.....	130
Plano 01.05.00	Buje de V.I.....	131
Plano 01.06.00	Soporte de válvula de impulsión.....	132
Plano 01.07.00	Empaque V.I.....	133
Plano 01.08.00	Brida del soporte de V.I.....	134
Plano 01.09.00	Empaque.....	135

Plano 01.10.00	Cámara de impulsión.....	136
Plano 01.10.01	Brida base C.I.....	137
Plano 01.10.02	Codo de 90°.....	138
Plano 01.10.03	Neplo de C.I.....	139
Plano 01.10.04	Tee de C.I.....	140
Plano 01.10.05	Reductor de alimentación.....	141
Plano 01.11.00	Base del ariete.....	142
Plano 01.11.01	Base horizontal.....	143
Plano 01.11.02	Bancada inferior.....	144
Plano 01.11.03	Soporte lateral.....	145
ANEXO D:	Hojas de proceso de mecanizado.....	146
Lámina 1	Casquete esférico.....	147
Lámina 2	Tubo cilíndrico.....	148
Lámina 3	Brida.....	149
Lámina 4	Neplo de descarga.....	150
Lámina 5	Cilindro.....	151
Lámina 6	Membrana elástica.....	152
Lámina 7	Placa de división de flujos.....	153
Lámina 8	Neplo de succión.....	154
Lámina 9	Placa soporte de válvulas.....	155
Lámina 10	Válvula de bronce.....	156
Lámina 11	Tapón de válvula.....	157
Lámina 12	Peso de válvula.....	158
Lámina 13	Buje de V.I.....	159
Lámina 14	Soporte de válvula de impulsión.....	160
Lámina 15	Empaque de V.I.....	161
Lámina 16	Brida del soporte de V.I.....	162
Lámina 17	Empaque.....	163
Lámina 18	Brida base para soporte.....	164
Lámina 19	Base horizontal.....	165
Lámina 20	Barra vertical.....	166
Lámina 21	Barra horizontal.....	167
Lámina 22	Soporte lateral.....	168
ANEXO E:	Construcción y funcionamiento del ariete de aguas bravas.....	169

Figura 1	Construcción de bridas en el torno.....	169
Figura 2	Bridas terminadas.....	169
Figura 3	Prensado del casquete esférico de la cámara de aire.....	169
Figura 4	Soldado de la brida a la cámara de aire.....	170
Figura 5	Válvula de impulsión terminada.....	170
Figura 6	Placa de soporte para las válvulas de la bomba de membrana.....	170
Figura 7	Cámara de la bomba de membrana.....	171
Figura 8	Estructura base y cuerpo de ariete.....	171
Figura 9	Cámara de aire terminada.....	171
Figura 10	Soporte de la válvula de impulsión.....	171
Figura 11	Instalación del tanque de alimentación (río Zamora).....	172
Figura 12	Instalación del ariete de aguas bravas en el río Zamora.....	172
Figura 13	Oscilación de la membrana elástica.....	172
Figura 14	Funcionamiento de la válvula de impulsión.....	173
Figura 15	Conducto de succión y descarga de la bomba de membrana.....	173
Figura 16	Caudal entregado.....	173
Figura 17	Ariete de aguas bravas en funcionamiento.....	174
ANEXO F:	Formulación del Proyecto de tesis.....	175

RESUMEN

El presente trabajo recoge información sobre el principio de funcionamiento de los arietes hidráulicos y bombas de membrana, los parámetros para su óptima instalación, elementos y características constructivas.

El ariete hidráulico de aguas bravas desarrollado, corresponde en principio a dos arietes individuales, montados uno sobre otro y separados por una membrana elástica, el ariete inferior utiliza la energía cinética del agua en movimiento para generar una sobrepresión, el cual hace oscilar una membrana elástica con la cual se puede aspirar y bombear agua limpia de un pozo aledaño, en donde los arietes convencionales no pueden ser utilizados.

Este ariete ofrece un funcionamiento ininterrumpido por muchos años y es capaz de elevar el 100% del agua de un pozo cercano. Es una alternativa económica, ecológica para bombeo de agua, además de ser una máquina muy versátil, ya que se puede desmontar para ser trasladada hacia el lugar en donde va hacer instalada.

SUMMARY

The present work picks up information on the principle of operation of the hydraulic battering rams and membrane bombs, the parameters for its good installation, elements and characteristic constructive.

The developed hydraulic battering ram of brave waters, it corresponds in principle to two individual, mounted battering rams one on other and separated by an elastic membrane, the inferior battering ram uses the kinetic energy of the water in movement to generate a high pressure, which makes to oscillate an elastic membrane with which you can aspire and to pump clean water of a well bordering where the conventional battering rams cannot be used.

This battering ram offers an uninterrupted operation for many years and it is able to elevate 100% of the water of a near well. It is an economic alternative, ecological for pumping of water, besides being since a very versatile machine one can dismantled to be transferred toward the place where will be installed



1. INTRODUCCIÓN

El hombre es un ser natural que se encuentra alto en la cadena trófica, por lo que le es indispensable garantizar la permanencia y calidad de los factores naturales que soportan su existencia y desarrollo. En este sentido las reservas ecológicas son esenciales para un desarrollo sostenible estratégico que le permita alcanzar indicadores crecientes de desempeño. En este sentido el Ecuador es un país con grandes recursos energéticos.

Actualmente se destaca la explotación de sus recursos petrolíferos, por lo que es necesario realizar investigación para el aprovechamiento de fuentes de energía alternativas. El papel de las Tecnologías de Energías Renovables es considerado como una opción viable para conjugar la sostenibilidad y desarrollo energético y la conservación del medio ambiente en las zonas rurales de los países en vías de desarrollo. Conjugar armónicamente los diferentes factores que tributan al desarrollo humano es una necesidad apremiante para garantizar una evolución plausible de la especie humana.

Entre estas tecnologías, los arietes hidráulicos se han ido abriendo su propio espacio y constituyen ya una importante alternativa; técnicamente viable que bien merece ser utilizada con prioridad. El bombeo de agua mediante arietes tiene gran importancia, debido a que de esta forma se tiende a obtener condiciones de vida digna, mejorando el servicio de abastecimiento de agua, higiene y salud.

En la actualidad los nuevos sistemas de bombeo deben ser eficientes y económicos, para así producir el desarrollo, sobre todo en áreas que necesitan estos servicios para poder reactivar su productividad. La agricultura constituye la base de la economía rural en el Ecuador, siendo ésta la primera actividad de los productores campesinos, los cuales necesitan abrirse e informarse sobre nuevas técnicas para el bombeo eficiente de agua.

Uno de los sistemas de bombeo de agua de fácil operación y bajo mantenimiento es el **ariete hidráulico**, que es una bomba de auto operación que utiliza como fuente de energía, la del propio líquido que fluye en su interior para bombear agua a una determinada altura, aprovechando el fenómeno hidráulico denominado *golpe de ariete*,



donde el agua adquiere una energía cinética o de movimiento y la transforma en energía potencial o de presión.

Debido al desconocimiento de nuestros comuneros del sector rural sobre el uso de los arietes hidráulicos como una alternativa eficiente para el bombeo de agua; hemos optado por realizar el tema de investigación ***“Diseño y construcción de un ariete hidráulico de aguas bravas como un sistema económico y eficiente para el bombeo de agua”***.

Para consolidar el tema de investigación nos hemos planteado los siguientes objetivos específicos; conocer y analizar el principio de funcionamiento del ariete de aguas bravas, diseñar el sistema hidráulico más conveniente para el ariete de aguas bravas, construir el ariete de aguas bravas según las normas establecidas, y, simular y comprobar el funcionamiento del ariete de aguas bravas.

Con el desarrollo de esta investigación se logró que un ariete hidráulico utilice la energía motriz de un río para producir una sobrepresión que hace funcionar una bomba de membrana la cual aspira y bombea hasta el 100% de agua de un pozo o lugar aledaño a una altura superior, éstos dos arietes individuales están montados uno sobre otro y se lo conoce como ariete de aguas bravas.

La difusión de este trabajo de investigación evidenciará la verdadera preocupación de La Universidad Nacional de Loja, a través de la carrera de Ingeniería Electromecánica, de dar solución a uno de los problemas existentes en las zonas rurales, como es el bombeo de agua, con la explotación de los arietes de aguas bravas pretendemos promover el desarrollo de actividades productivas en la región Sur del país.

Además incentivará a los estudiantes de nuestra carrera a investigar el uso de fuentes renovables de energía para impulsar sistemas de bombeo de agua, como en nuestro caso, utilizando la propia energía potencial del recurso hídrico sin requerir ninguna otra energía externa.

El ariete hidráulico de aguas bravas es una bomba elevadora de agua, considerada como una alternativa 90% ecológica, eficiente, de bajo costo operacional a largo plazo y fácil mantenimiento, su operación causa un mínimo ruido provocado por el efecto del golpe



de ariete que no incide negativamente en las condiciones medio ambientales, ni causa el deterioro de la naturaleza y salud de la comunidad en general.



2. METODOLOGÍA

En este apartado se describe la metodología empleada para el cumplimiento de los objetivos planteados en la investigación. Su aplicación sirvió de guía en el desarrollo de cada una de las tareas programadas en el Proyecto de tesis.

Con el fin de redactar la situación problemática y familiarizarnos con el objeto de estudio del proyecto de tesis, se procedió a la recopilación de información bibliográfica a través de textos, documentos, internet, tesis y entrevistas a profesionales del área de energía.

Para la elaboración de la fundamentación teórica nos apoyamos en la lectura, análisis y revisión de documentación bibliográfica sobre transitorios, bombas de fluido impelente, bombas de membrana y resistencia de materiales, recogida a través de libros, textos, internet, tesis y profesionales.

Para el desarrollo de la propuesta alternativa se realizó cálculos hidráulicos y mecánicos del ariete de aguas bravas tomando en cuenta los parámetros del sistema (velocidad en tuberías, diámetros, áreas, sobrepresiones), se determinó las tensiones admisibles en la cámara de aire del ariete y se elaboró el proceso tecnológico mediante hojas de mecanizado para la construcción del ariete en el Taller Mecánico.

Para valorar los resultados se utilizó el método experimental procediendo a la instalación del ariete bajo condiciones reales de funcionamiento, y con los datos obtenidos se evaluó la eficiencia y se trazó la curva de la bomba en función de la altura desarrollada versus el caudal entregado.

Las técnicas e instrumentos utilizados en la comprobación de las hipótesis se detallan a continuación:

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	TÉCNICA UTILIZADA
Desconocimiento de las características, elementos que lo conforman, funcionamiento y operación del ariete de aguas	Investigación sobre arietes hidráulicos y bombas de membrana en Internet, libros, textos, etc.
	Estudiar el funcionamiento de los arietes y bombas de membranas.



bravas.	Descripción de los elementos que componen éstos arietes hidráulicos.
	Analizar esquemas de instalación de arietes y bombas de membranas.
Desconocimiento de que diseño hidráulico se aplicará para el ariete hidráulico de aguas bravas.	Investigación de diseños de arietes hidráulicos y bombas de desplazamiento positivo.
	Determinación de las variables de trabajo para el ariete de aguas bravas.
Se desconoce el tipo de ariete hidráulico de aguas bravas que se construirá.	Investigar las formas constructivas de arietes de aguas bravas.
	Cálculos y selección de los elementos del ariete y sus materiales.
	Dibujar el ariete en AutoCAD, teniendo en cuenta las normas establecidas para dibujo técnico.
	Adquisición de materiales.
	Construcción del ariete de aguas bravas en el Taller mecánico del AEIRNNR según los cálculos obtenidos y las hojas de proceso de mecanizado.
Se desconoce los resultados que va tener el ariete de aguas bravas.	Pruebas de funcionamiento del ariete en el río Zamora a la altura del barrio Zamora Huayco de la ciudad de Loja.
	Mejoramiento y correcciones de algunos elementos que conforman el ariete.
	Pruebas definitivas de puesta en marcha y funcionamiento del ariete.
	Valoración de resultados obtenidos en las pruebas.
	Simulación del golpe de ariete en el software DYAGATS 2.0, y resistencia de materiales de algunos elementos en COSMOSDesignSTAR 4.5.



3. MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO I

HIDRÁULICA Y GENERALIDADES DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS

1.1. INTRODUCCIÓN

El deseo del hombre de comprender los fenómenos en los fluidos, surgió cuando tuvo problemas de suministro de agua, de irrigación, de navegación, y de energía hidráulica. Con sólo una rudimentaria apreciación de la física de los fluidos, cavó pozos, construyó canales, operó ruedas hidráulicas y dispositivos de bombeo rudimentarios y, al aumentar el tamaño de sus ciudades, construyó acueductos cada vez más grandes, los que alcanzaron su mayor dimensión y grandeza en la ciudad de Roma.

Uno de los fluidos más importantes entre todas las materias de la Tierra es el agua, sin agua no se habría originado la vida en nuestro planeta, conocemos el agua en tres estados físicos: sólido (hielo), líquida (agua) y gaseoso (vapor). Necesitamos agua para todas nuestras necesidades y actividades, debido a su importancia vital protejamos y respetemos el agua, explotándola de manera saludable, el ariete realiza una pequeña aportación al respecto.

En el año de 1796, el inventor francés Joseph Montgolfier, experimentaba con el agua que fluía velozmente por conductos, con cada cierre rápido de una válvula ubicada en un extremo inferior del conducto se producía una importante energía de choque que debía ser aprovechada, con esto consiguió proporcionar los requisitos básicos del diseño y construcción del ariete hidráulico, ofreciendo un dispositivo que podía bombear agua sin necesidad de ninguna energía externa.

El ariete hidráulico se continuó mejorando durante las décadas siguientes, experimentó notables cambios constructivos, a pesar de las mejoras se demostró que es un dispositivo muy complejo que sólo puede funcionar a alto rendimiento tras un ajuste preciso de sus componentes. En Elmsteiner Tal (1954) se aplicó el golpe de ariete para



accionar una bomba de diafragma lo cual es una aplicación diferente e ingeniosa de los arietes hidráulicos.

1.2. LA HIDRÁULICA Y SU APLICACIÓN

Una de las ramas de aplicación de la mecánica de los fluidos es la hidráulica, que se define como la ciencia que trata sobre las leyes del equilibrio, movimiento de los fluidos y a la aplicación de dichas leyes a la solución de problemas prácticos.

Un fluido es una sustancia que, debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene, son todos los cuerpos para los cuales es característica la propiedad de fluidez, es decir la capacidad de adquirir una deformación bajo la acción de fuerzas por pequeñas que sean éstas, aquí se incluyen los líquidos y los gases.

Una característica importante de los líquidos es que cambian insignificadamente su volumen al variar la presión por lo cual son considerados incompresibles, por el contrario los gases disminuyen considerablemente su volumen bajo la acción de la presión y se dilatan ilimitadamente es decir son comprensibles.

Algunas de las aplicaciones específicas de la hidráulica son:

- En las máquinas de fluidos, unas llamadas *motoras* que transforman la energía de un fluido en energía mecánica en el eje (turbinas hidráulicas) y otras *generadoras* que absorben energía mecánica e incrementan la energía del fluido (bombas).
- En las redes de distribución de agua potable para puntos de consumo en viviendas.
- En la regulación de máquinas y múltiples procesos industriales.
- En transmisiones y controles de los sistemas hidráulicos.
- En el acoplamiento y cambio de marchas continuo en los coches, autobuses urbanos, etc.

1.3. CLASIFICACIÓN DE LA HIDRÁULICA

- 1.3.1. Hidrostática:** Es la ciencia que se encarga del estudio de un líquido cuando este está en reposo.



1.3.2. Hidrodinámica: Es la parte de la hidráulica que se encarga del estudio del movimiento de un líquido, el cual se encuentra bajo la influencia de fuerzas¹.

1.4. EL AGUA

El agua es el elixir de la vida en el medio de los hombres, plantas y animales. Es la sustancia más abundante en la naturaleza, unas dos terceras partes de la Tierra está cubierta por agua, de ella podemos disponer de sólo un 1% como agua dulce potable.

El agua está compuesta por hidrógeno y oxígeno, y en estado puro no tiene color, ni olor, ni sabor. El agua líquida puede disolver muchas sustancias, como las sales minerales que necesitan las plantas y la mayoría de los organismos vivos; puede incluso disolver gases: el oxígeno que respiran los peces está disuelto en el agua del mar.

Debido a sus propiedades, utilizamos el agua como patrón para definir muchas unidades físicas, por ejemplo, para definir la caloría (la unidad de calor), el grado centígrado (la unidad de temperatura) o el gramo (la unidad de masa).

1.4.1. Estados del agua

➤ *El agua en estado sólido*

El hielo tiene una densidad de $0,92 \text{ g/cm}^3$ o g/ml , más baja que la del agua en estado líquido, que es de 1 g/cm^3 , esto hace que el hielo flote sobre el agua, y como es un mal conductor del calor, protege al agua líquida de las bajas temperaturas exteriores, impidiendo que se congele por completo; si fuera más denso, se hundiría y depositaría en el fondo de lagos, ríos y mares.

➤ *El agua en estado líquido*

El agua pasa del estado sólido al líquido (o del líquido al sólido) a la temperatura de 0°C . Precisamente para calibrar los termómetros, se toma como valor cero (0°C) el punto de congelación del agua.

¹ MECÁNICA DE FLUIDOS. 2001. [en línea] Facultad de Metalurgia y Electricidad. Cuba. Conferencia 2. Pág.1-2.



En estado líquido, el agua forma parte de los seres vivos, pura o mezclada con sales y otras sustancias. Las impurezas suspendidas y disueltas en el agua natural hacen que esta no sea adecuada para beber. Los materiales indeseables orgánicos e inorgánicos, se extraen por métodos de criba, sedimentación, filtración, cloración, etc. que eliminan los microorganismos infecciosos.

➤ *El agua en estado gaseoso*

El agua líquida se transforma en gas a la temperatura de 100 grados centígrados. El segundo valor que se toma para calibrar los termómetros es el valor de 100°C que corresponde al punto de ebullición del agua.

En estado gaseoso el agua está por todas partes, incluso en los desiertos. La evaporación y la condensación son procesos que forman un ciclo continuo, llamado ciclo del agua, que hace que esta se reparta por toda la biosfera terrestre².

1.5. EL GOLPE DE ARIETE³

La Física reconoce el fenómeno denominado golpe de ariete o choque hidráulico, que ocurre cuando varía bruscamente la presión de un fluido dentro de una tubería, motivado por el cierre o abertura de una llave, grifo o válvula; también puede producirse por la puesta en marcha o detención de un motor o bomba hidráulica. Durante la fluctuación brusca de la presión el líquido fluye a lo largo de la tubería a una velocidad definida como de propagación de la onda de choque.

El cambio de presión provoca deformaciones elásticas en el líquido y en las paredes de la tubería. Este fenómeno se considera indeseable porque causa frecuentes roturas en las redes hidráulicas de las ciudades y en las instalaciones intradomiciliarias, y también es causante de los sonidos característicos que escuchamos en las tuberías cuando abrimos un grifo bruscamente en nuestras casas. Por tal razón, con frecuencia se diseñan válvulas de efecto retardado o se instalan dispositivos de seguridad.

El científico ruso N. Zhukovski (1847-1921) estudió este fenómeno por primera vez en su obra sobre “*El choque hidráulico*”, como parte de sus indagaciones

² ENCARTA 2008. Artículo El Agua. Estados del Agua.

³ SECRETOS DEL ARIETE HIDRÁULICO. Montecinos, Alejandro. Ingeniero Mecánico. Editorial CUBASOLAR y la revista Energía y tú. e-mail: editora@cubasolar.cu



hidroaeromecánicas que constituyeron la base teórica para la ulterior comprensión del funcionamiento de la bomba de golpe de ariete o ariete hidráulico, demuestra que los fenómenos físicos (y los naturales en general) no deben asumirse como negativos o positivos, sino como leyes que debemos incorporar a nuestro arsenal cognitivo hacia una armónica actuación del hombre en la naturaleza y plenitud creadora del ser humano.

1.6. EL ARIETE HIDRÁULICO

La bomba de golpe de ariete o ariete hidráulico es un motor hidráulico de auto operación que utiliza la energía de una cantidad de líquido (comúnmente agua) situada a una altura mayor (el desnivel de un río, presa, acequia, otro depósito o caudal), con el objetivo de elevar una porción de esa cantidad de líquido hasta una altura mayor que la inicial, mediante el empleo del fenómeno físico conocido como golpe de ariete. El equipo bombea un flujo continuo y funciona ininterrumpidamente sin necesidad de otra fuente de energía⁴.

El ariete hidráulico puede compararse con un transformador eléctrico, ya que éste recibe una tensión baja (en voltios) con una corriente eléctrica relativamente alta (en amperios) y obtiene un régimen de mayor tensión y menor amperaje, y en el caso del ariete ocurre un proceso similar a nivel hidráulico: recibe un gran caudal ($Q + q$) con una baja carga (H) y obtiene un régimen de mayor presión (h) con un menor caudal (q).

El ariete hidráulico, se conoce desde 1775, cuando John Whetherst a través de la asociación de ingenieros en Londres, mostró un ariete de operación manual. En 1776, Joseph M de Montgolfier, construyó un ariete de operación automática, cuya patente le fue entregada en 1797. Por su importancia, esta invención se extendió a distintas partes del mundo y se comienza a explotar el ariete en distinta ramas de la economía como es la agricultura, el riego y el abasto de agua a pequeña poblaciones.

1.6.1. Principio fundamental del ariete⁵

La columna de agua que fluye por el conducto de impulsión se detiene de golpe mediante la válvula de choque, por la energía cinética del agua, se origina una alta

⁴ SECRETOS DEL ARIETE HIDRÁULICO. Montecinos, Alejandro. Ingeniero Mecánico. Editorial CUBASOLAR y la revista Energía y tú. e-mail: editora@cubasolar.cu.2005

⁵ WEINMAN, Peter. 2004. El Ariete Hidráulico. Editorial Berlín-Alemania.; pág. 34-39.

presión que impele una parte del agua a través de una válvula de retención hacia arriba a la cámara de aire y comprime el colchón neumático que se encuentra en su interior, la presión en la cámara de aire empuja el agua a través del conducto vertical hacia arriba. Si se han equilibrado las relaciones de compresión, la válvula de choque se abre y la de retención se cierra (Fig. 1.1), y el ciclo se renueva.



Fig. 1.1 Elementos componentes del ariete hidráulico

El colchón neumático de la cámara de aire que se indica en la figura 1.1 tiene la tarea de absorber de forma continua los golpes de ariete. El aire se comprime por el flujo de agua que entra por cada golpe de ariete y libera esta energía posteriormente de forma uniforme. El colchón neumático hace posible el funcionamiento del ariete y la obtención de un flujo constante en el conducto vertical, ya que el agua por si sola no puede comprimirse y la columna de agua, por su inercia de masa, no puede seguir los golpes de ariete con tanta rapidez.

El agua que circula por la cámara de aire tiene la capacidad de absorber o liberar gases, alternativamente o incluso aire, lo cual podría disminuir el volumen de aire de la cámara hasta saturarla de agua, provocando la parada del Ariete. Los arietes bien diseñados cuentan con una válvula de aireación automática o de purga de aire como se indica en la figura 1.2, esta válvula debe estar colocada en un lugar preciso, de modo que el ariete aspire automáticamente aire con cada golpe. El lugar óptimo para ello es justo debajo de la válvula de retención. Mientras el agua motriz fluye a través de la válvula de choque, está sometida a una gran presión, pero cuando el agua fluye rápidamente por la válvula

de retención hacia la cámara de aire, existe una depresión. Posteriormente, el aire se aspira según el principio de la bomba de chorro de agua.



Fig. 1.2 Válvula de purga de aire

La válvula de aire expulsa durante la fase de presión un chorro de agua muy fino y aspira aire en la fase de depresión que sube posteriormente a la cámara de aire en formas de burbujas de aire, este intercambio puede observarse fácilmente. Otros diseños consiguen el mismo objetivo con válvulas de aguja de cierre automático.

En cualquier caso, la cámara de aire debe tener aireación y no como se supone a menudo erróneamente, desaireación. La válvula de goteo puede considerarse como acompañante de la válvula de purga de aire. Su colocación en la cámara de aire se encarga de mantener un nivel de agua constante en su interior.

El ariete cuenta con dos piezas de movimiento mecánico: la válvula de choque de la figura 1.3, que detiene de forma brusca la columna de agua motriz, y la válvula de retención de la figura 1.4, a través de la cual se escapa el agua en la cámara de aire.



Fig. 1.3 Válvula de choque y su soporte

La energía por tanto no se obtiene en el ariete, como se piensa a veces erróneamente, con distintas secciones de émbolo, sino con la energía de choque de la columna de agua, que está en movimiento y avanza. Tras detenerse su recorrido con la válvula de choque (o de cierre instantáneo), una parte de la columna de agua se escurre a alta presión a través de la válvula de retención (o impelente) y se dirige hacia la cámara de aire.



Fig. 1.4 Válvula de retención

Cuando la inclinación es demasiado fuerte, la aceleración de la columna de agua será tan alta que las válvulas no podrán seguir su ritmo típico debido a su inercia de masa. Empezarán a oscilar sin control y se alterará el funcionamiento del ariete.

Las válvulas de choque se han ido mejorando de forma continua. La forma actual se ilustra en la figura 1.5, es lo que se denomina de cuerpo esférico con forma de gota, que permite que el agua fluya hidrodinámicamente, es decir sin un desprendimiento del flujo que consume energía y ocasione torbellinos. La carcasa y la válvula con su guía de vástago son de bronce resistentes a la corrosión, el extremo de la válvula es de roble o nogal que sirve para reducir el peso. La válvula y la guía de vástago tienen acabados finos y no requieren engrase.



Fig. 1.5 Válvula de impulsión

1.6.2. Esquema y descripción de una instalación de ariete

El ariete no puede funcionar en ningún caso por sí solo, necesita de una instalación completa en la que están todos sus componentes ajustados entre sí como se indica en la figura 1.6.

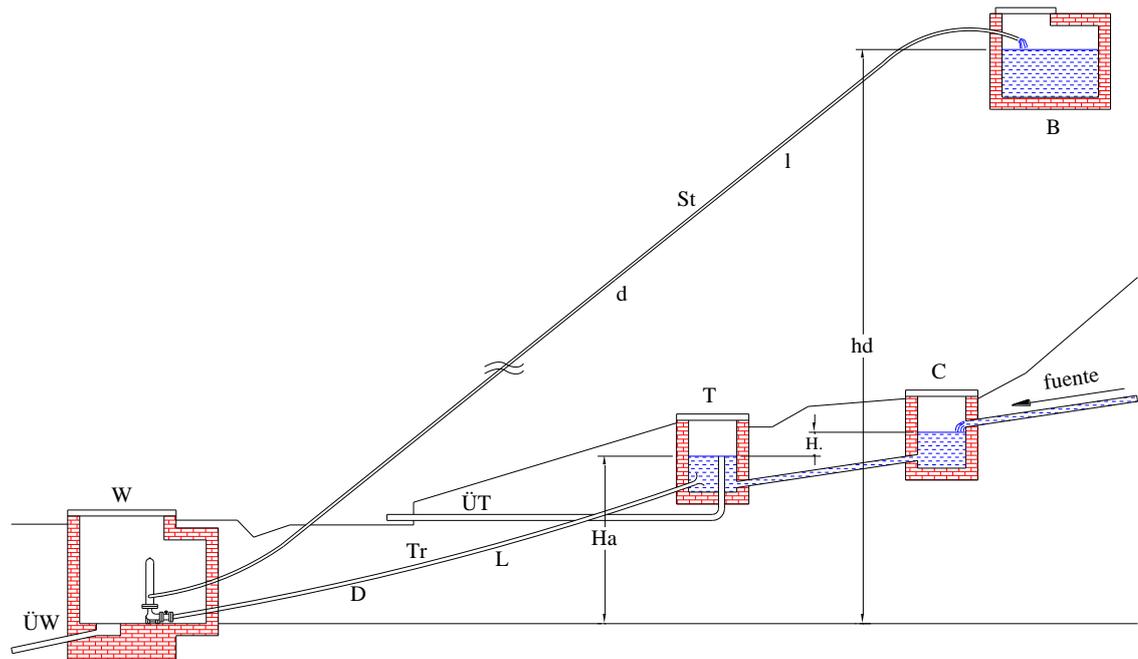


Fig. 1.6 Esquema de funcionamiento de una instalación de ariete

C = Colector de fuente	Tr = Conducto de impulsión
T = Pozo de extracción	D = Diámetro de Tr
W = Pozo de ariete	Ha = Altura de impulsión
B = Tanque elevado	hd = Altura de presión
L = Longitud del conducto de impulsión	St = Conducto vertical
l = Longitud del conducto vertical	d = Diámetro de St
ÚT = Canal de derrame T	ÜW = Canal de derrame W

1.6.2.1. Captación de fuente

El agua subterránea es la que se encuentra bajo la superficie terrestre. Son aguas subterráneas tanto las que fluyen en forma de ríos como las que se almacenan entre las rocas del subsuelo formando lo que llamamos acuíferos. Un manantial es una salida natural del agua subterránea a la superficie terrestre. El agua sale a través de las grietas

de las rocas del subsuelo. Por tanto los manantiales merecen una gran comprensión y protección.

Para explotar un manantial de forma duradera, por tanto es necesario mucho tacto, más aún cuando más pequeña es la fuente. Solo ahí donde el agua sale de la tierra voluntariamente puede hablarse de una fuente.

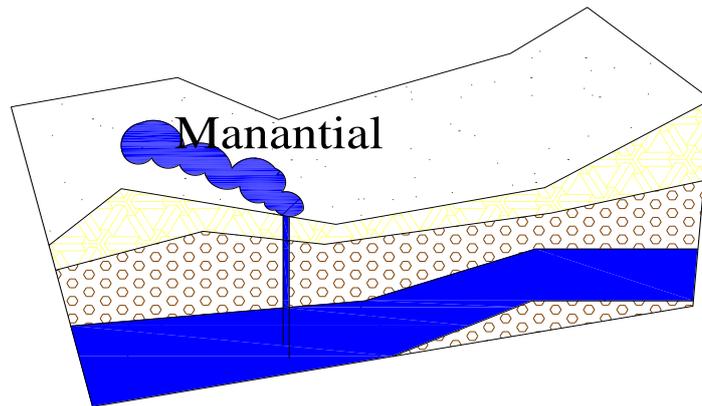


Fig. 1.7 Captación de fuente

1.6.2.2. Colector de fuente

Conectado al drenaje de la fuente se encuentra el colector de fuente, un pozo en que se colecta el agua de la fuente y se deja que repose. El colector de fuente se encargará de mantener condiciones hidráulicas constantes en la fuente.

Existen elementos prefabricados como pozos de captación y tubo de fuente y también unidades combinadas. En cada caso debe preverse un rebosadero desde el colector de fuente con una tapa contra el acceso de las ranas. Esta tapa se abre automáticamente de acuerdo con el flujo de agua e impide la entrada de pequeños animales en sentido contrario a la corriente.

Los colectores de fuente se fabrican en plástico u hormigón como piezas prefabricadas o ajustadas a las condiciones del terreno y al caudal. En los pozos prefabricados, los tubos de rebose, toma y entrada de aire adicional, las cámaras de separación, los dispositivos de cierre y descarga de fondo se construyen a partir de especificaciones y experiencia práctica.

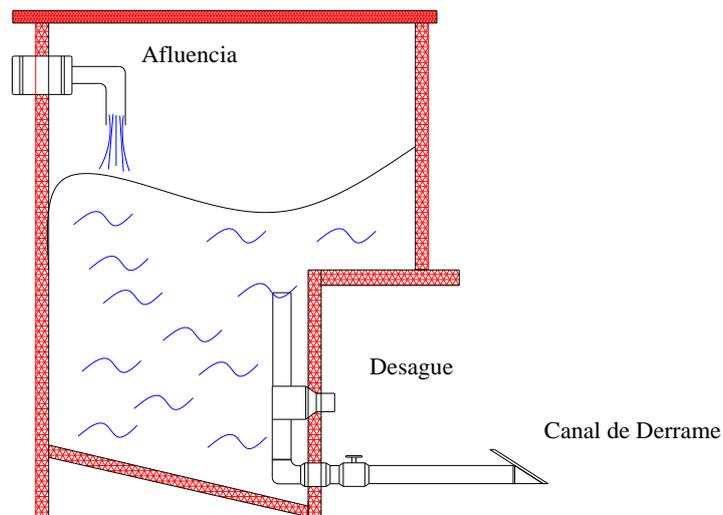


Fig. 1.8 Colector de fuente con tapa contra ranas

1.6.2.3.El pozo de extracción⁶

El pozo de extracción está montado a continuación del colector de fuente que le suministra agua limpia y sedimentada al pozo de extracción que se indica en la figura 1.9. Un rebosadero en el pozo de extracción (T) garantiza un nivel de agua constante en el pozo. El pozo de extracción se encarga de que en el conducto de impulsión se mantengan unas condiciones hidrostáticas estables.

Además es razonable dotar el pozo de extracción con un rebosadero para su vaciado completo (descarga de fondo) cuando sea necesario vaciar completamente el pozo para su limpieza o eventual reparación. La forma mas fácil de vaciarlo es con tubo de desagüe vertical, que constituirá el rebose cuando esté enroscado y desbloqueará la apertura en el suelo cuando se desenrosque.

Mientras que la posición del pozo de fuente se determina única a partir de la ubicación de la fuente, la posición del pozo de extracción dependerá de la posición y longitud del conducto de impulsión. El caso ideal, es cuando el pozo de extracción está construido de modo que el conducto de impulsión se puede colocar de forma óptima, es decir, la longitud del conducto de impulsión es decisiva para la posición del pozo de extracción.

⁶ WEINMAN, Peter. 2004. El Ariete Hidráulico. Editorial Berlín-Alemania.; pág. 25-26.

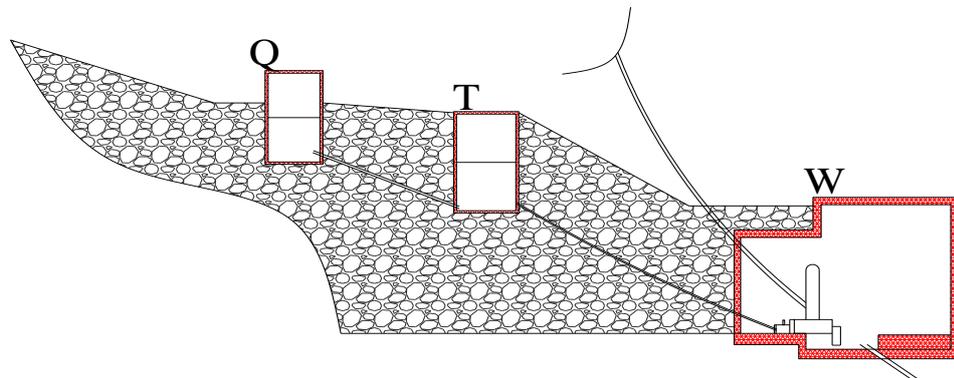


Fig. 1.9 Pozo de extracción (caso ideal)

Si el pozo de extracción se ha instalado demasiado cerca del pozo de ariete, el conducto de impulsión será demasiado corto. Si se planifica el pozo de extracción en el lugar correcto, se cumplirán los requisitos previos más importantes para una instalación de ariete que funcione bien.

Mediante el posicionamiento del pozo de ariete se determinará la longitud y la pendiente del conducto de impulsión. Es probable que si los emplazamientos y la planificación lo permiten, se pueda renunciar al pozo de extracción y realizarse la instalación con el pozo de fuente y el pozo de ariete.

1.6.2.4.El conducto de impulsión

Es el motor de la instalación de ariete, el tubo conductor entre el pozo de extracción y la entrada del ariete hidráulico es el conducto de impulsión. La longitud del tubo guarda relación con la inclinación, una relación ideal es de 1:4, el conducto debe ser inferior a cuatro veces la altura de caída vertical H , aunque sin ser inferior a una longitud de 10m ni superior a una longitud de 30m.

Si la boca del tubo no está abocardado en forma de trompeta, la corriente se rompe, lo que ocasionaría torbellinos en el agua y por consiguiente pérdidas por fricción, la consecuencia es que se liberan gases del agua que forman burbujas que permanecen en el conducto de impulsión. Según las leyes de la física estas burbujas deberían subir

hacia arriba pero con cada golpe de ariete serán arrastradas hacia abajo por el flujo de agua, las burbujas quedarán pues atrapadas como parásitos en el conducto de impulsión, son colchones hidráulicos y frenan el funcionamiento del ariete.

➤ *Características técnicas*

El conducto de impulsión debe ser siempre de acero inoxidable, si fuese de plástico o de manguera, son elásticos al golpe de ariete y compensarían su acción. La cara interior del conducto de impulsión no debe ser áspera ni tener cantos o rebabas de costuras soldadas, esto frenaría la columna de agua reduciendo el rendimiento del ariete de forma considerable.

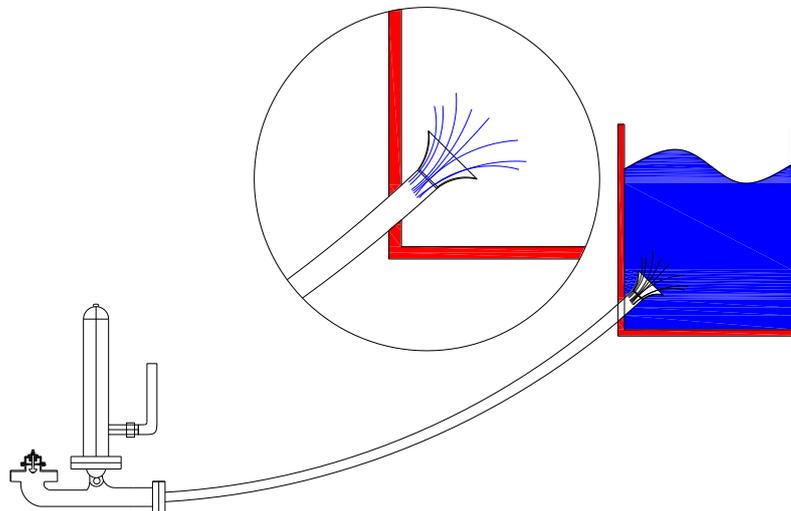


Fig. 1.10 Conducto de impulsión (caso ideal)

La posición del conducto de impulsión es fundamental, debe estar ligeramente combado hacia el pozo de extracción aproximándose al ariete casi en forma de asíntota, el conducto de impulsión ofrece las mejores condiciones para que el agua alcance una velocidad máxima. La entrada en el tubo de impulsión se realiza mediante un embudo de entrada (en forma de trompeta) como se muestra en la figura 1.10.

1.6.2.5. **Conducto vertical**

En el conducto vertical se impulsa el agua desde la cámara de aire hacia el tanque elevado, no se produce ningún tipo de golpe o sacudida en el conducto, siempre y cuando el ariete este bien dimensionado. Por tanto, este conducto puede realizarse de

plástico, por que las pérdidas por fricción son inferiores a la de otros materiales de canalización.

En el caso de tubo de varios cientos de metros, la fricción juega un papel importante, al contrario que en el conducto de impulsión. La presión que debe vencer el ariete depende de la altura de presión geodésica, es decir, la altura vertical (10m equivale a 1bar). Siendo necesario sumar la fricción de tubo como presión adicional.

$$\text{Presión total} = \text{presión de altura} + \text{pérdida de presión por fricción en la tubería}$$

1.6.2.6. Tanque elevado

El tanque elevado como se ilustra en la figura 1.11 es el depósito donde se capta y almacena el agua transportada desde el ariete y según su altura definida, ejerce una presión uniforme en la columna de agua de la red de consumo. La posición del tanque determina la presión en el conducto de consumo.

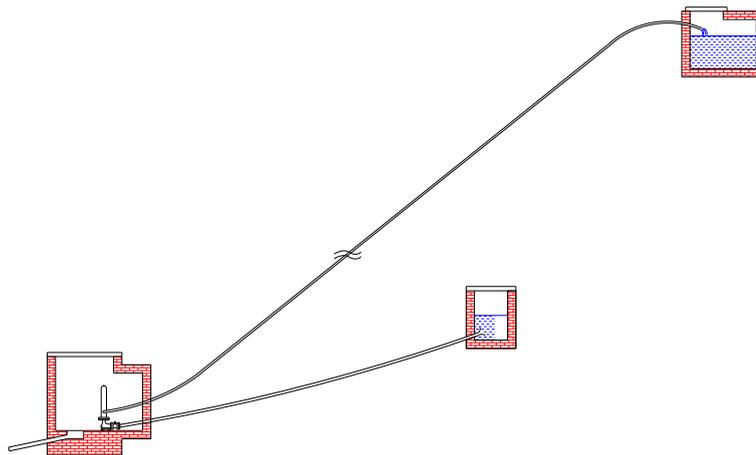


Fig. 1.11 Tanque elevado

Si el terreno natural no cuenta con ningún punto suficientemente alto es posible construir una torre de agua o integrar el depósito en el estrecho del edificio. Estos depósitos se construyen de ladrillos, hormigón, etc.

1.7. DISTINTAS FORMAS CONSTRUCTIVAS DEL ARIETE

En los dos últimos siglos, a los ingenieros se les ha ocurrido realizar variadas formas constructivas de arietes, en las que obviamente no se altera en ningún sentido el principio de funcionamiento. Por ejemplo, las válvulas se han instalado de pie o colgando y el depósito de aire como elemento amortiguador de choques a tenido las formas más curiosas. A continuación se indican algunos modelos.

➤ *Ariete hidráulico multipulsor AHM CITA 6-L3V*

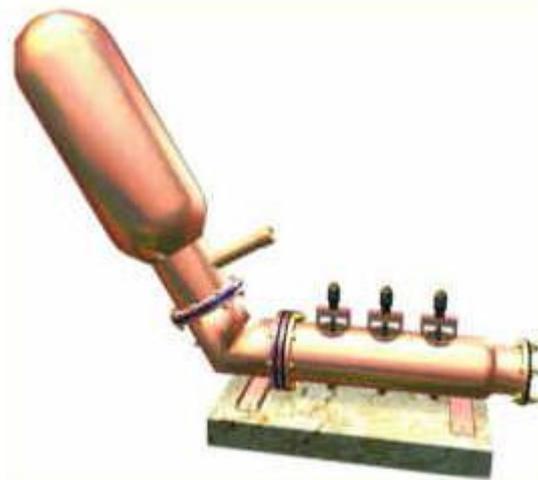


Fig. 1.12 Ariete hidráulico multipulsor AHM CITA 6-L3V

Diámetro de la tubería de impulso: 6 pulgadas.

Diámetro de la tubería de descarga: 2 pulgadas.

Capacidad del tanque de aire: 0,016 m³.

Cantidad de válvulas: 3 en línea.

Válvula de retención: de diafragma.

Peso: 168 kg.

Construido con componentes y accesorios estandarizados de acero galvanizado, la inversión de la instalación se recupera en menos de un año y puede beneficiar una comunidad de entre cien y mil habitantes, o utilizarse para el riego de pequeñas parcelas y el abasto de granjas ganaderas. Con este modelo se han logrado cargas de 160 m y volúmenes de agua diarios de 173 m³, con cargas de impulso de 5 m.

➤ **Ariete hidráulico multipulsor AH-4 (IMPAG)**



Fig. 1.13 Ariete hidráulico multipulsor AH-4 (IMPAG)

Diámetro de la tubería de impulso: 4 pulgadas.

Diámetro de la tubería de descarga: 2 pulgadas.

Capacidad del tanque de aire: 0,005 m³.

Cantidad de válvulas: 10.

Válvula de retención: de ímpetu o impulso.

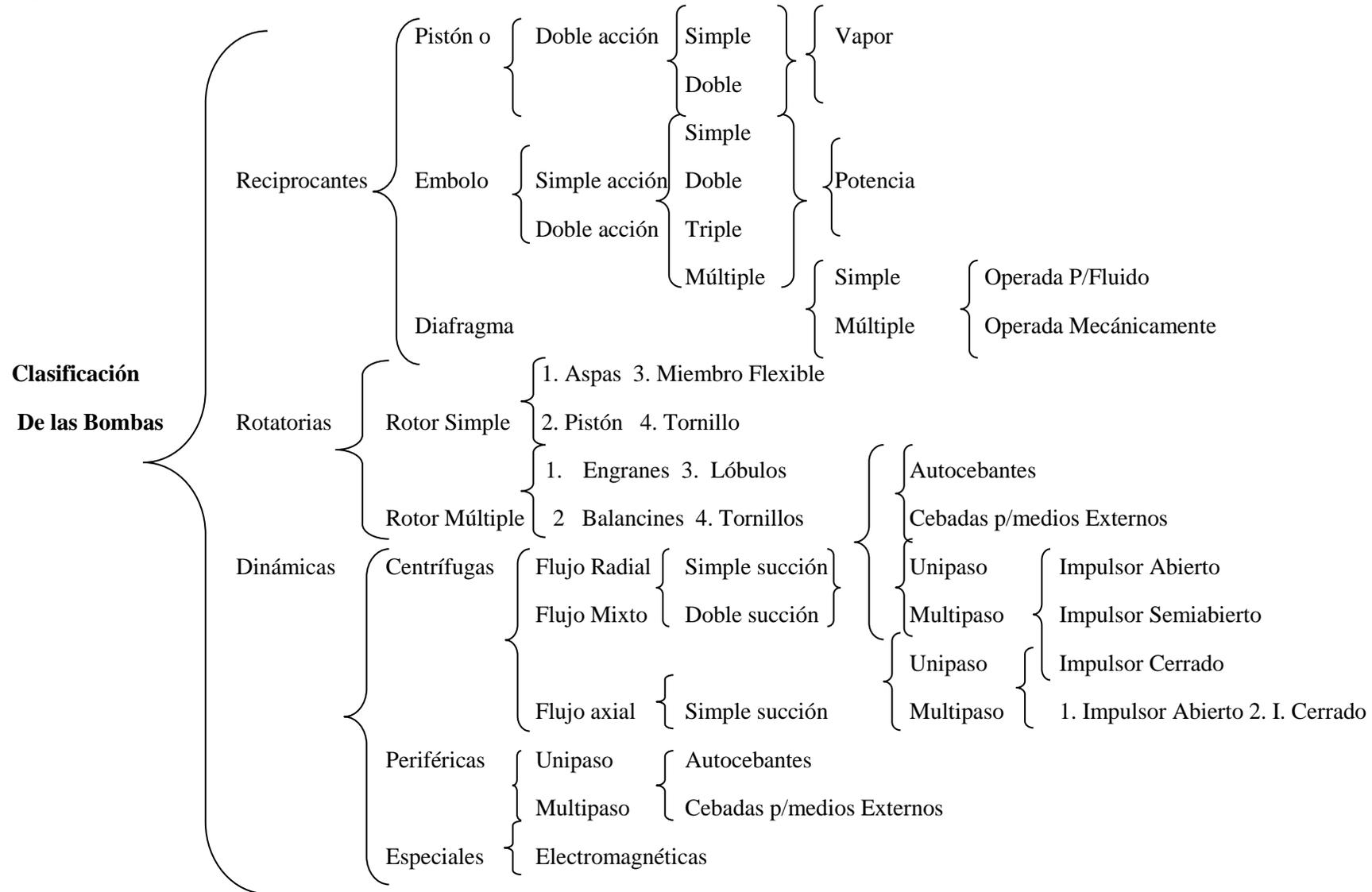
Peso: 45 kg.

1.8. BOMBAS HIDRÁULICAS

Dispositivo empleado para elevar, transferir o comprimir líquidos y gases, en la mayoría de ellas se toman medidas para evitar la cavitación (formación de un vacío) que reduciría el flujo y dañaría la estructura de la bomba.

La bomba comunica cierta potencia al líquido que fluye a través de ella, la reserva de energía que adquiere el líquido en la bomba, permite superar las resistencias hidráulicas al flujo y elevarse a la altura geométrica.

1.8.1. Clasificación



1.9. BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Estas bombas guían al fluido que se desplaza a lo largo de toda su trayectoria, el cual siempre está contenido entre el elemento impulsor y la carcasa o el cilindro, el impulsor puede ser un émbolo, un diente de engranaje, un aspa, un tornillo, etc. “El movimiento del desplazamiento positivo” consiste en mover un fluido a causa de la disminución del volumen de una cámara. En una máquina de desplazamiento positivo, el elemento que origina el intercambio de energía no tiene necesariamente movimiento alternativo (émbolo) sino que puede tener movimiento rotatorio (rotor).

Sin embargo, en las máquinas de desplazamiento positivo, tanto reciprocantes como rotatorias, siempre hay una cámara que aumenta de volumen (succión) y disminuye volumen (impulsión), por esto también se les denomina volumétricas. Con el nombre general de bombas positivas se conoce a las bombas reciprocantes y a las rotatorias⁷.

1.10. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE MEMBRANA

La bomba de membrana o diafragma es un tipo de bomba de desplazamiento positivo (generalmente alternativo) en la que el aumento de presión se realiza por el empuje de unas paredes elásticas (membranas o diafragmas) que varían el volumen de la cámara aumentándolo y disminuyéndolo alternativamente. Unas válvulas de retención normalmente de bolas de elastómero controlan que el movimiento del fluido se realice de la zona de menor presión a la de mayor presión.

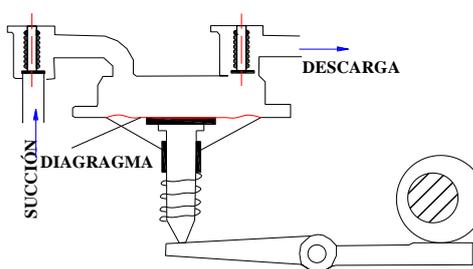


Fig. 1.14 Bomba de membrana accionada por una leva

Estas bombas están provistas de un diafragma flexible recíprocamente, con lo cual se elimina la fricción y las fugas en el punto donde el émbolo atraviesa la caja de empaque.

⁷ AGUIRRE M., Reyes. 1967. Curso de máquinas hidráulicas. Representaciones y servicios de ingeniería S. A. Editorial México.

Un ejemplo de esta bomba se indica en la figura 1.14, el movimiento del diafragma se obtiene mediante una cama excéntrica y una palanca; las válvulas de succión y descarga trabajan en forma ordinaria, estas bombas son utilizadas para levantar combustible de los tanques posteriores de los automóviles a los carburadores de los mismos⁸.

1.11. ESQUEMA E INSTALACIÓN DE UNA BOMBA DE MEMBRANA

Una mala instalación puede ser motivo de desgastes, roturas prematuras o funcionamiento deficiente. Es conveniente que el lugar de emplazamiento sea accesible, ya que esto hará más sencilla y rápida la operación, la inspección y el mantenimiento del equipo. El esquema de instalación recomendado se muestra en la figura 1.15.

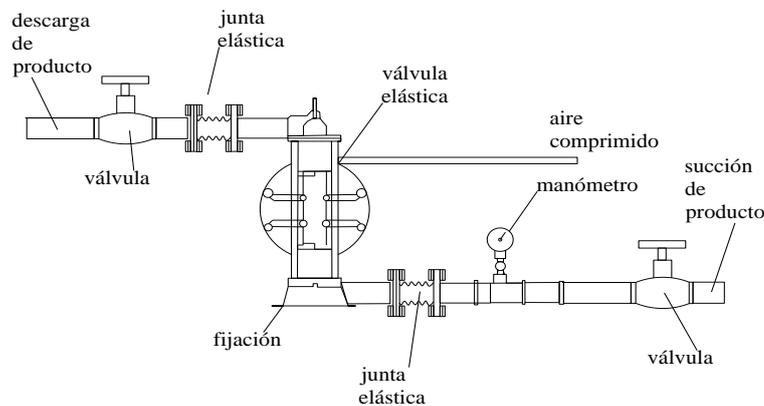


Fig. 1.15 Esquema de instalación de una bomba de membrana

Este tipo de bomba puede funcionar únicamente en posición vertical, la fijación de la bomba al suelo o superficie de emplazamiento debe ser lo suficientemente elástica como para absorber los esfuerzos y/o vibraciones que hacia allí se transmitan. Las cañerías de succión e impulsión pueden ser rígidas o flexibles, debiendo tener la capacidad de mantener por sí solas la sección circular (no deben aplastarse)⁹.

1.12. TIPOS DE BOMBAS DE MEMBRANA

Existen tres tipos principales de las bombas de membranas, se adjuntan en los Anexos A las curvas, dimensiones y especificaciones de algunas bombas de membrana:

⁸ CLASIFICACIÓN DE BOMBAS HIDRÁULICAS. 2001. [en línea] Universidad de las Américas. Facultad de Ingeniería Mecánica y Electricidad. Chile. <http://www.clasificacionbombas.com.cl/htm>

⁹ MANUAL DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN. INDESUR ARGENTINA S.A. 2004. [en línea] www.bombasindesur.com.ar



➤ **Primer tipo**

Las bombas de doble membrana garantizan la máxima seguridad en todas las aplicaciones industriales donde es necesario recurrir a bombas accionadas con aire comprimido o líquido hidráulico.

➤ **Segundo tipo**

Tiene un dispositivo electromecánico para generar el movimiento. Este método dobla la membrana con una acción mecánica simple, y un lado de la membrana está abierto al aire.

➤ **Tercer tipo**

Cuenta con una o más membranas sin sellar con el líquido que se bombeará en ambos lados. Las membranas se doblan otra vez, haciendo cambiar el volumen.

1.13. ARIETE DE AGUAS BRAVAS¹⁰

El ariete de aguas bravas corresponde en principio a dos arietes individuales, montados uno sobre otro y separados por una membrana elástica. Con el ariete inferior se provoca sobrepresiones que son absorbidas por la bomba de membrana ubicada en la parte superior la cual succiona y bombea el agua de un pozo. El ariete de aguas bravas se puede comparar con un grupo motobomba de tipo convencional que requiere otra energía para derivar su capacidad de bombeo.

En este sistema el ariete motor utiliza un fluido que se genera por un río, quebrada, etc., o cualquier punto de acopio, el cual genera el golpe de ariete, y cuyo principio es el mismo del ariete convencional; mientras que para la bomba de membrana ubicada en la parte superior, se aplican las leyes de las bombas de diafragma, en la que el aumento de presión se realiza por el empuje de unas paredes elásticas que varían el volumen de la cámara aumentándolo y disminuyéndolo alternativamente, y así provocar la succión y bombeo del líquido desde el pozo de extracción hasta la altura de descarga.

¹⁰ WEINMAN, Peter. 2004. El Ariete Hidráulico. Editorial Berlín-Alemania. Pág. 64.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO Y MECÁNICO DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS

2.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo contiene el fundamento teórico para el cálculo hidráulico y mecánico del ariete de aguas bravas. Para la parte hidráulica se tomo información y ecuaciones realizadas por algunos científicos investigadores como: Reynolds, Bernoulli, Poiseuille, Newton, Darcy-Weisbach, Colebrook y Joukowski (estudio del golpe de ariete) y para la parte mecánica la teoría de Mohr y Laplace, de esta manera el trabajo a realizar tiene una sólida base teórica.

2.2 ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE LA HIDROSTÁTICA

Examinaremos el caso principal de equilibrio del líquido, cuando, de todas las fuerzas de masa sobre el líquido actúa solamente la gravedad, y obtendremos para este caso la ecuación que permite hallar el valor de la presión hidrostática en cualquier punto del volumen examinado del líquido. La superficie libre del líquido en este caso, como se sabe es un plano horizontal.

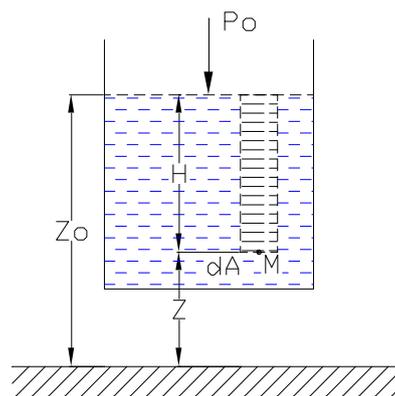


Fig. 2.1 Para la deducción de la ecuación fundamental de la hidrostática

Tomemos como se muestra en la figura 2.1, un punto M, que se encuentra en la superficie dA , bajo un volumen cilíndrico de altura H . Analicemos la condición de



equilibrio del mencionado volumen. Haciendo el balance de fuerzas que actúan en el sentido vertical tendremos.

$$P_o \cdot dA + \gamma \cdot H \cdot dA = P \cdot dA \quad [2.1]$$

Donde: $P_o \cdot dA$ = fuerza exterior.

$\gamma \cdot H \cdot dA$ = peso del líquido.

$P \cdot dA$ = fuerza del líquido sobre la base inferior.

Las fuerzas sobre la superficie lateral del cilindro no forman parte de la ecuación, ya que son normales a esta superficie.

Dividiendo entre la superficie dA y despejando P , obtendremos la ecuación fundamental o básica de la hidrostática, con la que se puede calcular la presión en cualquier punto del líquido en reposo.

$$\begin{aligned} P &= P_o + H \cdot \rho \cdot g \\ P &= P_o + H \cdot \gamma \end{aligned} \quad [2.2]$$

La magnitud P_o es igual en todos los puntos del volumen del líquido de acuerdo al principio de Pascal, “cualquier variación de la presión se transmite uniformemente en todas las direcciones”. En el segundo miembro de la ecuación se encuentra la profundidad y el peso específico del líquido, cuando aumentan estos parámetros, crece la presión¹¹.

2.3 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

2.3.1 Densidad

La densidad absoluta o específica ρ se define como el cociente entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa. Así, como en el S.I. la masa se mide en kilogramos (kg) y el volumen en metros cúbicos (m^3) la densidad se medirá en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3).

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ kg/m}^3 \quad \rho = \frac{m}{V} \text{ kg/m}^3 \quad [2.3]$$

Esta unidad de medida, es poco usada, ya que es demasiado pequeña. Para el agua, un kilogramo ocupa un volumen de un litro, es decir $0,001 \text{ m}^3$, la densidad será de:

¹¹ MECÁNICA DE FLUIDOS. 2001. [en línea] Facultad de Metalurgia y Electricidad. Cuba. Conferencia 3. Pág. 1-10.

$1000\text{kg}/\text{m}^3$. La mayoría de las sustancias tienen densidades similares a las del agua por lo que, de usar esta unidad, se estarían usando siempre números grandes. Para evitarlo, se suele emplear otra unidad de medida el gramo por centímetro cúbico (gr/cm^3).

La densidad relativa δ es la relación entre el peso del cuerpo al peso o masa de un mismo volumen de agua destilada a la temperatura de 4°C de esta forma la densidad del agua será 1 (ver Anexo B1).

2.3.2 Viscosidad¹²

La viscosidad es la propiedad de un fluido que tiende a oponerse a su flujo cuando se le aplica una fuerza. La fuerza con la que una capa de fluido en movimiento arrastra consigo a las capas adyacentes de fluido determina su viscosidad, es importante tomar en cuenta que esta propiedad depende de la temperatura, la composición y la presión del fluido. Al fluir un líquido por una tubería la mayor velocidad se encuentra en el centro del tubo y en las paredes es cero (Fig. 2.2).

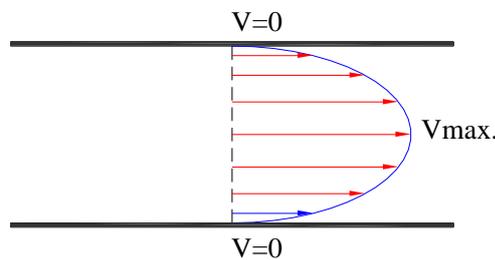


Fig. 2.2 Velocidad en una tubería

La tensión tangencial en los líquidos depende de la clase de éste y del carácter de la corriente. Si la corriente se efectúa en el régimen laminar, cambia en proporción directa al gradiente transversal de la velocidad. La ley de Newton es:

$$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy} \quad [2.4]$$

Donde: τ = tensión tangencial, Kg/m^2 .

μ = coeficiente dinámico de viscosidad, $\text{kg seg}/\text{m}^2$

$dv/dy = \dot{\gamma}$ - gradiente de velocidad.

¹² MOTT, Robert. 1996. MECÁNICA DE FLUIDOS APLICADA. Prentice Hall Hispanoamericana, 4ª Edición.



Para determinar el coeficiente de viscosidad dinámica resolvamos la ecuación 2.4:

$$\mu = \tau \cdot \frac{dy}{dv} \quad [2.5]$$

En la práctica se utiliza mucho más la relación de la viscosidad dinámica μ la densidad absoluta ρ , que es llamada viscosidad cinemática ν en m^2/s .

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad [2.6]$$

La **viscosidad dinámica** de los fluidos varía mucho con la temperatura, aumentando en los gases y disminuyendo en los líquidos, y es independiente de la presión. La **viscosidad cinemática** de los gases varía mucho con la presión y temperatura, mientras que en los líquidos varía solo con la temperatura. En el Anexo B2 se indica la viscosidad dinámica y cinemática del agua a diversas temperaturas.

2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS FLUIDOS

Los fluidos que no presentan comportamiento elástico como los sólidos, no sufren una deformación reversa cuando la tensión de corte se quita, y son llamados fluidos puramente viscosos. La tensión de corte depende sólo de la rapidez de deformación y no de la extensión de la deformación. Aquellos fluidos que exhiben tanto propiedades viscosas como elásticas son conocidos como fluidos viscoelásticos.

Para el **fluido newtoniano**, la viscosidad es independiente del gradiente de velocidad, y puede depender sólo de la temperatura y quizá de la presión. Para estos fluidos la viscosidad dinámica es función exclusivamente de la condición del fluido. La magnitud del gradiente de velocidad no influye sobre la magnitud de la viscosidad dinámica. Los fluidos newtonianos son la clase más grande de fluidos con importancia ingenieril. Los gases y líquidos de bajo peso molecular generalmente son fluidos newtonianos.

El **fluido no newtoniano** es aquel donde la viscosidad varía con el gradiente de velocidad. La viscosidad el fluido no newtoniano depende de la magnitud del gradiente del fluido y de la condición del fluido. Para los fluidos no newtonianos, la viscosidad se conoce generalmente como viscosidad aparente para enfatizar la distinción con el comportamiento newtoniano.

2.5 REGÍMENES DE CORRIENTES DE LÍQUIDO EN LOS TUBOS

2.5.1 Régimen laminar

La corriente laminar es estrictamente ordenada, de manera que el fluido se mueve en capas (en forma de tubos concéntricos cilíndricos) que no se mezclan entre sí, sino que se deslizan unos con relación a los otros.

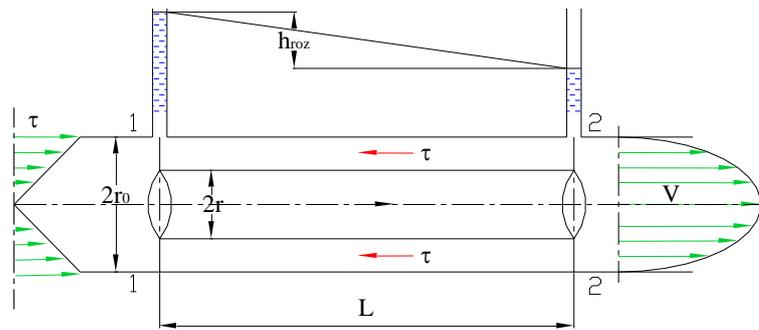


Fig. 2.3 Esquema para ilustrar la teoría de la corriente laminar en un tubo

Tomemos bastante alejado del extremo del tubo horizontal de la figura 2.3 de diámetro $d = 2r_0$ un segmento recto comprendido entre dos secciones 1-1 y 2-2, la distancia entre los cuales es igual a L . Supongamos que la presión en la primera sección es P_1 y en la segunda P_2 .

Puesto que el diámetro del tubo es constante, la velocidad y el coeficiente α serán invariables a lo largo del tubo, por lo cual la ecuación de Bernoulli para las secciones escogidas será:

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} + H_{rp} \quad [2.7]$$

Donde: H_{rp} = pérdida de altura de presión por rozamiento.

$$H_{rp} = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} \quad [2.8]$$

$$H_{rp} = \frac{P_{roz}}{\gamma}$$

Escojamos en el flujo del líquido un volumen cilíndrico de radio r coaxial con el tubo y con bases en las secciones escogidas. Escribamos la ecuación del movimiento uniforme del volumen escogido, o sea, la igualdad a cero de la suma de las dos fuerzas que actúan sobre el volumen: la fuerza de presión y la de resistencia.

Designando la tensión tangencial en la superficie lateral del cilindro con τ , tendremos:



$$(P_1 - P_2) \cdot \pi \cdot r^2 - 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L \cdot \tau = 0$$

Donde:

$$\tau = \frac{P_{roz} \cdot r}{2 \cdot L} \quad [2.9]$$

De la fórmula se ve que las tensiones tangenciales en la sección transversal del tubo cambian según la ley lineal en función del radio (se muestra a la izquierda de la figura 2.3).

Expresemos la tensión tangencial τ de acuerdo con la ley de rozamiento de Newton por medio del coeficiente de viscosidad y el gradiente transversal de velocidad; sustituyamos también la variable y (distancia de la pared) por el radio corriente.

$$\tau = \mu \cdot \frac{dV}{dy} \quad [2.10]$$
$$\tau = -\mu \cdot \frac{dV}{dr}$$

El signo “menos” está condicionado porque el sentido de la lectura de r es opuesto al de y . Introduciendo el valor τ en la ecuación anterior, tenemos:

$$\frac{P_{roz} \cdot r}{2 \cdot L} = -\mu \cdot \frac{dV}{dr} \quad [2.11]$$

De la ecuación anterior despejamos el incremento de velocidad dV .

$$dV = -\frac{P_{roz}}{2 \cdot \mu \cdot L} \cdot r \cdot dr \quad [2.12]$$

Al incremento positivo del radio corresponde el negativo (o sea, la disminución) de la velocidad, lo que corresponde al perfil de velocidades expuesto en la figura 2.3.

Ejecutando la integración resulta:

$$V = -\frac{P_{roz}}{2 \cdot \mu \cdot L} \cdot \frac{r^2}{2} + C \quad [2.13]$$

La constante de integración C se halla por las condiciones en la pared, donde se $r = r_0$, $V = 0$ por consiguiente:

$$C = \frac{P_{roz}}{4 \cdot \mu \cdot L} \cdot r_0^2 \quad [2.14]$$

Donde la magnitud de la velocidad en la circunferencia con radio r será igual a:

$$V = \frac{P_{roz}}{4 \cdot \mu \cdot L} \cdot (r_0^2 - r^2) \quad [2.15]$$

Esta es la ley de distribución de la velocidad por la sección de un tubo circular en caso de corriente laminar. La curva que corresponde a la velocidad es una parábola de segundo grado.

La velocidad máxima en el centro de la sección (si $r = 0$) es igual a:

$$V_{max} = \frac{P_{roz}}{4 \cdot \mu \cdot L} \cdot r_0^2 \quad [2.16]$$

La proporción P_{roz}/L representa la pendiente hidráulica (piezométrica) multiplicada por γ . Esta magnitud es invariable a lo largo de un tubo recto de diámetro constante.

2.5.2 Régimen turbulento

La corriente turbulenta es la que va acompañada de una mezcla intensa del líquido y oscilaciones de velocidades y presiones. Cuando la corriente es turbulenta, las líneas de corrientes se determinan sólo aproximadamente por la forma del cauce, el movimiento de las partículas resulta desordenado y las trayectorias tienen a veces la forma de curvas complicadas que se entrecruzan formando pequeños remolinos.

Esto se debe a que en las corrientes turbulentas, junto con el desplazamiento principal del líquido a lo largo del tubo, surgen desplazamientos transversales y movimientos de rotación de diferentes volúmenes del líquido.

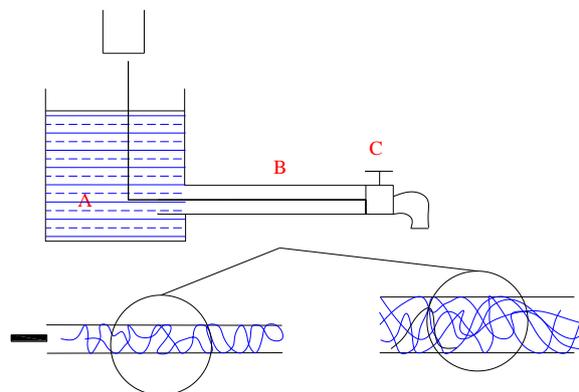


Fig. 2.4 Régimen turbulento

El régimen turbulento de corriente del líquido puede observarse en la figura 2.4. Al aumentar gradualmente la velocidad de la corriente del agua en el tubo B, abriendo el



grifo C, el cuadro del flujo al principio no cambia, pero después, a una velocidad determinada de la corriente, el régimen de esta cambia rápidamente. La vena líquida de colorante, al salir del tubo, comienza a oscilar, después se difunde y se mezcla con el agua, haciéndose visible los torbellinos y el movimiento giratorio del líquido. El régimen de la corriente se hace turbulento.

La distribución de velocidades en régimen laminar en una tubería es parabólica, y la distribución de velocidades en régimen turbulento en una tubería es logarítmica.

2.5.3 Número de Reynolds

El número de Reynolds es el cociente de una fuerza de inercia por una fuerza de viscosidad que mide el influjo relativo de esta última. Reynolds demostró que el cambio del régimen laminar a turbulento dado en un tubo tiene lugar cuando la relación entre la velocidad, el diámetro de la tubería y la viscosidad cinemática tiene un valor determinado:

$$\text{Re} = \frac{V \times D}{\nu} \quad [2.17]$$

Donde: Re = número de Reynolds, adimensional

V = velocidad media, m/seg

D = diámetro de la tubería, m

ν = viscosidad cinemática del agua, m²/seg

Para un determinado diámetro de tubería la velocidad que hace crítico el número de Reynolds se llama velocidad crítica. El número **crítico inferior** de Reynolds es aproximadamente igual a 2300, una corriente por debajo de este valor es totalmente laminar. El número crítico de Reynolds **superior** es 12000, una corriente por encima de este valor es absolutamente turbulenta.

Para la corriente turbulenta es propia la mezcla del líquido, pulsación de la velocidad y la presión durante el paso de la corriente. El carácter de las líneas de corrientes en el tubo en el momento dado es también sumamente variado. La corriente, no es estacionaria, porque las magnitudes de las velocidades y la presión, así como las trayectorias de las partículas, varían con el tiempo (Fig. 2.5).

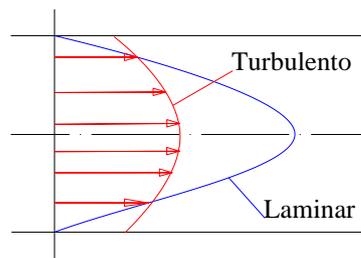


Fig. 2.5 Distribución de la velocidad en los regímenes laminar y turbulento

Las pérdidas de energía en la corriente turbulenta de un líquido en tubos de sección invariable resultan también distintas en el laminar. En la corriente turbulenta de un líquido en los tubos, en las partes inmediatas a sus paredes habitualmente hay una capa laminar. Es una capa del líquido muy fina, en la cual el movimiento es más retardado, por capa y sin mezcla, es decir, laminar.

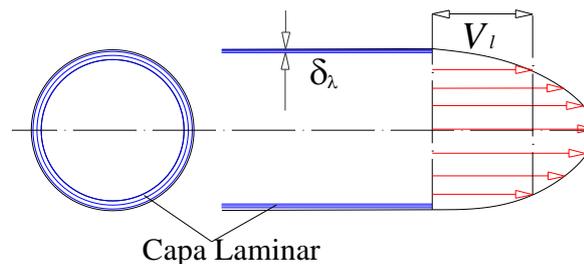


Fig. 2.6 Capa laminar cerca de la pared del tubo

Al aumentar la velocidad del flujo y, por consiguiente, el número de **Re**, crece también la velocidad V_l (Fig. 2.6) y disminuye el espesor de la capa laminar. Siendo grande el valor de **Re**, la capa laminar desaparece.

2.6 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA O PÉRDIDA DE CARGA

Las pérdidas de carga en las tuberías son de dos clases: primarias y secundarias.

2.6.1 Pérdidas primarias o por fricción en tuberías

Las pérdidas primarias son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería, rozamiento de unas capas de fluido con otras o de las partículas de fluido entre sí.



Para el cálculo de las pérdidas por fricción en tuberías se utiliza la ecuación de DARCY-WEISBACH que es de uso universal tanto para un fluido laminar como turbulento, cuya expresión es:

$$H_{rp} = \lambda \frac{L V^2}{D 2g} \quad [2.18]$$

Donde: H_{rp} = pérdida de carga primaria

λ = coeficiente de pérdida de carga

L = longitud de tubería

D = diámetro de la tubería

V = velocidad media del flujo

La expresión 2.18 en función del caudal es:

$$H_{rp} = \frac{8\lambda L}{\pi^2 g D^5} Q^2 \quad [2.19]$$

En régimen laminar ($Re \leq 2300$), el coeficiente de pérdidas primarias λ que es adimensional depende únicamente del número de Reynolds y puede calcularse mediante la expresión (Ecuación de Poiseuille):

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad [2.20]$$

En régimen turbulento ($Re \geq 2300$), el coeficiente λ depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa k_r de la tubería, siendo ésta última el cociente entre la rugosidad absoluta k de la tubería y el diámetro D :

$$k_r = \frac{k}{D} \quad [2.21]$$

En el caso del régimen turbulento el coeficiente λ puede calcularse por la ecuación de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k_r}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right)$$
$$\lambda = \frac{1.325}{\left[\ln \left(\frac{k_r}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad [2.22]$$



La ecuación de Colebrook-White es muy laboriosa, por eso en la práctica se utiliza el ábaco conocido como el **Diagrama de Moody**, que resuelve los problemas de pérdidas primarias en tuberías con cualquier diámetro, material y caudal para determinar el coeficiente λ .

➤ **Procedimiento para el cálculo de las pérdidas primarias**

Cuando la incógnita del problema es H_{rp} , utilizando el diagrama de Moody conocidos Q, L, D, ν, k (si la tubería no es circular sustitúyase $D=4R_h$):

- 1) Según el material de la tubería se toma k del Anexo B3
- 2) Se calcula la rugosidad relativa k/D
- 3) Se calcula Re por la Ec. 2.17
- 4) Se lee λ en el diagrama de Moody ver Anexo B4
- 5) Este valor de λ se lleva a la ecuación 2.18 (Darcy-Weisbach) y se calcula H_{rp}

2.6.2 Pérdidas secundarias o locales

Las pérdidas secundarias son las pérdidas de forma que tienen lugar en los cambios de sección y dirección de la corriente, en las contracciones, ensanchamientos, codos, diafragmas, válvulas de diferentes tipos, en general, todos los accesorios de tuberías. Estos elementos producen una perturbación de la corriente que origina remolinos y desprendimientos que intensifican las pérdidas.

Las pérdidas secundarias se pueden calcular por la ecuación fundamental que es similar a la de Darcy-Weisbach para las pérdidas primarias:

$$H_{rs} = \zeta \frac{V^2}{2g} \quad [2.23]$$

Donde: H_{rs} = pérdida de carga secundaria

ζ = coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria (Anexo A)

V = velocidad media en la tubería si se trata de codos, válvulas, etc. Si se trata de un cambio de sección como contracción o ensanchamiento suele tomarse la velocidad en la sección menor, lo correcto es indicar junto al valor de ζ la velocidad V que hay que tomar en cada caso.

El coeficiente ζ de la Ec. 2.23 depende del número de Reynolds, la rugosidad, del tipo de accesorio y hasta de la configuración de la corriente antes del accesorio. A continuación se indican algunos casos:

➤ **Ensanchamiento brusco y suave**

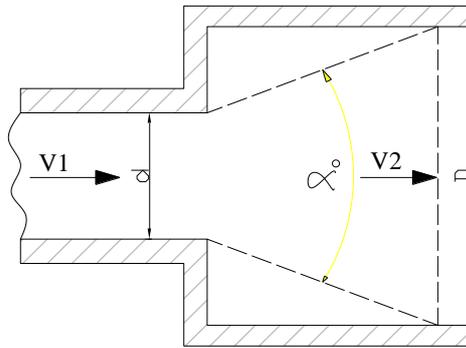


Fig. 2.7 Ensanchamiento brusco y suave

La transición de un conducto de sección circular de un diámetro d a otro mayor D puede hacerse mediante un difusor cónico de ángulo α indicado con línea de trazos en la figura 2.7. La pérdida secundaria se calcula por la ecuación 2.24, el valor de m se toma según el ángulo α del Anexo B5.

$$H_{rs} = m \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} = m \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]^2 \frac{v_1^2}{2g} \quad [2.24]$$

$$\zeta = m \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]^2 \quad [2.25]$$

➤ **Contracciones bruscas y suaves**

Es el caso opuesto al anterior, el coeficiente ζ se obtiene del Anexo B6 determinando el ángulo α que se indica en la figura 2.8.

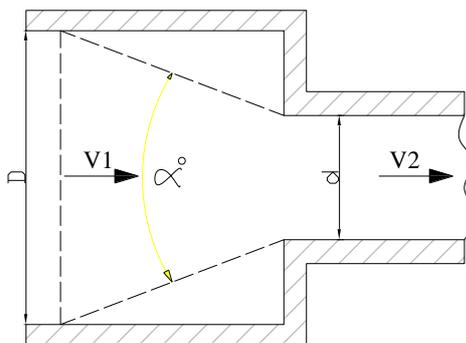


Fig. 2.8 Contracción brusca y suave

➤ *Codos*

Los coeficientes ζ para codos de sección circular se toma del Anexo B7 en los que se aducen algunos ejemplos según el diámetro y el grado del codo.

➤ *Válvulas*

El coeficiente ζ de una válvula depende del tipo de la misma, del diseño particular dentro de cada tipo y del grado de apertura dentro de cada válvula. Para las válvulas de pie con alcachofa representado en al figura 2.9 es estándar en las aspiraciones de las bombas, el coeficiente ζ se toma del Anexo B8 y B9 según el diámetro de la válvula.

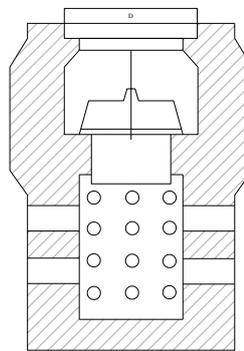


Fig. 2.9 Válvula de pie con alcachofa

2.7 CÁLCULO DE PÉRDIDAS INERCIALES

Las pérdidas inerciales representan la carga de inercia que es la resistencia de inercia al movimiento o la energía gastada para vencer las fuerzas de inercia. Se calcula según la ecuación:

$$H_{ri} = \frac{l}{g} \frac{dv}{dt} \quad [2.26]$$

Donde dv/dt es la ley de variación de velocidad con respecto al tiempo, es decir $v = f(t)$. La ecuación principal para el movimiento inestable es la de Bernoulli completada con el llamado término de inercia. Para un flujo elemental de un líquido real la ecuación tiene la siguiente forma:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + H_r + H_{ri} \quad [2.27]$$



2.8 PÉRDIDAS HIDRÁULICAS EN LA TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN. ECUACIÓN DE BERNOULLI

Para calcular las pérdidas hidráulicas aplicamos la ecuación de Bernoulli para corriente de líquido real.

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + H_r \quad [2.28]$$

$$H_r = \sum H_{rp} + \sum H_{rs} \quad [2.29]$$

Donde: p_1 = presión atmosférica a la entrada (Kg/m^2)

p_2 = presión atmosférica a la salida (Kg/m^2)

P_1/γ , P_2/γ = alturas de presión

$z_1 = H_a$ = altura de alimentación (m), (ver figura 1.6)

z_2 = altura de descarga (m)

z_1 , z_2 alturas geodésicas

v_1 = velocidad inicial (m/s)

v_2 = velocidad en la salida (m/s)

$v_1/2g$, $v_2/2g$ = alturas de velocidad

H_r = pérdida total (m).

H_{rp} = pérdidas primarias o por rozamiento (m).

H_{rs} = pérdidas secundarias o locales (m).

Si $p_1 = p_2$, las pérdidas hidráulicas en la tubería de alimentación H_a es igual a:

$$H_a = \frac{V^2}{2g} + \sum H_r$$

$$H_a = \frac{V^2}{2g} + \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + \sum \zeta \frac{V^2}{2g}$$

$$H_a = \frac{V^2}{2g} \left(1 + \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right) \quad [2.30]$$

Despejando la velocidad obtenemos¹³:

¹³ MATAIX, Claudio. 1982. MECÁNICA DE FLUIDOS Y MÁQUINAS HIDRÁULICAS. 2da. Edición. Ediciones del Castillo S.A. Madrid-España. Pág. 97.



$$V = \sqrt{\frac{2gH_a}{1 + \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta}} \quad [2.31]$$

2.9 PRESIÓN TOTAL

Al multiplicar toda la expresión 2.27 por el peso específico $\gamma = \rho g$ obtenemos unidades de presión ($\Delta p = h\gamma$).

$$\rho g z_1 + p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = \rho g z_2 + p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \Delta p_r \quad [2.32]$$

Donde: $\rho g z$ = presión de peso

p = presión hidromecánica o simplemente presión

$\rho v^2/2$ = presión dinámica

$$\begin{aligned} \Delta p_r &= \Delta p_{rp} + \sum \Delta p_{rs} \\ \Delta p_{rp} &= \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \gamma \quad \text{y} \quad \Delta p_{rs} = \zeta \frac{V^2}{2g} \gamma \\ \Delta p_r &= \lambda \rho \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} + \sum \zeta \rho \frac{V^2}{2} \end{aligned} \quad [2.33]$$

2.10 CAUDAL CIRCULANTE POR UNA TUBERÍA

Para obtener el caudal circulante por la tubería tomamos como datos: el diámetro D , la pérdida de carga H_{rp} y la rugosidad absoluta k . En el caso de que el régimen sea laminar, podemos sustituir el valor del factor de fricción λ de modo que:

$$\begin{aligned} \lambda = \frac{64}{\text{Re}} \rightarrow \text{Re} = \frac{4Q}{\pi v D} \rightarrow \lambda = \frac{16\pi v D}{Q} \\ H_{rp} = \frac{128vLQ}{\pi g D^4} \\ Q = \frac{\pi g D^4 H_{rp}}{128vL} \end{aligned} \quad [2.34]$$

En el caso de que el régimen sea turbulento, calcularemos el caudal circulante por la ecuación de Colebrook-White y la ecuación 2.34¹⁴:

$$\begin{aligned}\frac{1}{\sqrt{\lambda}} &= -2 \log_{10} \left(\frac{k_r}{3,7} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right) \\ H_{rp} &= \frac{8\lambda L}{\pi^2 g D^5} Q^2 \rightarrow \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{Q}{\pi} \sqrt{\frac{8L}{g D^5 H_{rp}}} \\ \frac{Q}{\pi} \sqrt{\frac{8L}{g D^5 H_{rp}}} &= -2 \log_{10} \left(\frac{k_r}{3,7} + \frac{2,51\nu}{4D^{1.5}} \sqrt{\frac{8L}{g H_{rp}}} \right) \\ Q &= -6,958 \sqrt{D^5 H_{rp}} \log_{10} \left(\frac{k_r}{3,7} + \frac{0,5667\nu}{D^{1.5}} \sqrt{\frac{L}{H_{rp}}} \right) \quad [2.35]\end{aligned}$$

2.11 DIÁMETRO DE LA TUBERÍA

Para dimensionar la tubería, los datos a considerar son el caudal circulante Q , la pérdida de carga H_{rp} y la rugosidad absoluta k . Desconocemos si el régimen es laminar o turbulento puesto que la incógnita es ahora el diámetro de la tubería.

Supongamos que el régimen es laminar, en tal caso podríamos despejar el valor del diámetro de la ecuación 2.34:

$$D = \sqrt[4]{\frac{128\nu L Q}{\pi g H_{rp}}} \quad [2.36]$$

Supongamos que el régimen es turbulento, en tal caso podemos obtener de la ecuación 2.35 la siguiente relación en función del diámetro, que es la combinación de las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Colebrook-White:

$$\frac{1}{D^{2.5}} = -6,958 \sqrt{\frac{H_{rp}}{Q^2 L}} \log_{10} \left(\frac{k_r}{3,7} + \frac{0,5667\nu}{D^{1.5}} \sqrt{\frac{L}{H_{rp}}} \right) \quad [2.37]$$

El diámetro se calcula en este caso siguiendo un proceso iterativo, tomando un primer valor de referencia para D como por ejemplo, el diámetro que corresponde a una velocidad de 1 m/s. Finalmente sería necesario calcular el número de Reynolds para comprobar que la hipótesis de régimen turbulento era cierta.

¹⁴ GRUPO DE MECÁNICA DE FLUIDOS. 2000. Politécnica de Valencia. Editorial Madrid.



En cualquier caso, una vez obtenido el diámetro de la tubería, encontraremos que el valor obtenido raramente corresponde con un diámetro comercialmente disponible. Por defecto, se contemplan los valores de la viscosidad cinemática del agua a distintas temperatura, aunque el valor que figura por defecto corresponde a una temperatura de 17 °C, esto es $\nu = 1,14 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

2.12 CÁLCULO DEL GOLPE DE ARIETE

Cuando no hay pérdidas al inundar la tubería, la velocidad máxima que puede alcanzar el agua con una caída de h_1 es de:

$$V_1 = \sqrt{2gh_1} \quad [2.38]$$

La energía del agua que inunda la tubería es de:

$$E_{\text{cin}} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_1 2gh_1 = m_1 gh_1 \quad [2.39]$$

La energía del agua transportada hacia arriba hasta la altura h_2 es de:

$$E_{\text{pot}} = m_2 gh_2 \quad [2.40]$$

Si se iguala, el resultado es:

$$m_1 gh_1 = m_2 gh_2 \quad [2.41]$$

Con los caudales másicos, se obtiene la relación de caudal másico:

$$\mu = \frac{m_2}{m_1} = \frac{h_1}{h_2} \quad [2.42]$$

Es decir, el caudal másico m_2 , transportado hasta la altura h_2 depende de la relación entre las alturas. A menor cantidad de agua, mayor altura de elevación. Por supuesto, esta simple relación sólo es válida si:

- En el tubo de entrada toda la energía potencial se puede convertir en velocidad.
- Toda la energía cinética se puede convertir en presión.

En la práctica, hay pérdidas a causa del funcionamiento impreciso de las válvulas y de las resistencias al flujo, por lo que se da una reducción considerable de la relación de caudal másico.

Los parámetros que debemos tomar en cuenta para la formulación matemática en la instalación de arietes hidráulicos son: El comportamiento de las pérdidas de carga por fricción o turbulencia, la longitud del recorrido de la válvula de impulso, el peso que actúa sobre la válvula de impulso, la resistencia debida a la elasticidad del agua, el material de la tubería de impulso y la duración del período durante el cual la válvula de impulso se cierra, entre otros elementos.

No obstante que el cálculo de un fenómeno transitorio es algo que queda por fuera de un tratamiento elemental, puede decirse que el más sencillo de calcular es este el golpe de ariete.

2.12.1 Golpe de ariete en un sistema central-embalse

El ejemplo clásico de un esquema central-embalse es bastante útil para comprender, la naturaleza y la generación del fenómeno del golpe de ariete. Los elementos fundamentales de este sistema son un embalse, una conducción y una central representada a su vez por una válvula (Fig. 2.10).

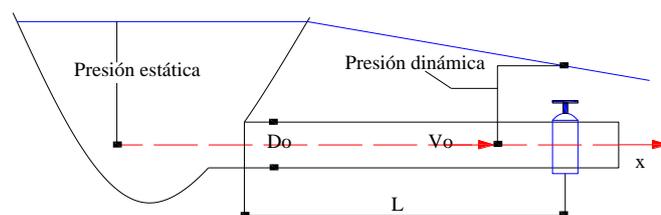


Fig. 2.10 Esquema embalse-válvula

2.12.2 Condiciones para el análisis descriptivo del fenómeno

- ✓ La conducción posee una sección uniforme de diámetro D_0 y su longitud es L .
- ✓ El embalse alimenta la conducción. Aguas abajo hay una válvula que controla el flujo. Aquí se considera el caso en que el flujo opera inicialmente en condiciones

estacionarias con la válvula a su máxima apertura. En un instante dado se inicia una operación de cierre con una duración que se asume nula (cierre instantáneo), cuya ley es lineal se ilustra en la figura 2.11.

- ✓ Se excluye de este análisis descriptivo la acción de la fricción.
- ✓ En la válvula las condiciones estacionarias son:

$$h_0 = \frac{P_0}{\gamma} \text{ (Presión dinámica Fig. 2.10)}$$

$$V = V_0$$

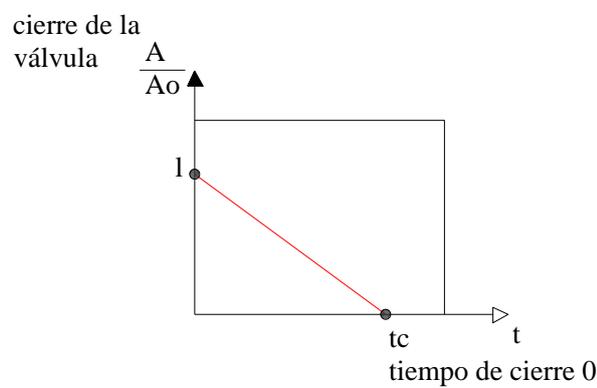


Fig. 2.11 Ley lineal de cierre de una válvula

- ✓ El embalse se considera un elemento de gran inercia, de modo que puede ser tratado como elemento de gran rigidez, es decir, no puede oscilar.
- ✓ La conducción se considera deformable y sus propiedades elásticas son: **E** Módulo de Young y **μ** Módulo de Poisson.
- ✓ El líquido se considera compresible. Su módulo de compresibilidad elástica es **E_v**.

2.12.3 Análisis cualitativo del fenómeno

Supóngase un líquido en movimiento permanente a lo largo de la mencionada conducción. Considérese que ahora se acciona la válvula, cerrándola en forma instantánea según la ley descrita arriba. En un intervalo de tiempo infinitesimal dt posterior al cierre, el movimiento cesa para un tramo de líquido de longitud infinitesimal dx , situado en la pared **m-m** de la válvula (Fig. 2.12) y cuya masa es $[A_0(\gamma/g)dx]$. Como consecuencia de esto, el líquido contenido en el elemento será comprimido en dirección al plano **m-m**, y su volumen se verá disminuido. El resto de la

columna líquida continuará en movimiento durante dt , ocupando el espacio dejado libre por $[A_0(\gamma/g)dx]$.

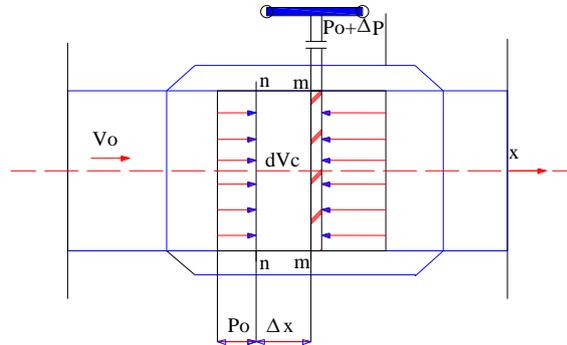


Fig.2.12 Volumen de control en la válvula

Como consecuencia de lo arriba descrito, la presión del líquido en **m-m**, que inicialmente tenía un valor P_0 , sufrirá un brusco incremento ΔP , el cual puede calcularse en forma sencilla por medio del teorema de impulso y Momentum:

Cambio en la cantidad de movimiento = fuerzas aplicadas

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \Delta F \Rightarrow \Delta P = \Delta F \Delta t \quad [2.43]$$

ΔF resultante de fuerzas impulsivas

$$\Delta F = (P_0 - P_0 - \Delta P)A_0 \Rightarrow \Delta F = -\Delta P A_0 \quad [2.44]$$

La expresión 2.44 implica que la única fuerza impulsiva actuante es la de presión $\Delta p = \Delta(mV_0) = \Delta m \cdot \Delta V_0$.

Y como $\Delta V_0 = V_{0f} - V_0$ y $V_{0f} = 0 \Rightarrow \Delta V_0 = -V_0$

Así que:

$$\Delta P = -\Delta m V_0 \quad [2.45]$$

Ahora las ecuaciones 2.43 y 2.44 en 2.45 dan que $-\Delta m V_0 = (\Delta P \Delta t) A_0$, como

$$\Delta m = A_0(\gamma/g)\Delta x$$

Al reemplazar se llega a la identidad $-A_0(\gamma/g)\Delta x = -\Delta P \Delta t A_0$, al simplificar y organizar:

$$\Delta P / \gamma = C(V_0 / g) \quad [2.46]$$

En la cual:

$$C = \frac{dx}{dt} \quad [2.47]$$

En un dt posterior se habrá detenido un nuevo estrato fluido, el más próximo al ya obtenido, y entonces la sección final del estrato **n-n** Fig. 2.12 sufrirá también un aumento brusco en su presión. Con el transcurrir del tiempo el cese del movimiento se propagará a lo largo de toda la conducción hasta llegar al embalse, produciendo en cada punto valores de presión superiores al inicial¹⁵.

2.12.4 Cálculo de la celeridad del proceso

La velocidad de propagación de las perturbaciones en un transitorio hidráulico, es lo que se denominando como celeridad a de la onda de presión. El valor de dicha celeridad fue propuesto por Korteweg, la expresión para la celeridad es:

$$a = \sqrt{\frac{\frac{K}{\rho}}{1 + \frac{D}{e} \frac{K}{E}}} \quad [2.48]$$

La celeridad depende de las características del fluido como módulo de compresibilidad K , densidad ρ , de las características de la tubería (módulo de elasticidad E en el Anexo B10, diámetro interior D y espesor e).

Para el caso particular del agua ($K=2 \times 10^4 \text{ N/m}^2$; $\rho=1000 \text{ Kg/m}^3$) puede particularizarse la expresión 2.48 de la forma:

$$a = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{K D}{E e}}} \quad [2.49]$$

Se muestra con claridad como el valor máximo para una tubería infinitamente rígida sería 1425 m/seg. Además, a menor rigidez de la conducción corresponden valores menores de la celeridad¹⁶.

2.12.5 Tiempo de cierre de la válvula

Se denomina periodo o fase de la tubería el tiempo en que la onda de sobrepresión va y vuelve de una extremidad a otra de la tubería.

¹⁵ MECÁNICA DE FLUIDOS. 2001. [en línea] Facultad de Metalurgia y Electricidad. Cuba. Conferencia 11. Pág. 8-18.

¹⁶ PASHKOV, N. 1985. MECÁNICA DE FLUIDOS. Editorial Moscú.



$$T = \frac{2L}{a} \quad [2.50]$$

Donde: T = fase o periodo de la tubería (s).

L = Longitud de la tubería (m).

a = celeridad de propagación de la onda (m/s).

tc = tiempo de cierre o maniobra.

El tiempo de cierre de la válvula es un importante factor. Si el cierre es muy rápido, la válvula quedará completamente cerrada antes de actuar la depresión. Si la válvula es cerrada lentamente, habrá tiempo para que la onda de depresión actúe, antes de la obturación completa.

Si la maniobra es rápida se determina con $t_c < \frac{2L}{a}$, (sobrepresión hay choque hidráulico directo).

Si la maniobra es lenta con $t_c > \frac{2L}{a}$, (choque hidráulico indirecto).

2.12.6 El pulso de Joukowsky (Zhukovski)

El resultado del balance de fuerzas conduce a la expresión de Joukowsky:

$$\Delta p = \rho a v \quad [2.51]$$

Donde Δp es el pulso de presión experimentado por la conducción al producirse una variación en las condiciones del flujo; ρ es la densidad del fluido; a la celeridad de la onda de presión; y v la variación experimentada por la velocidad del fluido.

La ecuación 2.51 expresada en altura piezométrica en lugar de presiones es:

$$\Delta H = \frac{a}{g} v \quad [2.52]$$

El denominado pulso de Joukowsky ($\Delta H = \frac{a}{g} v$), valor máximo que puede adoptar la expresión 2.52, cuando la reducción de expresión es completa ($v=0$), constituye en la inmensa mayoría de los casos, a la máxima sobrepresión que se puede alcanzar, toda vez que se corresponde con el máximo decremento de expresión posible. Existen, sin embargo, situaciones en las que es posible alcanzar sobrepresiones a las proporcionadas por el pulso de Joukowsky. Por un lado se encuentra el efecto de la fricción y por otro lado aparece la cavitación, los picos subsiguientes al colapso de la burbuja de vapor pueden ser varias veces superiores al de Joukowsky.



2.13 FUERZAS HIDRÁULICAS SOBRE LA VÁLVULA DE IMPULSO

La válvula de impulso se encuentra abierta y la de descarga cerrada, la velocidad del flujo es positiva. Durante el periodo de aceleración, la fuerza hidráulica sobre la válvula de derrame o impulso va en aumento hasta que empieza a exceder la fuerza “F”, y éste es el momento en el cual la válvula de derrame empieza su movimiento de cierre.

Es necesario que la velocidad de la corriente de agua en el momento que se cierra la válvula de derrame sea inferior a la velocidad del régimen bajo la carga constante H_a . La relación entre estas dos velocidades varía de 0.3 a 0.8, es decir:

$$0.3V_{\text{máx}} < V_o < 0.8V_{\text{máx}}$$

Donde: V_o = velocidad en el instante que se cierra la válvula, cuando $t = T_a$ (m/s).

$V_{\text{máx}}$ = velocidad máxima que se obtiene en la tubería de alimentación para un diámetro D (m/s).

La fuerza de arrastre que se ejerce sobre la cara inferior de la válvula, en el momento en que está válvula empieza a cerrarse, está dada por:

$$F_d = C_d \left(\frac{\rho v_o^2}{2} \right) A_d \quad [2.53]$$

Donde: F_d = fuerza de arrastre sobre la válvula de derrame, (N)

C_d = coeficiente de arrastre

ρ = densidad del fluido, (Kg/m³)

v_o = velocidad del fluido al iniciarse el cierre, (m/s)

A_d = área proyectada de la válvula de derrame, (m²)

La fuerza (F) de la válvula de derrame es igual al peso W con dirección hacia abajo, y la fuerza de arrastre F_d hacia arriba, la fuerza (F) de la figura 2.13 tiene que ser mayor para que se cierre la válvula de derrame, empezando el movimiento de la válvula cuando estas fuerzas son iguales.

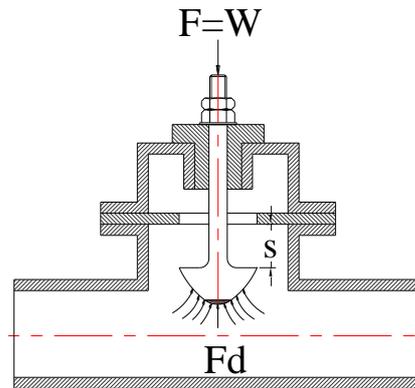


Fig.2.13 Fuerzas sobre la válvula

El factor C_d también varía según la carrera de la válvula, por lo que se tiene que encontrar una expresión de C_d que sea función de la carrera, y la única manera de evaluarlo es experimental¹⁷.

J. Krol ha desarrollado una expresión para la válvula hidrodinámica o de cuerpo esférico que relaciona el coeficiente de arrastre C_d con la carrera de la válvula “s”. Esta válvula tiene la forma de una gota lo que permite que el agua fluya rápidamente (figura 2.13), esta ecuación empírica se expresa como:

$$C_d = \frac{0,282 - 8,854s + 0,8 \cdot 10^{(0,52-270s)}}{s} \quad [2.54]$$

Donde: C_d = coeficiente de arrastre sobre la cara inferior de la válvula de derrame

s = carrera de la válvula de derrame (m).

Según D. Stevenazzi, para obtener el máximo rendimiento de un ariete, es necesario que la sección de descarga de la válvula de derrame sea igual a la sección del cuerpo tubular de la tubería de alimentación.

¹⁷ MATAIX, Claudio. 1982. MECÁNICA DE FLUIDOS Y MÁQUINAS HIDRÁULICAS. 2da. Edición. Ediciones del Castillo S.A. Madrid-España. Pág. 317.



2.13.1 Pérdida hidráulica en la válvula

J. Krol. después de realizar pruebas experimentales determinó que con el uso de la válvula hidrodinámica, se obtiene una eficiencia mayor en un 18% que en las válvulas de plato. La pérdida hidráulica en la válvula se calcula por la siguiente expresión:

$$R_{(s)} = \frac{2,43 - 1,06s + 10^{(0,95-13,3s)}}{s} \quad [2.55]$$

Donde: $R(s)$ = pérdida en válvula de impulsión

s = carrera de la válvula (plg).

2.14 PRESIÓN MÁXIMA Y MÍNIMA DE LA INSTALACIÓN

La presión máxima debido al golpe de ariete positivo y la presión mínima generada por el golpe de ariete negativo en las tuberías de circulación por gravedad esta expresada por las ecuaciones:

$$P_{\text{máx}} = H_a + h_a \quad [2.56]$$

$$P_{\text{mín}} = H_a - h_a \quad [2.57]$$

Donde: H_a = presión ejercida por la altura de alimentación

h_a = presión generada por el golpe de ariete

2.15 PRESIÓN EN LA CÁMARA DE AIRE

El cálculo del acumulador hidroneumático, desde el punto de vista termodinámico al tener una temperatura constante se aplica la ecuación de los gases ideales según Basthta T.M.

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1} \rightarrow p_1 V_1 = p_2 V_2 = \text{const} \quad [2.58]$$

Donde: $p/\gamma = \text{const}$

p_1 = presión absoluta inicial, (kg/m²)

p_2 = presión absoluta final, (kg/m²)

V_1 = volumen específico inicial del aire (m³)

V_2 = volumen específico final del aire (volumen que ocupa una unidad de peso del aire) a estas presiones (m³).



$$\gamma = \frac{1}{V} = \rho g = \text{peso volumétrico (específico) del aire (kgf/m}^3\text{)}.$$

ρ = densidad del aire (kg/m³).

g = aceleración de la gravedad (m/s²).

En el proceso isotérmico que describe esta ley, el aire se comprime o se expande conservándose constantemente la temperatura o, de otra manera, todo el calor se gasta al expandirse el gas, en realizar un trabajo exterior.

2.16 ECUACIÓN DE LAPLACE PARA LA PARTE ESFÉRICA Y CILÍNDRICA DE LA CÁMARA DE AIRE¹⁸.

La fórmula 2.59 se denomina ecuación de Laplace, utilizada para el cálculo de tensiones en recipientes esféricos y cilíndricos:

$$\frac{\sigma_1}{\rho_1} + \frac{\sigma_2}{\rho_2} = \frac{p}{e} \quad [2.59]$$

Donde: σ_1 = tensión interior, (Kgf/cm²).

σ_2 = tensión interior, (Kgf/cm²).

ρ_1 = radio de curvatura de la sección normal perpendicular al arco meridional.

ρ_2 = radio de curvatura de la superficie del recipiente (cm).

p = presión normal (Kgf/cm²).

e = espesor (cm).

La parte esférica de la cámara de aire (Fig. 2.14) esta sometida a la acción de la presión interior p . radio R , el espesor de su pared es “ e ”. Para calcular sus tensiones por medio de una sección transversal separamos una pared de la esfera, tendremos que:

$$\rho_1 = \rho_2 = R \quad [2.60]$$

Según las condiciones de simetría

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma \quad [2.61]$$

¹⁸ STIOPIN, P.A. 1979. Resistencia de Materiales. 2da edición. Editorial MIR. Moscú. Pág. 275-278.

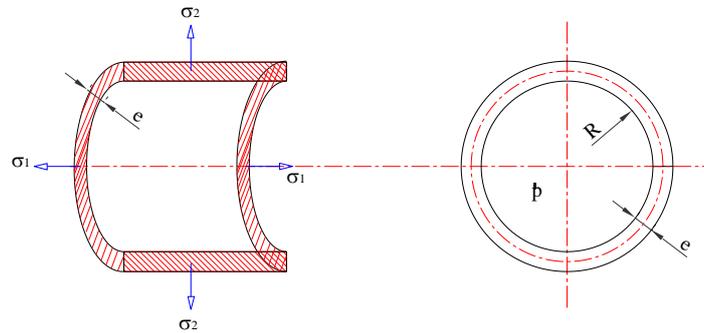


Fig. 2.14 Bóveda esférica

Por la fórmula de Laplace se obtiene:

$$\sigma = \frac{pR}{2e} \quad [2.62]$$

Puesto que en este caso el estado tensional es plano (monoaxial), para el cálculo de resistencia será necesario recurrir a una de las hipótesis de resistencia las tensiones principales son $\sigma_1 = \sigma_2$, $\sigma_2 = \sigma$ y $\sigma_3 = 0$. Según la tercera hipótesis de resistencia que dice que la tensión normal máxima no es superior a la tensión normal admisible.

$$\sigma_{eq} = \sigma_1 - \sigma_3 \leq \sigma \quad [2.63]$$

$$\sigma = \frac{pR}{2e} \leq \sigma \quad [2.64]$$

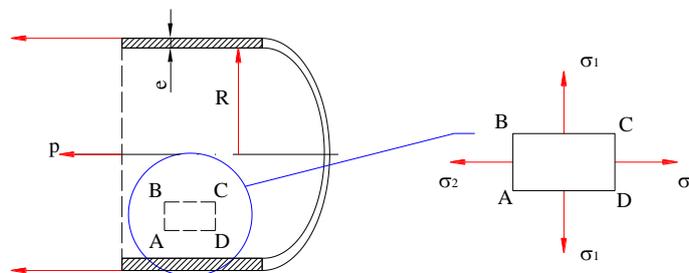


Fig. 2.15 Recipiente cilíndrico



La parte cilíndrica de la cámara de aire (Fig. 2.15) esta sometida a la acción de la presión interior p . En este caso $\rho_1 = R$ (radio del cilindro), y $\rho_2 = \infty$ (Radio de curvatura de la directriz del cilindro). De la ec. 2.59 se deduce:

$$\sigma_1 = \frac{pR}{e} \quad [2.65]$$

Para calcular la tensión σ_2 seccionamos transversalmente el recipiente y separamos una pared del cilindro y planteamos para ella la condición de equilibrio. Proyectando sobre el eje del recipiente todas las fuerzas que actúan sobre la parte separada, obtenemos:

$$-P + \sigma_2 2\pi R e = 0 \quad [2.66]$$

Siendo P la resultante de las fuerzas de presión del gas sobre el fondo del recipiente.

$$P = \pi R^2 p \quad [2.67]$$

Así pues,

$$-\pi R^2 p + \sigma_2 2\pi R e = 0$$

Es decir,

$$\sigma_2 = \frac{pR}{2e} \quad [2.68]$$

Observamos que la tensión circunferencial σ_1 es el doble de la meridional σ_2 . El elemento ABCD de la figura 2.15 separado de la bóveda cilíndrica se encuentra en estado tensional plano, según la tercera hipótesis de resistencia tenemos que la tensión equivalente es:

$$\sigma_{eq} = \sigma_1 - \sigma_3 = \frac{pR}{e} \leq [\sigma] \quad [2.69]$$

La tensión equivalente en el caso del cilindro es 2 veces mayor que la correspondiente a la bóveda esférica del mismo radio y espesor. Para calcular el espesor de la parte cilíndrica según la condición de resistencia de la ecuación 2.69 reemplazando $d = 2R$, es:

$$e_c \geq \frac{pd}{2[\sigma]} \quad [2.70]$$

De la misma manera para la parte esférica según la condición de resistencia de la ec. 2.64, el espesor es:

$$e_{es} \geq \frac{pd}{4[\sigma]} \quad [2.71]$$



2.17 CONDICIONES DE RESISTENCIA AL CORTANTE DE LA VÁLVULA DE IMPULSIÓN

La determinación de tensiones que se manifiestan en el caso de deformaciones por cizallamiento se calcula por el método de la sección. Se suele suponer que las tensiones de cizallamiento τ se distribuyen uniformemente por el área de corte (A_{cort}), debido a lo cual la resultante de las fuerzas internas de elasticidad se define como el producto del área (del corte) por la tensión de cizallamiento τ , en tanto que la condición de equilibrio se escribe así:

$$\tau A_{cort} = F$$

Donde: F = fuerza cortante, (Kg).

τ = tensión de cizallamiento, (Kgf/cm²).

A_{cort} = área o superficie de corte, (cm²).

$$A_{cort} = \pi dh \quad [2.72]$$

Las ecuaciones teóricas al efecto de determinar las tensiones tangenciales reales τ tienen el aspecto:

$$\tau = \frac{F}{A_{cort}} \leq \tau_{adm} \quad [2.73]$$

$$\tau_{adm} = \frac{\tau_f}{n} \rightarrow \tau_{adm} = 0,6\tau_f \quad [2.74]$$

Donde: τ_f = límite de fluencia (Kg/cm²).

τ_{adm} = tensiones admisibles de cizallamiento.

n = coeficiente de seguridad (1,5)

2.18 CÁLCULO DEL NÚMERO DE PERNOS

Las tensiones admisibles a la tracción de los pernos se eligen de acuerdo con la fórmula:

$$\sigma_{adm.trac.} = 0,8 \frac{\sigma_f}{n} \quad [2.75]$$

Siendo n el grado de seguridad que se toma en los límites de 1,5 a 3,0 según F. Sokolov, P. Usov.

$$\frac{F}{nA_{\text{per.}}} \leq \sigma_{\text{adm.trac.}} \quad [2.76]$$

$$A_{\text{per.}} = \frac{\pi d^2}{4}$$

Donde: n = número de pernos.

F = fuerza aplicada (kg).

$\sigma_{\text{adm. trac.}}$ = tensión admisible a la tracción (Kgf/cm²).

2.19 ECUACIÓN DE CONTINUIDAD APLICADA A LAS BOMBAS DE DIAFRAGMA

Si en una conducción determinada de una red de abastecimiento se consideran dos secciones rectas de las misma A_1 y A_2 situadas en puntos perfectamente diferenciados de la conducción que está siendo recorrida por agua con velocidades diferentes v_1 y v_2 como se indica en la figura 2.16, se puede establecer la siguiente igualdad:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = \text{Cte} = Q \quad [2.77]$$

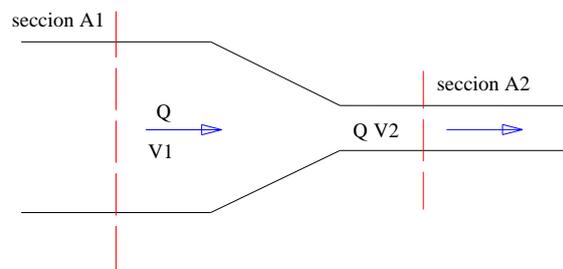


Fig. 2.16 Ecuación de la Ley de Continuidad

Esta igualdad se verifica porque para las presiones habituales de trabajo, el agua es un líquido prácticamente incomprensible y por lo tanto su peso específico se mantiene constante. La igualdad es una consecuencia de la aplicación de la ecuación de la continuidad:

$$A_1 v_1 \gamma_1 = A_2 v_2 \gamma_2 = Q \quad [2.78]$$

Donde: A_1 y A_2 = secciones rectas de las conducciones

v_1 y v_2 = velocidades del fluido en cada una de las secciones.

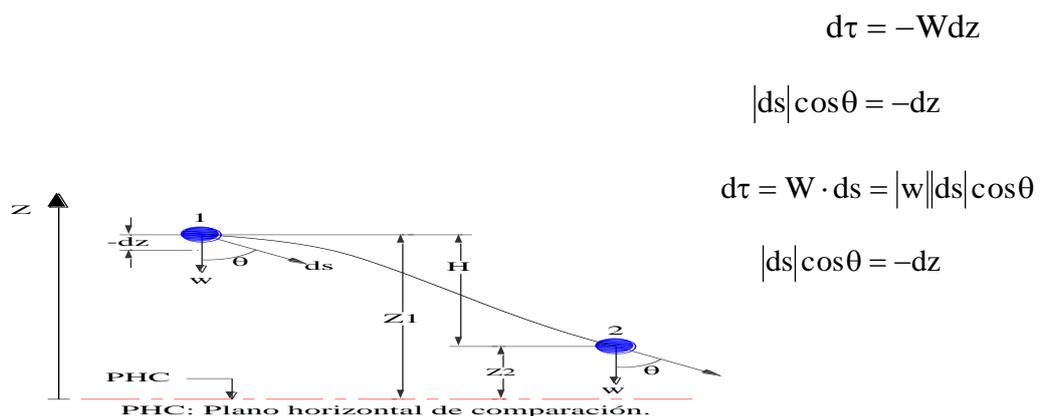
γ_1 y γ_2 = pesos específicos del fluido en cada una de las secciones.

2.20 ALTURA DE DESCARGA DE LA BOMBA

La altura de descarga de la bomba depende del material del que está constituida la bomba, es decir a las presiones que puede soportar. En las bombas de desplazamiento positivo siempre debe permanecer la descarga abierta, pues a medida que la misma se obstruya, aumenta la presión en el circuito hasta alcanzar valores que pueden ocasionar daños a la bomba; por tal causal siempre se debe colocar inmediatamente a la salida de la bomba una válvula de alivio o de seguridad, con una descarga a tanque y con registro de presión.

2.21 POTENCIA ABSORBIDA POR EL ARIETE MOTRIZ.

El trabajo que realiza una partícula de agua para desplazarse desde el punto 1 hasta el punto 2 (Ver fig. 2.17) se representa por la ecuación 2.79.



$$d\tau = -Wdz$$

$$|ds| \cos\theta = -dz$$

$$d\tau = W \cdot ds = |w||ds| \cos\theta$$

$$|ds| \cos\theta = -dz$$

Fig. 2.17 Desplazamiento en la tubería

$$\tau = -W \int_1^2 dz = -W(z_2 - z_1) = WH \quad [2.79]$$

Entonces la potencia absorbida por el ariete esta dada por la ecuación 2.80

$$P = \frac{\tau}{t} = \frac{WH}{t} = \frac{\gamma V}{t} H \quad [2.80]$$

Siendo la potencia real recibida por el ariete $P_{rec.}$ la ecuación 2.81

$$P_{rec.} = \gamma Q H_a$$

$$P_{rec.} = \gamma Q (H_b - h_T) \quad [2.81]$$

2.22 POTENCIA ENTREGADA POR LA BOMBA DE MEMBRANA

El trabajo que realiza la bomba de membrana para mover una partícula desde el punto 1 hasta el punto 2 (Ver fig. 2.18) se representa por la ecuación 2.82.

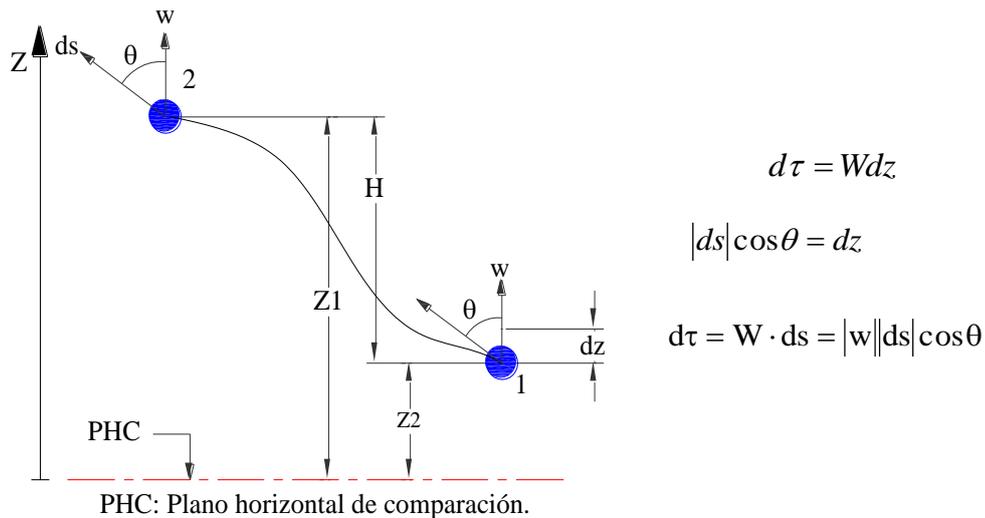


Fig. 2.18 Desplazamiento de la partícula.

$$\tau = W \int_2^1 dz = W(z_1 - z_2) = WH \quad [2.82]$$

Entonces la potencia desarrollada por la bomba esta dada por la ecuación 2.83.

$$P = \frac{\tau}{t} = \frac{WH}{t} = \frac{\gamma V}{t} H \quad [2.83]$$

Siendo la potencia de entrega de la bomba, según la ecuación 2.84.

$$P_{ent.} = \gamma Q H_a$$

$$P_{ent.} = \gamma Q (H_b + h_T) \quad [2.84]$$

2.23 FUERZA EJERCIDA SOBRE LA MEMBRANA

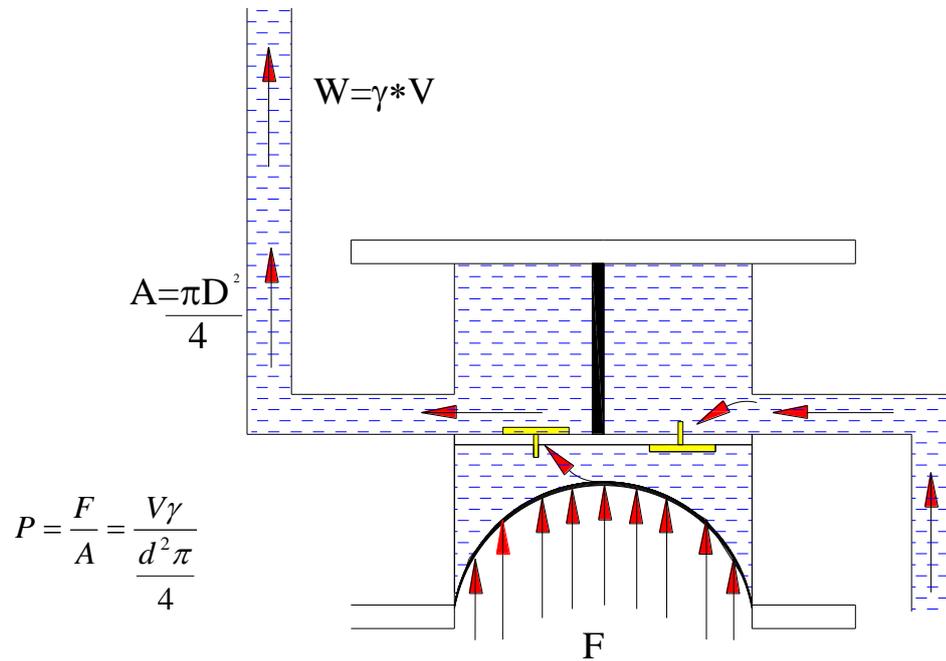


Fig.2.19 Fuerza que ejerce la Bomba sobre el líquido

2.24 METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA EFICIENCIA DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS

$$Eficiencia = \frac{Q_b}{Q_t} \times 100\% \quad [2.85]$$

Q_b = Caudal entregado por el sistema a una cierta altura (lit/min)

Q_t = Caudal total entregado por el sistema, cuyo valor es constante $Q=5$ lit/min



4. EVALUACIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN

4.1. EVALUACIÓN CUALITATIVA Y CUANTITATIVA

4.1.1. Instrucciones para el dimensionado de una instalación de ariete¹⁹

La verificación y adecuación para una instalación de ariete empieza con un examen minucioso del lugar de instalación.

¿Hacia dónde fluye el agua?

¿Dónde se requiere agua?

¿Cómo son las diferencias de nivel?

La diferencia de nivel aprovechable para el conducto de impulsión y la altura de presión se determina con un nivel automático. En grandes alturas puede realizarse con un manómetro.

La longitud de los conductos se medirá con una cinta métrica. Se determinará la capacidad de la fuente en litros, mediante un cubo y cronometro; los caudales se indican en litros por minuto.

4.1.2. Condiciones ideales para un funcionamiento seguro del ariete²⁰

Se consiguen cuando uno se aproxima a las siguientes relaciones:

➤ *El conducto de impulsión en una relación de largo a altura 1:4*

Esto significa que en 4 metros de largo e conducto debe caer 1 metro. Y, sucesivamente, en 8 metros de largo caerá 2 metros. En 12 metros de largo caerá 3 metros.

➤ *La relación de la altura de impulsión a la altura de presión debe ser de 1:6*

Es decir, una altura de impulsión de un metro impulsará el agua 6 metros arriba. O bien, 2 metros la impulsarán a 12 metros, 3 metros a 18 metros, etc.

¹⁹ WEINMAN, Peter. 2004. El Ariete Hidráulico. Editorial Berlín-Alemania. Pág. 69.

²⁰ WEINMAN, Peter. 2004. El Ariete Hidráulico. Editorial Berlín-Alemania. Pág. 33.



Si se mantienen estos valores, el funcionamiento de la instalación está garantizado. Los arietes pueden funcionar también con unas relaciones de 1:20, por supuesto, el agua transportada será menos.

4.1.3. Puesta en marcha de un ariete²¹

El pozo de extracción y el conducto de impulsión se llenan de agua. El aire del conducto de impulsión se escapa hacia arriba al pozo de extracción. La válvula del conducto de impulsión se abre y la columna de agua impulsada se detiene en la válvula de choque, que se mantiene cerrada bajo esta presión. Se produce un estado de inactividad.

Con la primera elevación de la válvula de choque con la mano, la columna de agua motriz se pone en marcha por la inclinación del tubo. El efecto de resorte hace que la válvula se mantenga abierta. La velocidad de flujo aumenta y ejerce cada vez más presión sobre la válvula, hasta que se vence la fuerza de resorte y termina por arrastrarse el cono de válvula. Se produce el primer golpe de ariete.

La presión de la columna de agua impelida abre la válvula de retención y una parte del agua se comprime en la cámara de aire, esto se mantiene mientras existe un equilibrio de fuerzas. La columna se ha apagado energéticamente y vuelve a existir un estado de inactividad. Este proceso debe repetirse muchas veces.

De este modo se bombea agua a la cámara de aire con cada impulso y aumenta la contrapresión en la cámara de aire. Al poner en marcha por primera vez la columna de agua ascendente, con cada golpe de ariete debe subir más agua y cada vez se forma más presión atrás en el ariete.

Esto significa, que el ariete requiere constantemente nuevos ajustes, hasta que sale agua por arriba en el tanque elevado y las condiciones de funcionamiento se mantienen constantes. Estos llegan al momento en que el ariete inicia su marcha automática por sí mismo. En la instalación que ahora funciona de forma automática se han ajustado las dos fuerzas, la de la columna de agua motriz y la de la columna de agua ascendente.

Una técnica atinada hace posible, mediante el jute de la fuerza de elevación y resorte de la válvula de choque, ajustar el ariete según sus particularidades únicas. Cuanto menor

²¹ WEINMAN, Peter. 2004. El Ariete Hidráulico. Editorial Berlín-Alemania. Pág. 47.

es el peso propio de la válvula, más rápidamente se abrirá y cerrará, es decir, mayor será el grado de rendimiento del ariete.

El ritmo de los golpes de ariete debe ser de entre 60 y 100 impulsos por minuto, claro que un ariete grande funcionará más lentamente que un ariete pequeño.

4.1.4. Ejemplo de un ariete de aguas bravas en Elmsteiner Tal²²

En la zona de servicio de la central de suministro de la ciudad de Lambrecht in der Pfalz, desde 1954 cuentan con un ariete de aguas bravas que abastece a tres granjas, es una instalación única por su ingenio que se mantiene operativa y en buen estado.

El ariete de aguas bravas de la figura 4.1 se alimenta desde un arroyuelo con un salto de agua de 3 metros de altura. El agua del arroyuelo fluye por un conducto de 100mm de diámetro hasta el ariete y empuja con los golpes de ariete la membrana de abajo. Por encima de la membrana de piel, el ariete aspira agua de manantial limpia y la impele por el conducto vertical de 50mm de diámetro hasta las granjas.

De este modo no se saca ni una gota de agua del arroyuelo. Lo que hace es proporcionar la energía en forma de energía cinética del agua.

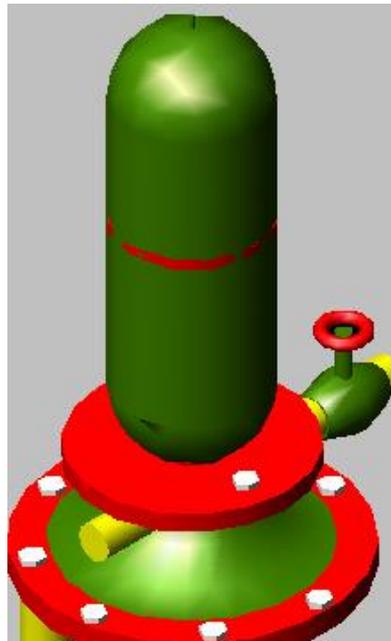


Fig. 4.1 Ariete de aguas bravas en Elmsteiner Tal

²² WEINMAN, Peter. 2004. El Ariete Hidráulico. Editorial Berlín-Alemania. Pág. 88.

4.2. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS

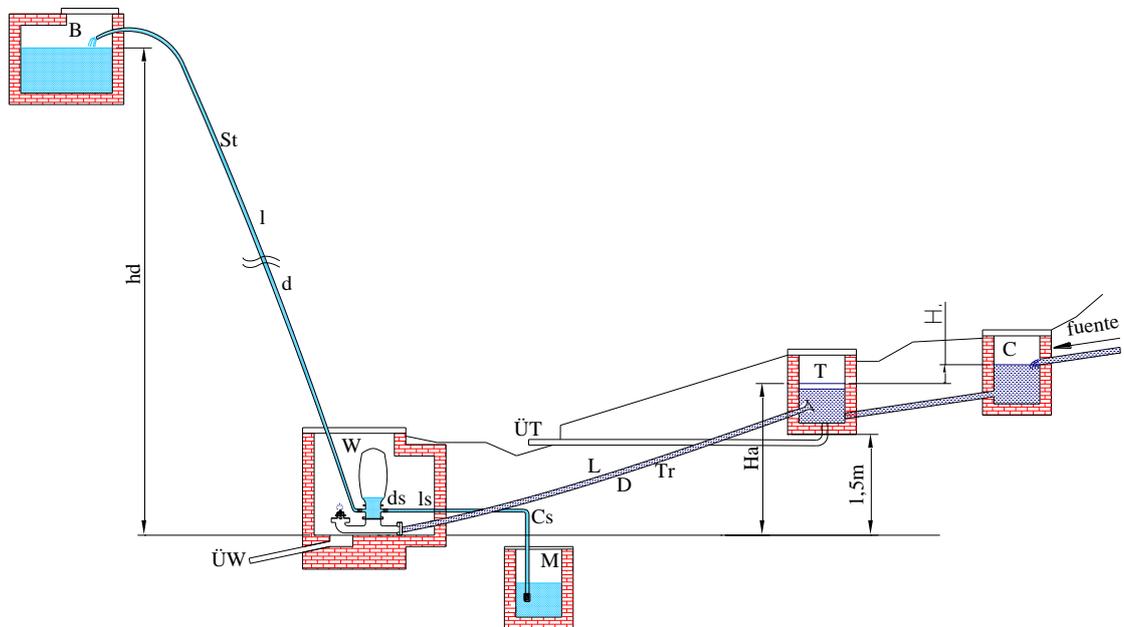


Fig. 4.2 Esquema de instalación del ariete de aguas bravas

El ariete de aguas bravas necesita de una instalación completa en la que están todos sus componentes ajustados entre sí como se indica en la figura 4.2.

C = Colector de fuente

T = Pozo de extracción

Tr = Conducto de impulsión

D = Diámetro de Tr

L = Longitud del conducto de impulsión

W = Pozo de ariete

ÜW = Canal de derrame W

ÜT = Canal de derrame T

Ha = Altura de impulsión

M = Manantial, agua filtrada

Cs = Conducto de succión

ds = Diámetro de Cs

ls = Longitud de Cs

St = Conducto vertical

d = Diámetro de St

l = Longitud de St

B = Tanque elevado

hd = Altura de presión

5. DESARROLLO DE LA PROPUESTA ALTERNATIVA

5.1 INTRODUCCIÓN

Hemos creído conveniente analizar las partes del ariete de aguas bravas, por separado, primero se analizará el ariete hidráulico y luego la bomba de diafragma, cada componente es importante debido a que sin el correcto funcionamiento del primero la bomba no se accionará, y por lo tanto no habrá la succión del fluido, por lo que primero se realizará el cálculo hidráulico del sistema y luego los cálculos de los componentes mecánicos del ariete, finalizando con la construcción de la curva de la bomba en función del caudal entregado versus la altura de presión.

5.2 DISEÑO DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS

5.2.1 CÁLCULO HIDRÁULICO DEL ARIETE

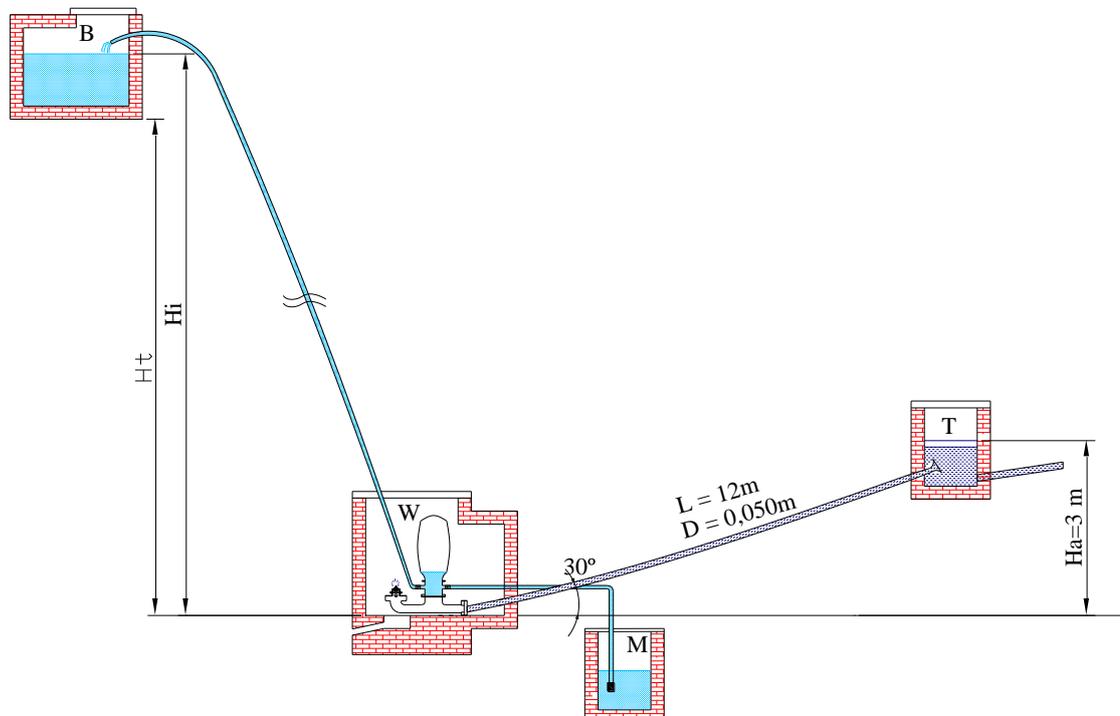


fig. 5.1 Dimensiones de la instalación de ariete hidráulico de aguas bravas

Para el cálculo de la parte hidráulica del ariete se tendrá en cuenta las dimensiones de la instalación, el tipo de régimen, las pérdidas por rozamiento, las pérdidas locales, la sobrepresión producida por el golpe de ariete, cálculo de la fuerza en la válvula de derrame.

En la figura 5.1 representamos la instalación experimental con sus dimensiones aproximadas. Lo primero que se realiza en la práctica para el dimensionamiento del sistema de bombeo de arietes hidráulicos, es medir desniveles y caudales en los meses de estiaje con los diferentes instrumentos de medida existentes.

5.2.1.1 Cálculo de la longitud de la tubería de impulsión

Lo que establece Peter Weinman constructor de arietes la relación del conducto de impulsión es de 1:4 que es por cada metro de caída 4 metros del conducto de impulsión, es por eso que elegimos una tubería de impulsión de 12m de longitud. La tubería será de acero galvanizado normalizado de un diámetro interior de 2 pulgadas y 6mm de espesor (dos tubos de 6m cada uno).

Según Kenneth Fox, el ángulo debe estar comprendido entre 10° y 45° , por lo que se lo colocará a un ángulo de 30° , ya que por experimentación se determinó que este ángulo es ideal para generar la sobrepresión en el ariete hidráulico y hacer oscilar la membrana elástica eficientemente ver figura 5.2

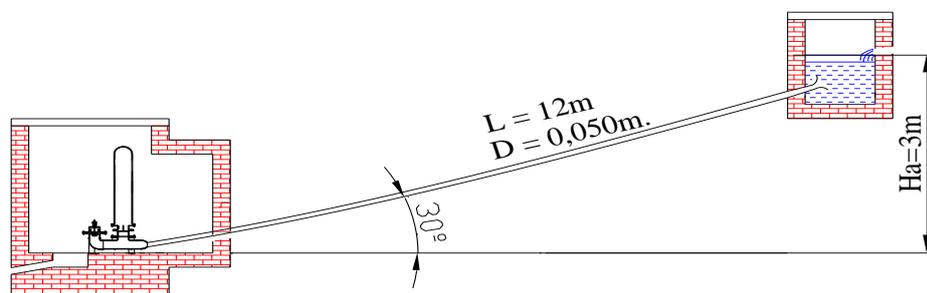


Fig. 5.2 Dimensiones de la tubería de impulsión



5.2.1.2 Determinación del tipo de régimen

Según la ecuación 2.17 sustituimos el diámetro de la tubería de impulsión de 2 pulgadas (50.8mm), la velocidad del fluido de 1m/s para fines de cálculo y la viscosidad cinemática del agua de $1,14 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ a la temperatura media en la ciudad de Loja que es de 17°C , se obtiene el número de Reynolds:

$$\text{Re} = \frac{VD}{\nu} = \frac{1 * 0,0508}{1,14 \times 10^{-6}} = 44561,403$$

Como el resultado es mayor a 2300, tenemos un régimen de trabajo turbulento.

5.2.1.3 Cálculo de pérdidas primarias en la tubería de alimentación

Determinamos la rugosidad relativa por la ecuación 2.21, teniendo en cuenta que la rugosidad absoluta de la tubería de acero galvanizado es $\square 0,0015 \text{ cm}$ (ver Anexo B3) y el diámetro interior del conducto de impulsión es 5.08cm, tenemos que:

$$k_r = \frac{k}{D} = \frac{0,00152}{5,08} = 2,99 \times 10^{-4}$$

Determinamos el coeficiente de rozamiento según la ecuación 2.22:

$$\lambda = \frac{1.325}{\left[\ln \left(\frac{k_r}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \right) \right]^2} = \frac{1.325}{\left[\ln \left(\frac{2.99(10)^{-4}}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \right) \right]^2} =$$
$$\lambda = \frac{1.325}{\left[\ln \left(1.6(10)^{-5} + 3.75(10)^{-4} \right) \right]^2} = \frac{1.325}{[7.69]^2} = 0,0223$$

Obtenemos que el factor de fricción es $\lambda = 0.0223$, en el Diagrama de Moody del Anexo B4 encontramos que el coeficiente de rozamiento es $\lambda = 0,022$.

Determinamos las pérdidas por rozamiento utilizando la ecuación 2.18, con una velocidad del fluido de 1,5 m/s (la velocidad del agua debe estar comprendida en un rango de 1 a 3 m/s) como lo hicimos anteriormente para fines de cálculo, siendo el diámetro de 0.0508m, la longitud 12m y tomando λ igual a 0,022, tenemos que:

$$H_{rp} = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$H_{rp} = 0,022 \frac{12}{0,0508} \frac{1,5^2}{2 \times 9,81}$$

$$H_{rp} = 0,59m$$

5.2.1.4 Cálculo del caudal circulante en la tubería

Considerando que tenemos un régimen de trabajo turbulento, conocemos la rugosidad relativa, pérdidas primarias, diámetro y longitud de la tubería de impulsión, se determina el caudal circulante desde el pozo de extracción hasta el final del conducto de impulsión con la ecuación 2.35.

$$Q = -6,958 \sqrt{D^5 H_{rp}} \log_{10} \left(\frac{k_r}{3,7} + \frac{0,5667v}{D^{1,5}} \sqrt{\frac{L}{H_{rp}}} \right)$$

$$Q = -6,958 \sqrt{0,0508^5 * 0,59} \log_{10} \left(\frac{2,99 \times 10^{-4}}{3,7} + \frac{0,5667 * 1,14 \times 10^{-6}}{0,0508^{1,5}} \sqrt{\frac{12}{0,59}} \right)$$

$$Q = -3,1(10)^{-3} \log_{10} (8,081(10)^{-5} + 5,64(10)^{-5} [4,5])$$

$$Q = 0,01m^3 / s$$

5.2.1.5 Cálculo del diámetro del conducto de fuente Cf

La fuente que suministrará agua al pozo de extracción del ariete, está ubicada a una distancia de 10m y tiene un desnivel de 1m (Fig. 5.3).

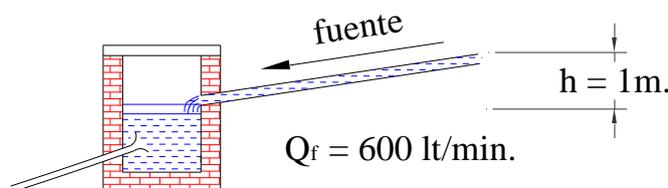


Fig. 5.3 Conducto de fuente

Aplicando la ecuación $Q=VA$, despejamos el diámetro D , donde Q es el caudal para alimentar el conducto de impulsión $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$ ($600 \text{ lt}/\text{min}$) y V es la velocidad media $1.5 \text{ m}/\text{s}$, obtenemos:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} V \rightarrow D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} = \sqrt{\frac{4 * 0,01}{\pi * 1,5}} = 0,092 \text{ m} \approx 3,62 \text{ plg}$$

En conclusión necesitamos una tubería comercial de 4 pulgadas de diámetro en el conducto de fuente Cf para alimentar al pozo del ariete.

5.2.1.6 Dimensión del tanque de alimentación

El volumen del tanque de alimentación para el ariete es de 2 m^3 (Fig. 5.4), con el caudal suministrado se llenará en 3 minutos y se vaciara en 6 minutos de esta manera se logra un nivel estable. El tanque de alimentación debe estar diseñado para que el agua rebose por su canal de derrame para que el excedente continúe su ciclo natural disminuyendo de esta manera el impacto medio ambiental.

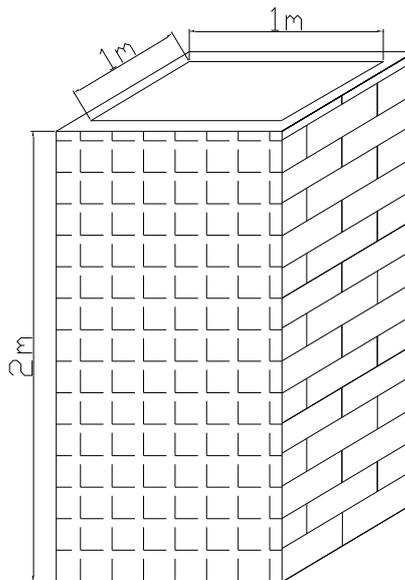


Fig. 5.4 Tanque de alimentación

5.2.1.7 Cálculo de pérdidas secundarias o locales en el ariete

En la figura 5.5 se representa las pérdidas secundarias de la instalación desde la entrada del conducto de impulsión hasta la válvula de derrame del ariete hidráulico. Primero realizaremos el cálculo del coeficiente de resistencias locales ζ para cada accesorio:

- ✓ Tobera de arista redondeada $\zeta_1 = (\text{Anexo B9})$

- ✓ Unión $\zeta_2=0,1$
- ✓ Ensanchamiento brusco donde $\alpha=5^\circ$ y hallamos $m=0,13$ del Anexo B5, luego determinamos $\zeta_3 = 0,016$ con la ecuación 2.25:

$$\zeta = m \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]^2$$

- ✓ Codo de 90° de $4''$ $\zeta_4 = 1,27$
- ✓ Resistencia de la válvula de derrame, aplicamos la ecuación 2.55, la carrera de la válvula, $s = 0,30$ pulgadas (7mm). Esta formulación es posible aplicar a válvulas que estén dentro de este rango de peso 0,1 a 0,8 Kg.

$$R_{(s)} = \frac{2,43 - 1,06s + 10^{(0,95-13,3s)}}{s} = \frac{2,43 - 1,06(0,30) + 10^{[0,95-(13,3*0,30)]}}{0,30}$$

$$R_{(s)} = 7,07 = \zeta_5$$

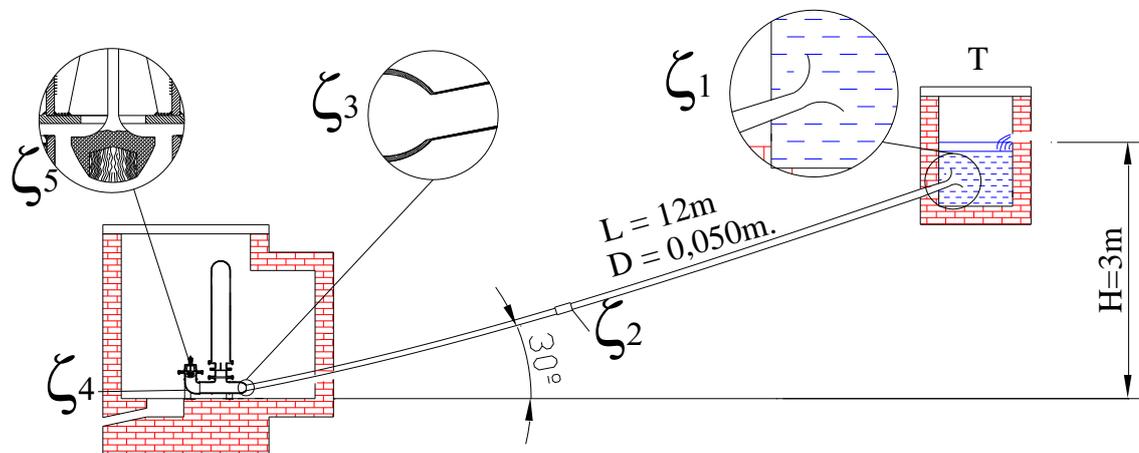


Fig. 5.5 Pérdidas secundarias de la instalación de ariete

Determinamos las pérdidas secundarias por la ecuación 2.23:



$$H_{rs} = \sum \zeta \frac{V^2}{2g}$$

$$H_{rs} = (\zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \zeta_4 + \zeta_5) \frac{V^2}{2g}$$

$$H_{rs} = (0,01 + 0,1 + 0,016 + 1,27 + 7,07) \frac{1,5^2}{2(9,81)} = 0,97m$$

5.2.1.8 Cálculo de las pérdidas hidráulicas en la tubería de alimentación

Aplicaremos la ecuación de Bernoulli 2.28 y la ecuación 2.29 de las pérdidas totales Hr.

$$H_a + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_0 \frac{v_1^2}{2g} = h_1 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + H_r$$

$$H_r = \sum H_{rp} + \sum H_{rs}$$

Si: $p_1 = p_2$, es decir, presión atmosférica en la entrada = presión atmosférica en la salida

$v_1 = 0$ m/s, $v_2 =$ velocidad media

$$h_1 = 0$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$H_a = 2m$$

Las pérdidas hidráulicas H_a en la tubería de alimentación por la ecuación 2.30 es:

$$H_a = \frac{V^2}{2g} \left(1 + \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right)$$

$$H_a = \frac{1,5^2}{2(9,81)} \left(1 + 0,022 \frac{12}{0,04} + 0,97 \right)$$

$$H_a = 0,98m$$

5.2.1.9 Cálculo del caudal necesario para alimentar al ariete

Reemplazamos la velocidad dada por la siguiente expresión $V = 4Q/\pi D^2$ en la ecuación 2.30 y tenemos la siguiente ecuación en función del caudal:

$$H_a = \frac{16Q^2}{2\pi^2 D^4 g} \left(1 + \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta \right)$$

Ahora, despejamos y calculamos el caudal Q necesario para alimentar al ariete hidráulico:



$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta}} \sqrt{2gH_a}$$
$$Q = \frac{\pi(0,039)^2}{4} \frac{1}{\sqrt{1 + 0,022 \frac{12}{0,039} + 0,98}} \sqrt{2 * (9,81)(0,98)}$$
$$Q = 1,77 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

5.2.1.10 Cálculo del área y diámetro de salida de la válvula de impulsión

En la Fig. 5.6 se indican los diámetros que tiene la válvula de impulsión, $D_1 = 0,0407\text{m}$ y $D_2 = 0,008\text{m}$, determinamos el área de salida o total:

$$A_t = (A_1 - A_2) = \left(\frac{\pi D_1^2}{4} - \frac{\pi D_2^2}{4} \right)$$
$$A_t = \left(\frac{\pi(0,0407)^2}{4} - \frac{\pi(0,008)^2}{4} \right)$$
$$A = 1,256 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Determinamos el diámetro de salida desde la ecuación del área:

$$A_t = \frac{\pi D^2}{4} \rightarrow$$
$$D = \sqrt{\frac{4A_t}{\pi}}$$
$$D = \sqrt{\frac{4 * 1,256(10)^{-3}}{\pi}}$$
$$D = 0,039\text{m}$$

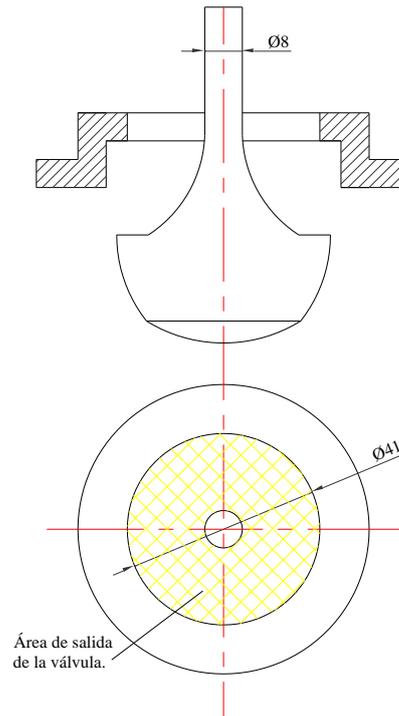


Fig. 5.6 Área de salida de la válvula de impulsión

5.2.1.11 Cálculo de la velocidad en la salida de la válvula de impulsión

Por la ecuación 2.31 obtenemos la velocidad máxima en la válvula:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2gH_a}{1 + \lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta}}$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 * (9.81)(0,98)}{1 + 0,022 \frac{12}{0,04} + (0,01 + 0,1 + 0,016 + 1,27 + 7,07)}}$$

$$V_1 = 1,09 \text{ m/s}$$

5.2.1.12 Cálculo de la presión dinámica en la válvula

Se calcula la presión que ejerce el líquido sobre la válvula cuando éste alcanza cierta velocidad y es capaz de vencer el peso de la válvula de impulso, se calcula por la ecuación de la presión dinámica en función de la velocidad se tiene:



$$Pd = \frac{V^2}{2} \rho$$

$$Pd = \frac{1,5^2}{2} 1000$$

$$Pd = 1125 Pa$$

5.2.1.13 Cálculo de la celeridad de la onda de presión

Con el módulo de compresibilidad para el agua $K=2 \times 10^4 \text{ N/m}^2$, módulo de elasticidad de la tubería E en el Anexo B10, diámetro interior D y espesor desarrollamos la ecuación 2.49 para calcular la celeridad del proceso.

$$a = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{K D}{E e}}}$$

$$a = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{2 \times 10^4}{2 \times 10^6} \frac{0,1016}{0,00792}}}$$

$$a = 1341,54 \text{ m/s}$$

5.2.1.14 Tiempo de cierre de la válvula

Calculamos el período con la ecuación 2.50.

$$T = \frac{2L}{a} = \frac{2 * 12}{1341,54} = 0,01788s$$

El cierre es rápido porque $t_c = 0,01s$, donde $t_c < \frac{2L}{a}$

5.2.1.15 Cálculo del pulso de Joukowsky (Zhukovski)

Por la ecuación 2.51 determinamos el pulso se Joukowsky:

$$\Delta p = \rho a v = 1000(1341,54)(1,5)$$

$$\Delta p = 2012310 Pa$$

$$\Delta p = 2,012 MPa$$



Como en nuestro caso el cierre es rápido, la sobrepresión máxima generada por el golpe de ariete o pulso de Joukowsky se calcula con la ecuación 2.52:

$$h_a = \frac{av}{g}$$
$$h_a = \frac{1341,54(1,5)}{9,81}$$
$$h_a = 205,12m$$

5.2.1.16 Cálculo de la presión máxima y mínima en la cámara de impulsión

La carga total máxima que debe soportar la cámara de impulsión (Ec. 2.56) será:

$$H_{tm\acute{a}x} = H_a + h_a$$
$$H_{\max} = 0,98 + 205,12$$
$$H_{\max} = 206,1m$$

La carga total $H_{tm\acute{i}n}$ que debe soportar la cámara de impulsión (Ec. 2.57) será:

$$H_{tm\acute{i}n} = H_a - h_a$$
$$H_{\min} = 0,98 - 205,12$$
$$H_{\min} = 204,14m$$

Para obtener los resultados anteriores en presión multiplicamos por la densidad y la gravedad. La presión máxima debido al golpe de ariete positivo

$$P_{m\acute{a}x} = \rho g H_{tm\acute{a}x}$$
$$P_{\max} = 1000(9,81)(206,1)$$
$$P_{\max} = 2021841Pa$$

La presión mínima generada por el golpe de ariete negativo es:

$$P_{m\acute{i}n} = \rho g H_{tm\acute{i}n}$$
$$P_{\min} = 1000(9,81)(204,14)$$
$$P_{\min} = 2002613,4Pa$$

5.2.1.17 Cálculo de las fuerzas hidráulicas sobre la válvula de impulsión

Determinamos el coeficiente de arrastre de la válvula de impulsión por la ecuación 2.54:



$$C_d = \frac{0,282 - 8,854s + 0,8.10(0,52 - 270S)}{s}$$
$$C_d = \frac{0,282 - 8,854(0,0075) + 0,8.10(0,52 - 270*0,0075)}{0,0075}$$
$$C_d = 32,08$$

La fuerza de arrastre sobre la válvula de impulsión se determina por la ecuación 2.53:

$$F_d = C_d \left(\frac{\rho v_o^2}{2} \right) A_d$$
$$F_d = 32,08 \left(\frac{1000(1,5)^2}{2} \right) 0,00048$$
$$F_d = 17,32N$$
$$F_d = 1,76Kgf$$

Con este resultado llegamos a la conclusión que el peso de la válvula puede ser de 1,5kg y puede ser regulada con pesos externos.

5.2.2 CÁLCULO HIDRÁULICO DE LA BOMBA DE MEMBRANA

5.2.2.1 Cálculo del volumen de oscilación de la membrana elástica.

$$V_M = \pi \frac{D^3}{12} = \pi \frac{0.1524^3}{12} = 9,26(10)^{-4} m^3$$

El volumen de oscilación de la membrana elástica para la descarga es $9,26(10)^{-4}m^3$, cuando cesa la presión que actúa sobre el diafragma, éste regresa a su volumen inicial, disminuyendo la presión dentro de la cámara, aspirando el líquido del pozo de extracción.

5.2.2.2 Cálculo del régimen de trabajo

Según la ecuación 2.17 sustituimos el diámetro de la tubería de 1 pulgada (25,4mm), la velocidad del fluido de 1m/s para fines de cálculo y la viscosidad cinemática del agua de $1,14 \times 10^{-6} m^2/s$ a la temperatura media en la ciudad de Loja que es de $17^\circ C$, se obtiene el número de Reynolds:



$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{1(0,0254)}{1,14 \times 10^{-6}} = 22280,7$$

Como el resultado es mayor a 2300, tenemos que el régimen de trabajo es turbulento.

5.2.2.3 Cálculo de las pérdidas primarias en el conducto de succión

Determinamos la rugosidad relativa por la ecuación 2.21, teniendo en cuenta que la rugosidad absoluta de la tubería de hierro galvanizado es $\square 0,015$ cm (ver Anexo B3) y el diámetro interior del conducto de succión es 2.54cm, tenemos que:

$$k_r = \frac{k}{D} = \frac{0,0154}{2,54} = 5,9 \times 10^{-3} = 0,005$$

En el Diagrama de Moody del Anexo B4, con la rugosidad relativa y número de Reynolds encontramos que el coeficiente de rozamiento es $\lambda = 0,03$.

Determinamos las pérdidas por rozamiento (Fig. 5.7) con la ecuación 2.18, la velocidad del fluido asumida para el cálculo es de 1 m/s, siendo el diámetro de 0.0254m y la longitud 3m, tenemos que:

$$H_{rp} = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$
$$H_{rp} = 0,03 \frac{3}{0,0254} \frac{1^2}{2(9,81)}$$
$$H_{rp} = 0,1625m$$

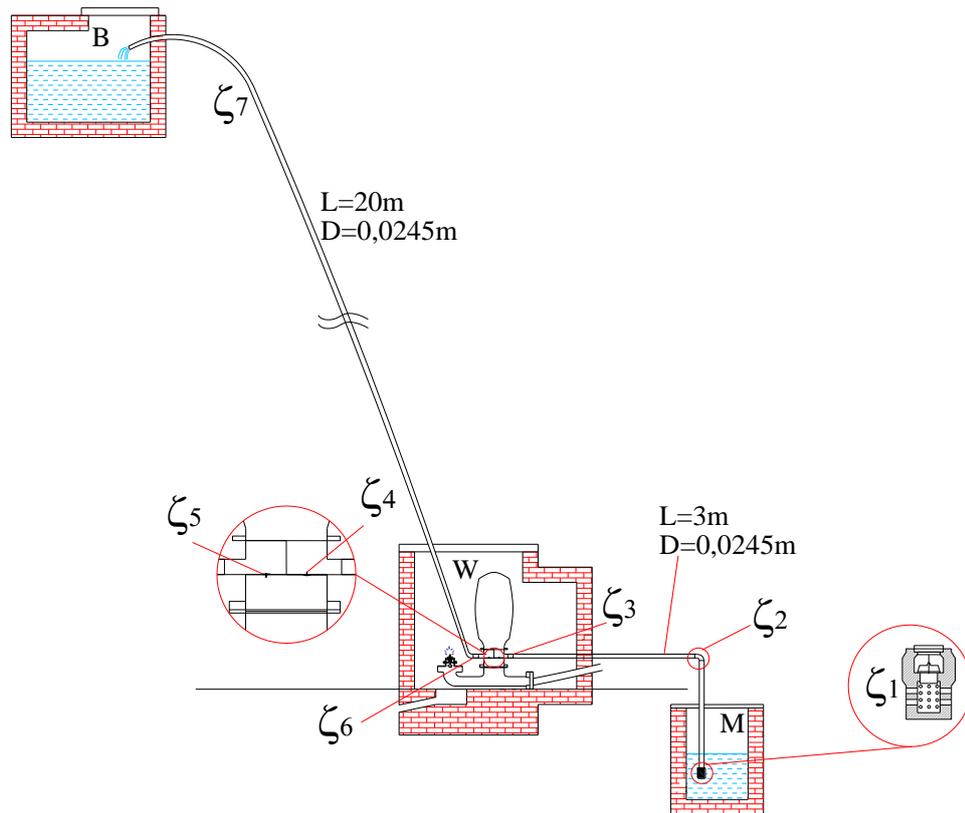


Fig. 5.7 Pérdidas primarias y secundarias de la instalación de bomba

5.2.2.4 Cálculo de las pérdidas primarias en el conducto de descarga

Determinamos la rugosidad relativa por la ecuación 2.21, teniendo en cuenta que el conducto vertical es de plástico la rugosidad absoluta es $\square 0,015$ cm (ver Anexo B3) y el diámetro interior del conducto de descarga es 2.54cm (Fig. 5.7), tenemos que:

$$k_r = \frac{k}{D} = \frac{0,0152}{2,54} = 5,9 \times 10^{-3}$$

Con el Diagrama de Moody, la rugosidad relativa y número de Reynolds encontramos que el coeficiente de rozamiento es $\lambda = 0,029$.

Determinamos las pérdidas por rozamiento con la ecuación 2.18, siendo el diámetro de 0.0254m y la longitud 20m, tenemos que:



$$H_{rp} = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$H_{rp} = 0,029 \frac{20}{0,0254} \frac{1^2}{2(9.81)}$$

$$H_{rp} = 1,16m$$

5.2.2.5 Cálculo de pérdidas locales en la succión y descarga

Se cuenta con los siguientes accesorios que se pueden observar en la figura 5.6 y sus respectivos coeficientes de resistencia ζ son:

- ✓ Válvula de pie con alcachofa de \varnothing 2.54cm $\zeta_1= 13$ (Anexo B9)
- ✓ Codo de 90° de \varnothing 2.54cm $\zeta_2= 1,13$ (Anexo B7 y B9)
- ✓ Ensanchamiento brusco $\zeta_3=0,71$
- ✓ Válvula de membrana flotante (admisión) $\zeta_4= 0,2$
- ✓ Válvula de membrana flotante (descarga) $\zeta_5= 0,7$
- ✓ Contracción brusca $\zeta_6=0,45$
- ✓ Curva uniforme de 45° $\zeta_7= 0,14$ (Anexo B9)

$$H_{rs} = \sum \zeta \frac{V^2}{2g}$$

$$H_{rs} = (\zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \zeta_4 + \zeta_5 + \zeta_6 + \zeta_7) \frac{V^2}{2g}$$

$$H_{rs} = (13 + 1,13 + 0,71 + 0,2 + 0,7 + 0,45 + 0,14) \frac{1^2}{2(9,81)} = 0,23m$$

5.2.2.6 Cálculo de pérdidas inerciales en el conducto de descarga

Es la resistencia de inercia al movimiento o la energía gastada para vencer las fuerzas de inercia para ello utilizaremos la ecuación 2.26:

$$H_{ri} = \frac{l}{g} \frac{dv}{dt}$$

$$H_{ri} = \frac{20}{9,8} \frac{1}{30}$$

$$H_{ri} = 0,068m$$

5.2.2.7 Cálculo de las pérdidas totales del sistema

Incluyendo todas las pérdidas primarias y secundarias en a succión y descarga, y las pérdidas inerciales, utilizando la ecuación 2.29:

$$H_r = \sum H_{rp} + H_{rs} + H_{ri} = 1,16 + 0,23 + 0,068 = 1,46m$$

5.2.3 CÁLCULO HIDRÁULICO EN LA CÁMARA DE AIRE

5.2.3.1 Volumen total de la cámara de aire

Siendo V_t el volumen total de la cámara de aire y $R_e = R$ radio de la esfera como se ilustra en la figura 5.7.

$$V_t = \frac{D_c^2 \pi}{4} L + \frac{2R_e^3 \pi}{3} =$$
$$V_t \frac{0,1524^2 \pi}{4} (1) + \frac{2(0,0762)^3 \pi}{3}$$
$$V_t = 18,59 \times 10^{-3} m^3$$

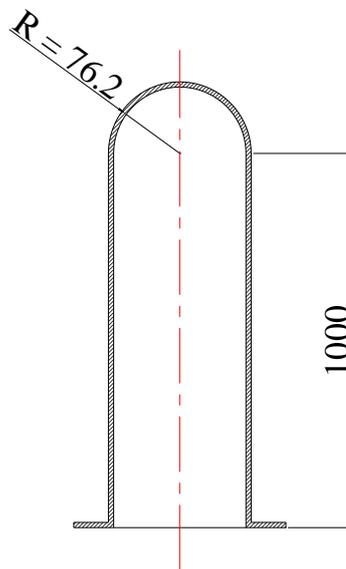


Fig. 5.8 Dimensiones de la cámara de aire

5.2.3.2 Volumen de la cámara de aire cuando contiene agua

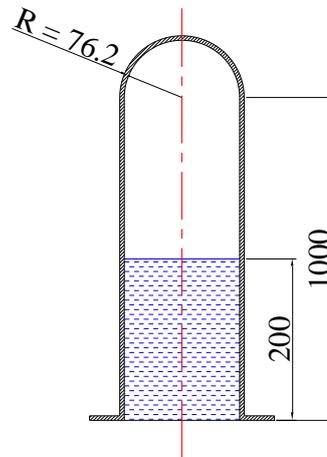


Fig. 5.9 Cámara de aire con agua

Siendo V_{ta} el volumen total de la cámara de aire y $R_e = R$ radio de la esfera (ver figura 5.8).

$$V_{ta} = \frac{D_c^2 \pi}{4} L + \frac{2R_e^3 \pi}{3}$$
$$V_{ta} = \frac{0,15^2 \pi}{4} (0,8) + \frac{2(0,0762)^3 \pi}{3}$$
$$V_{ta} = 15 \times 10^{-3} m^3$$

5.2.3.3 Volumen de agua dentro de la cámara de aire

Para este cálculo la longitud de agua dentro de la cámara se obtuvo experimentalmente

$$V_{agua} = \frac{D_c^2 \pi}{4} L_{agua}$$
$$V_{agua} = \frac{0,15^2 \pi}{4} (0,2)$$
$$V_{agua} = 3,53 \times 10^{-3} m^3$$

5.2.3.4 Cálculo del volumen V_1 en la cámara de aire durante la succión

$$V_1 = V_{ta} + V_m - V_{agua}$$
$$V_1 = 15(10)^{-3} + 0 - 3,53(10)^{-3}$$
$$V_1 = 11,47(10)^{-3} m^3$$

5.2.3.5 Cálculo del volumen V_2 en la cámara de aire durante la descarga

$$V_2 = V_{ta} - V_M - V_{agua}$$

$$V_2 = 15(10)^{-3} - 0,274(10)^{-3} - 3,53(10)^{-3}$$

$$V_2 = 11,19(10)^{-3} m^3$$

5.2.3.6 Presión en la cámara de aire antes del choque hidráulico

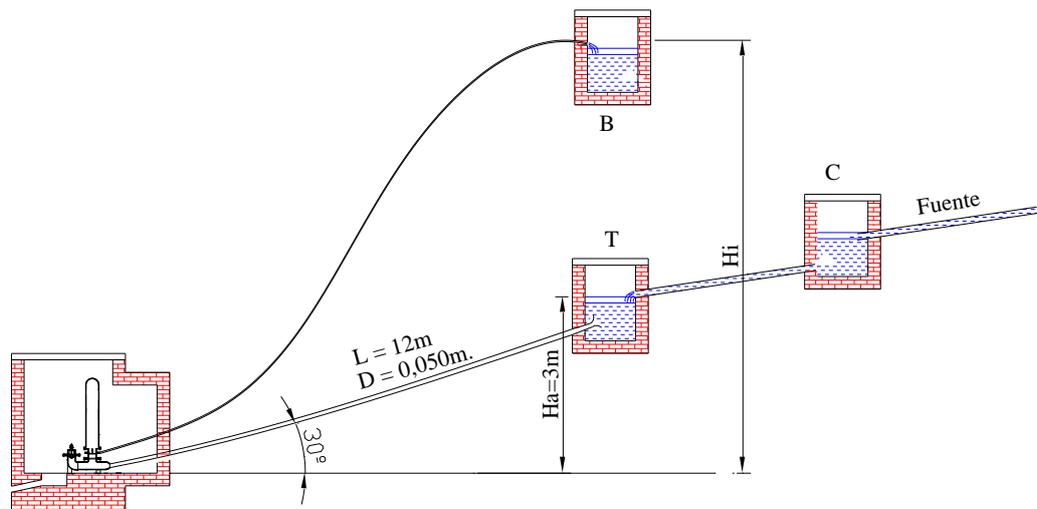


Fig. 5.10 Presión en la cámara de aire

Aplicaremos la ecuación fundamental de la hidrostática 2.2 para determinar la presión en la cámara de aire antes de choque hidráulico como se indica en la figura 5.9.

$$P_1 = P_0 (atm) + h\gamma$$

$$P_1 = 101325 + 10(1000)(9,81)$$

$$P_1 = 199430 Pa$$

$$P_1 = 20336.2 kgf / m^2$$

5.2.3.7 Cálculo de la presión 2 en la cámara de aire (durante el choque hidráulico)

Por la ecuación 2.58, donde la p_1 es la presión absoluta inicial antes del choque hidráulico, V_1 es el volumen inicial del aire y V_2 es el volumen final del aire.

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

$$P_2 = \frac{20336,2 * 11,47(10)^{-3}}{11,19(10^{-3})}$$

$$P_2 = 20845 \text{ Kg}f / m^2$$

$$P_2 = 204419,6 \text{ Pa}$$

5.2.4 POTENCIA ABSORBIDA POR EL ARIETE MOTRIZ.

La potencia absorbida por el ariete desde el tanque de alimentación hasta la válvula se representa por la ecuación 2.82. Ver fig. 5.10

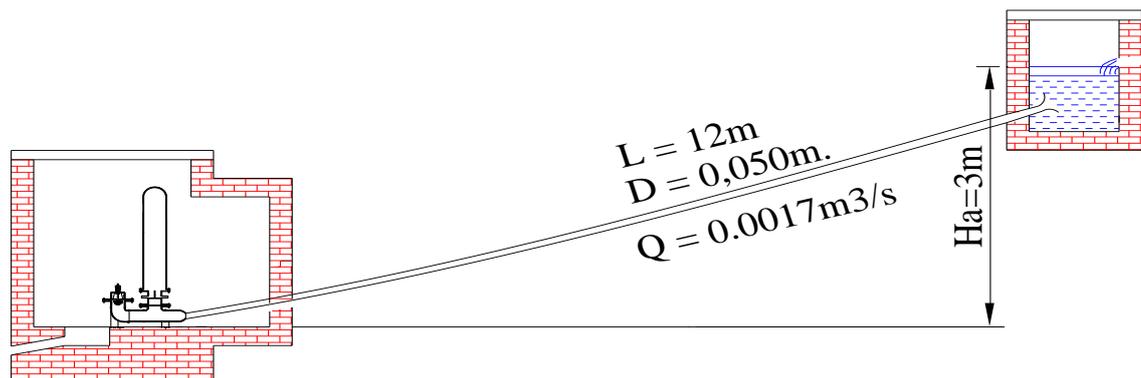


Fig. 5.11 Desplazamiento en la tubería de impulsión

$$P = \rho g Q (H_b - h_T)$$

$$P = 1000(9,8)(0.0017)(3 - 0,98)$$

$$P = 35 \text{ W}$$

5.2.5 POTENCIA ENTREGADA POR LA BOMBA DE MEMBRANA

La potencia de la bomba esta representada en la ecuación 2.85. Ver fig. 5.12

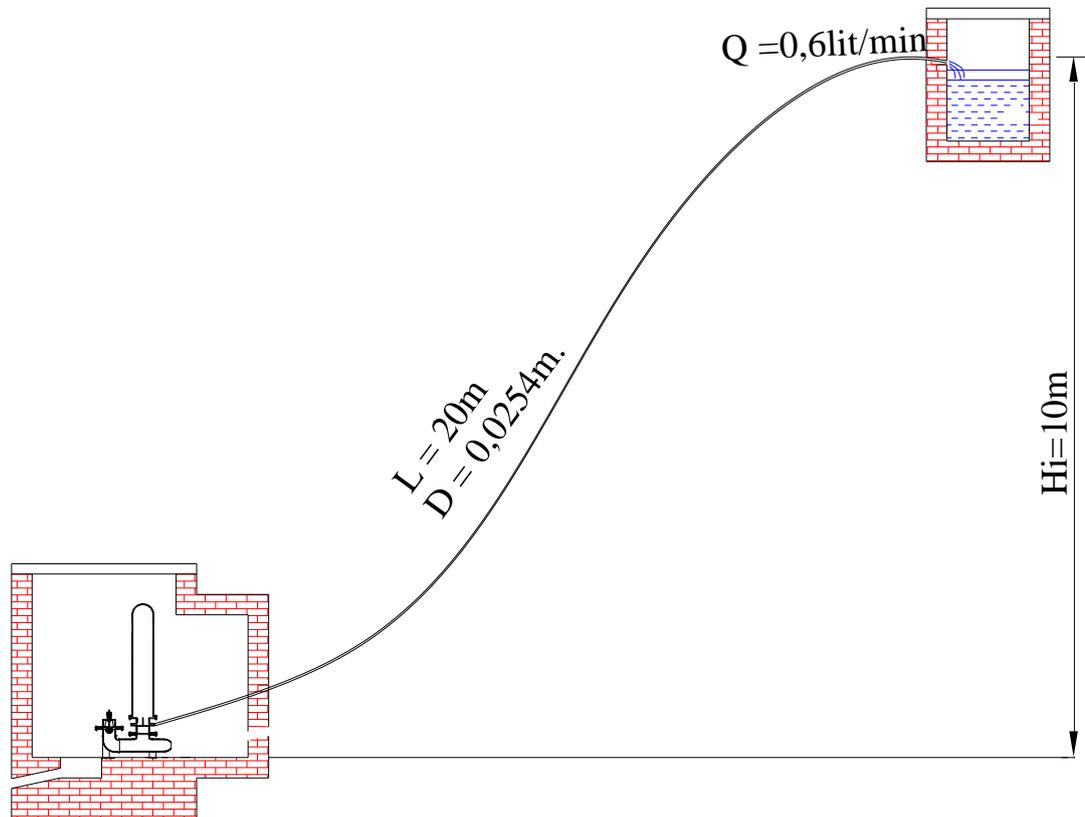


Fig. 5.12 Desplazamiento del líquido desde la bomba hasta el tanque elevado.

$$P_{ent.} = \rho g Q (H_b + h_f)$$

$$P_{ent.} = 1000(9,8) \left[1(10)^{-5} \right] (10 + 0,068)$$

$$P_{ent.} = 0,93\text{W}$$

5.2.6 CÁLCULO DE LA PRESIÓN QUE EJERCE LA TUBERÍA DE DESCARGA

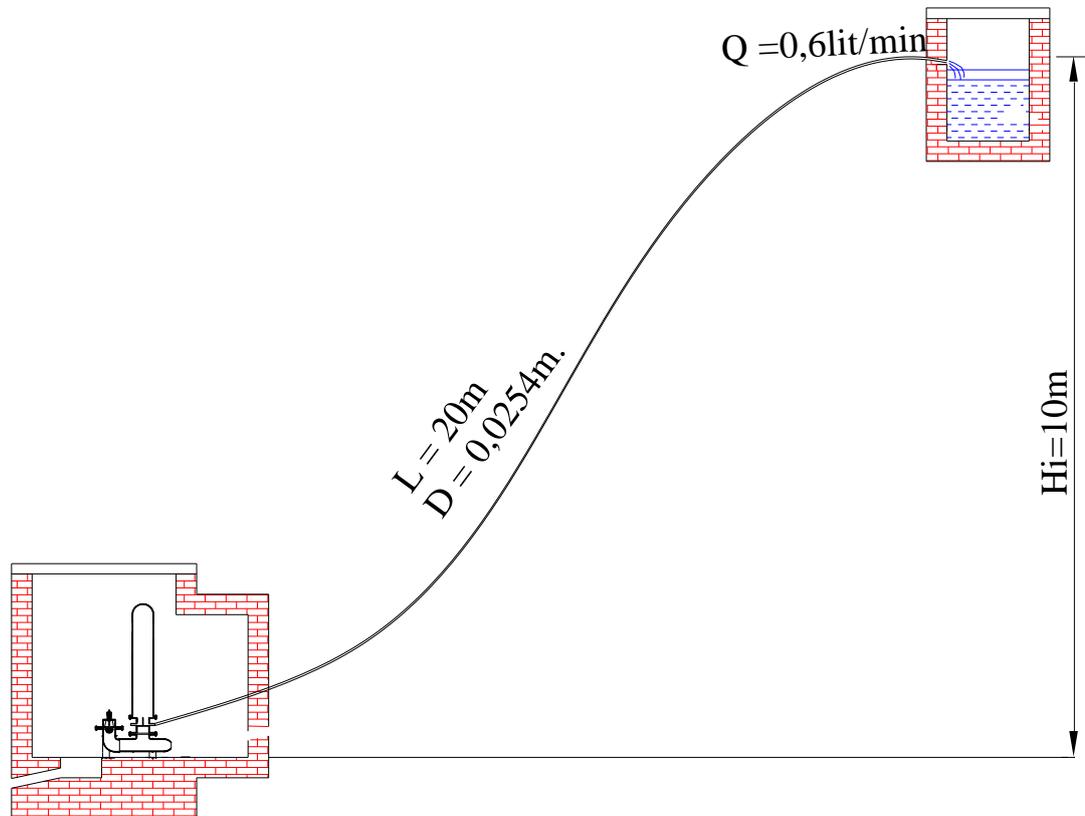


Fig.5.13. Fuerza que ejerce la Bomba sobre el líquido

Para el cálculo de la presión que ejerce la tubería de descarga de 0,0254m sobre la válvula de membrana flotante que se encuentra en la cámara, aplicaremos la ecuación de Bernoulli 2.28:

$$gZ_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2} = gZ_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2} + H_T$$

$$H_T = \sum H_{rp} + \sum H_{rs} + \sum H_{ri}$$

$$gZ_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2} = gZ_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2} + \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2} + \sum \zeta \frac{v^2}{2} + \sum \frac{l}{g} \frac{\partial v}{\partial t}$$

Entonces $Z_1=0$, porque está en nuestro nivel de referencia, la $V_1=0$, porque parte de la velocidad del reposo, $p_2=0$, es decir, no hay presión de columna de agua sobre el punto 2, entonces se tiene:



$$P = \left[gZ_2 + \frac{v_2^2}{2} + \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} + \sum \zeta \frac{V^2}{2} + l \frac{\partial v}{\partial t} \right] \rho$$

$$P = \left[(9,8)(9,5) + \frac{0,02}{2} + 0,029 \frac{20}{0,0254} \frac{(0,02)^2}{2} + (0,3) \frac{(0,02)^2}{2} + 20 \frac{0,02}{30} \right] 1000$$

$$P = 93212,2 Pa$$

$$P = 13,9 Psi$$

5.2.7 CÁLCULO DE LA ALTURA DESARROLLADA POR LA BOMBA

$$H_i = H_d + H_r = 10 + 1,46 = 11,46 m$$

Hi: Altura total desarrollada por la bomba de membrana (m)

Hd: altura desarrollada por la bomba en pruebas experimentales (m)

Hr: Sumatoria de pérdidas en el conducto de descarga (m)

5.2.8 CÁLCULO MECÁNICO DEL ARIETE

5.2.8.1 Cálculo de resistencia al cortante de la válvula de impulsión

El área de corte de la válvula de impulsión de la figura 5.10 se realiza con la ecuación

2.72:

$$A_{cort.} = \pi dh$$

$$A_{cort.} = \pi * 0,041 * 0,012$$

$$A_{cort.} = 1,545 \times 10^{-3} m^2$$

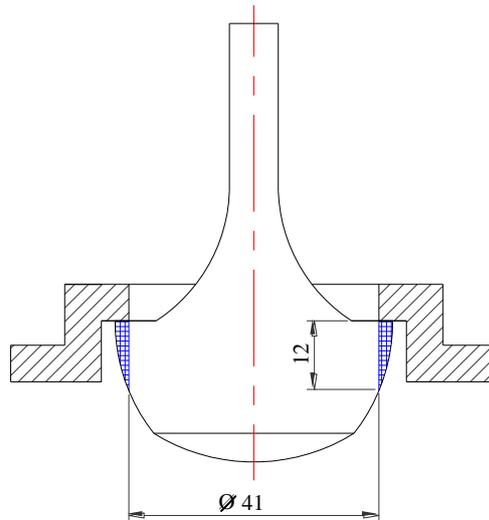


Fig. 5.14 Válvula de impulsión

La fuerza F aplicada sobre el área de contacto A de la válvula es calculada con la sobrepresión producida en el momento del choque hidráulico Δp :

$$F = \Delta p \cdot A = 2012310(0,00048)$$

$$F = 965,90 N$$

$$F = 98,56 Kgf$$

Las tensiones admisibles de cizallamiento calculamos con la ecuación 2.74, siendo τ_f el límite de fluencia a la tracción del bronce de 1100kgf/cm^2 .

$$\tau_{adm} = 0,6\tau_f = 0,6(1100) = 660 \text{ Kgf/cm}^2$$

Con la ecuación 2.73 calculamos la tensión tangencial:

$$\tau = \frac{F}{A_{cort}} \leq \tau_{adm}$$

$$\tau = \frac{965,90}{1,545 \times 10^{-3}} \leq \tau_{adm}$$

$$\tau = 625177,99 \frac{N}{m^2} \leq \tau_{adm}$$

$$\tau = 6,37 \frac{kgf}{cm^2} \leq 660 \frac{kgf}{cm^2}$$

La válvula de impulsión cumple la condición de resistencia.



5.2.8.2 Cálculo del espesor de la parte cilíndrica de la cámara de aire

La tensión admisible $[\sigma]$ se calculará con la ecuación $\sigma_{adm} = \frac{\sigma_f}{n}$, siendo el límite de fluencia a la tracción del acero F-100 de 2600kgf/cm² y el coeficiente de seguridad $n=4$.

Según la condición de resistencia que indica la ecuación 2.70, donde p es Δp la sobrepresión producida por el choque hidráulico, d el diámetro de la parte cilíndrica de la cámara y $[\sigma]$ la tensión admisible del material, el espesor de la parte cilíndrica es:

$$e_c \geq \frac{pd}{2[\sigma]}$$
$$e_c \geq \frac{20,33 * 15,24}{2[650]}$$
$$e_c \geq 0,23cm$$
$$e_c \geq 2,3mm$$

5.2.8.3 Cálculo del espesor de la parte esférica de la cámara de aire

Según la condición de resistencia que indica la ecuación 2.71, el espesor de la parte esférica es:

$$e_{es} \geq \frac{pd}{4[\sigma]}$$
$$e_{es} \geq \frac{20,33 * 15,24}{4[650]}$$
$$e_{es} \geq 0,12cm$$
$$e_{es} \geq 1,2mm$$

5.2.8.4 Cálculo del número de pernos en la cámara de aire

Designamos el diámetro interior de 6mm, tenemos que el área del perno es $A_{per} = 5,0265 \text{ cm}^2$. Calculamos el área de aplicación de la fuerza que es la parte esférica de la cámara, siendo:

$$A = \frac{\pi d^2}{2} = \frac{\pi 15,24^2}{2} = 364,82cm^2$$



La fuerza que se aplica a los pernos sería la sobrepresión máxima Δp por el área de aplicación.

$$F = \Delta p \cdot A$$

$$F = 020,52(364,82)$$

$$F = 7486,29 \text{ Kgf}$$

Siendo el límite de fluencia del acero A 36 de 2500 kgf/cm², calculamos la tensión admisible a la tracción de los pernos según la ecuación 2.75.

$$\sigma_{adm.trac.} = 0,8 \frac{\sigma_f}{n} = 0,8 \frac{2500}{3} = 666,6 \text{ Kgf / cm}^2$$

El número de pernos se calcula según la ecuación 2.76, y $n = 6$ pernos:

$$\frac{F}{nA_{per}} \leq \sigma_{adm.trac.}$$

$$\frac{7486,29}{n(5,0265)} \leq 666,6$$

$$n \leq 5,58$$

5.3 CONSTRUCCIÓN DEL ARIETE HIDRÁULICO DE AGUAS BRAVAS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

5.3.1 DIBUJO TÉCNICO Y HOJAS DE PROCESO DE MECANIZADO

Las dimensiones de los elementos constructivos del ariete hidráulico de aguas bravas se adjuntan en el Anexo C, que contiene los planos de dibujo técnico realizados en el software Auto CAD; y la tecnología de fabricación del ariete se detalla en las hojas de proceso de mecanizado en el Anexo D.

5.3.2 CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Las fotos del proceso de fabricación de ariete de aguas bravas (Fig. 5.11) construido en el Taller Mecánico de la Universidad Nacional de Loja se adjuntan en el Anexo E. La instalación, puesta en marcha y pruebas del ariete (Fig. 5.12) se realizaron en el río Zamora en el sector de Zamora Huayco de la ciudad de Loja, tras varias pruebas y

mejoramiento del sistema de bomba de membrana se consiguió que este ariete funcione eficientemente, se adjuntan fotos y videos de la etapa de prueba en el Anexo E.

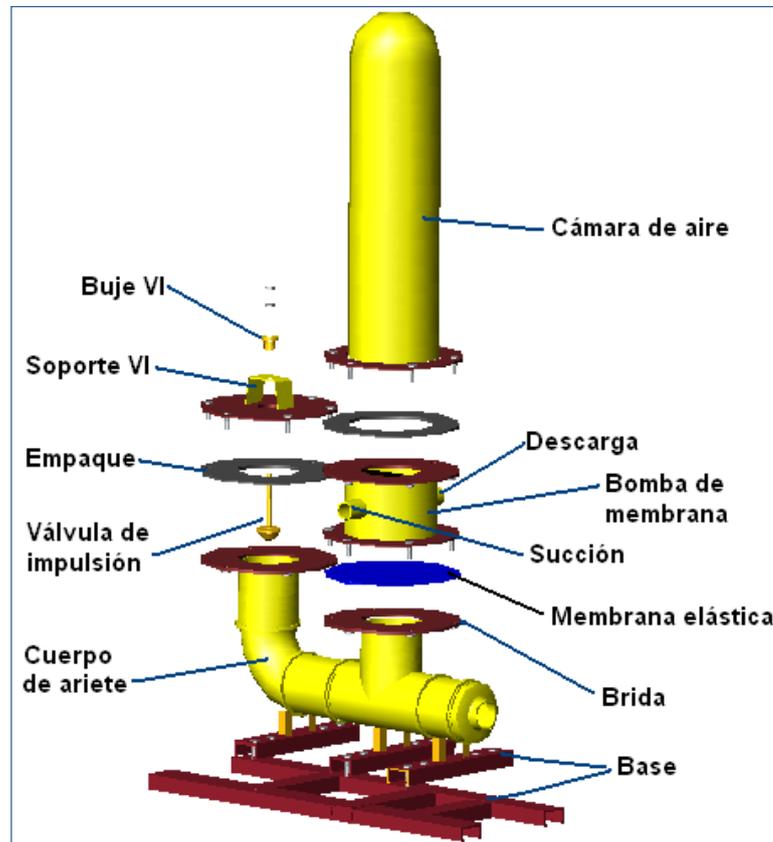


Fig. 5.15 Elementos del ariete de aguas bravas



Fig. 5.16 Instalación experimental y funcionamiento del ariete de aguas bravas

5.4 CURVA DE FUNCIONAMIENTO DEL ARIETE HIDRÁULICO Y DE LA BOMBA DE MEMBRANA.

Cuando el agua desciende por el conducto de impulsión (1), alcanza cierta velocidad que cierra la válvula de impulsión (2) bruscamente, generando una sobrepresión en el conducto de impulsión la cual es absorbida por la membrana elástica (3) de la bomba de diafragma. Al absorber ésta sobrepresión se produce una dilatación instantánea de la membrana, que acciona las válvulas de admisión (4) y descarga (5). Estas direccionan el fluido a la cámara de aire (6), en donde la presión del colchón neumático cierra la válvula de descarga (5), enviando el fluido al conducto de descarga (7) y permanece estática hasta el siguiente ciclo. Cuando cesa la sobrepresión, la membrana elástica (3) regresa a su volumen inicial, generando de esta manera la succión del líquido del pozo de extracción (8). En ese momento en la tubería de impulsión (1) hay una depresión que permite la apertura de la válvula de impulsión (2) y se renueva el ciclo. Ver fig. 5.17 y 5.18

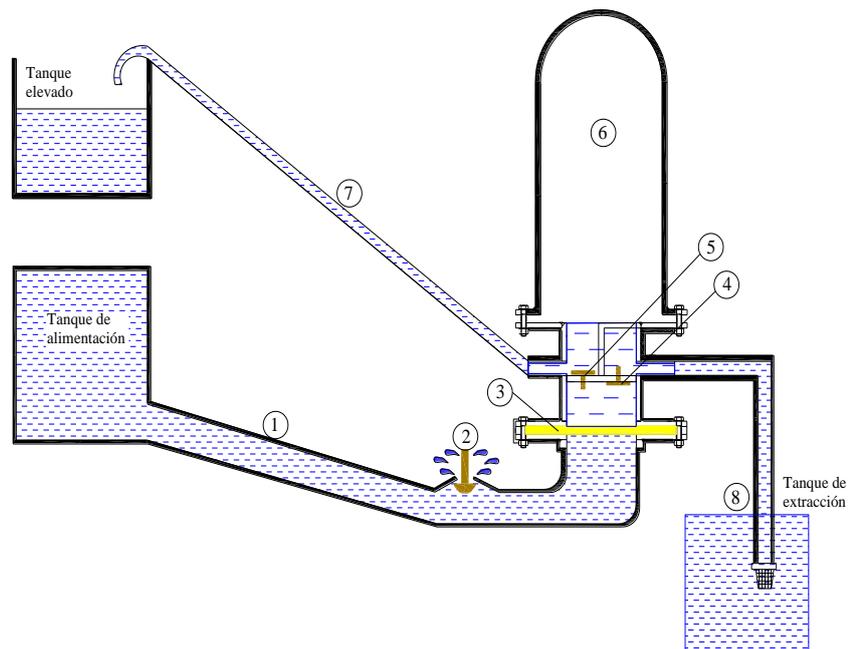


Fig. 5.17 Esquema de funcionamiento del Ariete Hidráulico y Bomba de Diafragma

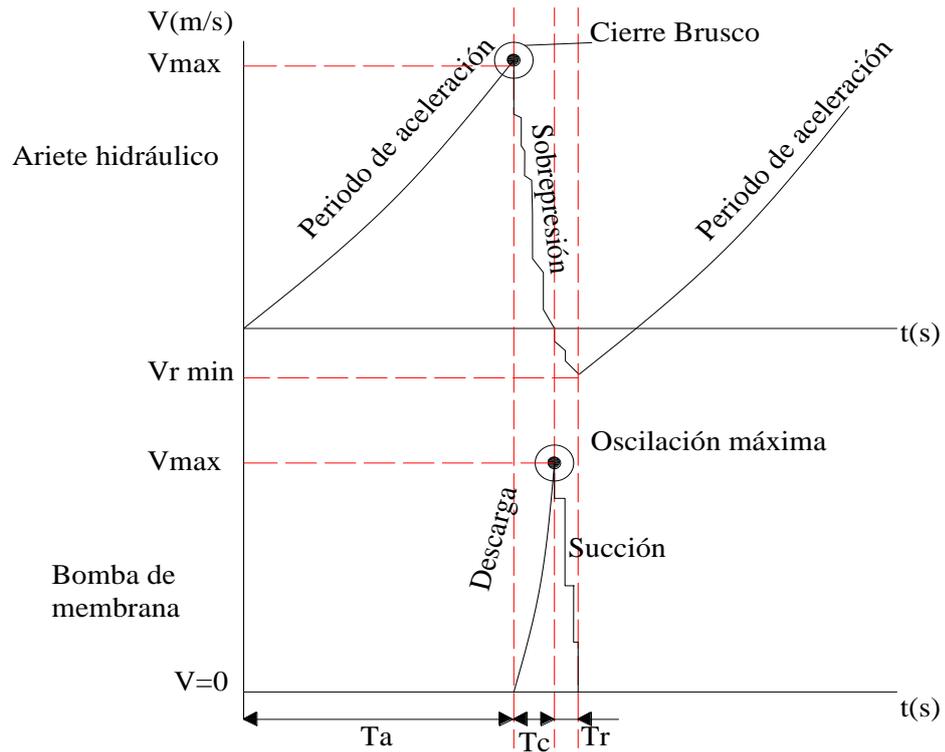


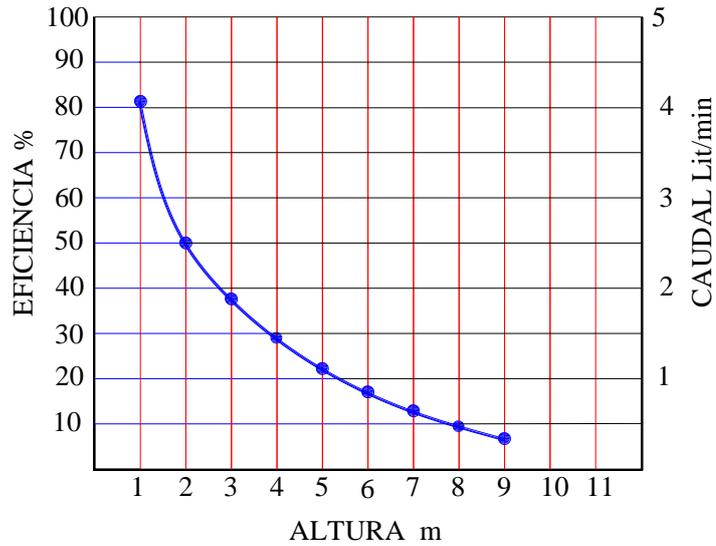
Fig. 5.18 Curva de funcionamiento del ariete y de la bomba de membrana

5.4.1 DATOS DEL BANCO DE PRUEBAS. CURVAS DE LA BOMBA

El ariete de aguas bravas fue sometido a distintas pruebas cambiando variables como la regulación en la válvula de impulsión y el ángulo comprendido entre la tubería de impulsión y la horizontal, con el fin de obtener la regulación con la que es más eficiente este ariete hidráulico, estos valores se detallan a continuación:

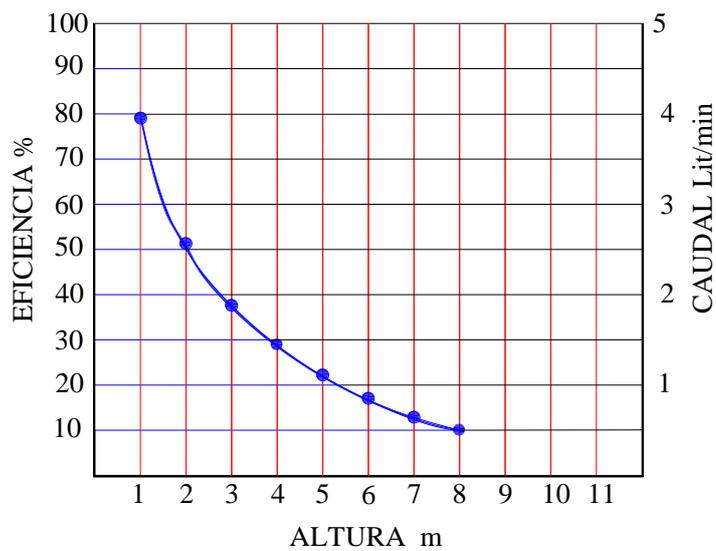
Prueba experimental N°1: Funcionamiento del ariete a 24 golpes por minuto, ángulo entre la tubería de impulsión y la horizontal 30°

Experiencia	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	N°7	N°8	N°9
Eficiencia %	82	50	38	29	22	18	12	10	04
Caudal (lit/min)	4,1	2,5	1,8	1,45	1,2	0,8	0,7	0,5	0,35
Altura(m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9



Prueba experimental N°2: Funcionamiento del ariete a 36 golpes por minuto, ángulo entre la tubería de impulsión y la horizontal 30°

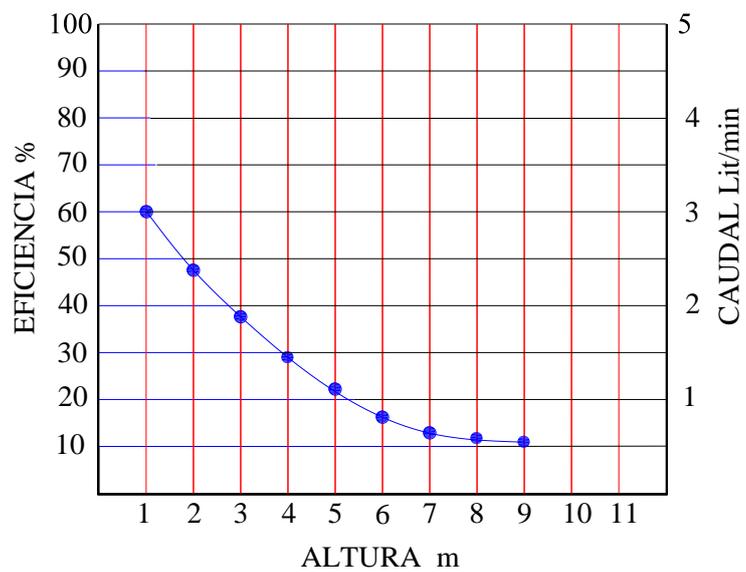
Experiencia	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	N°7	N°8
Eficiencia %	79,5	52	38	30	22	18	12	10
Caudal (lit/min)	3,95	2,6	1,9	1,5	1,1	0,8	0,6	0,5
Altura(m)	1	2	3	4	5	6	7	8





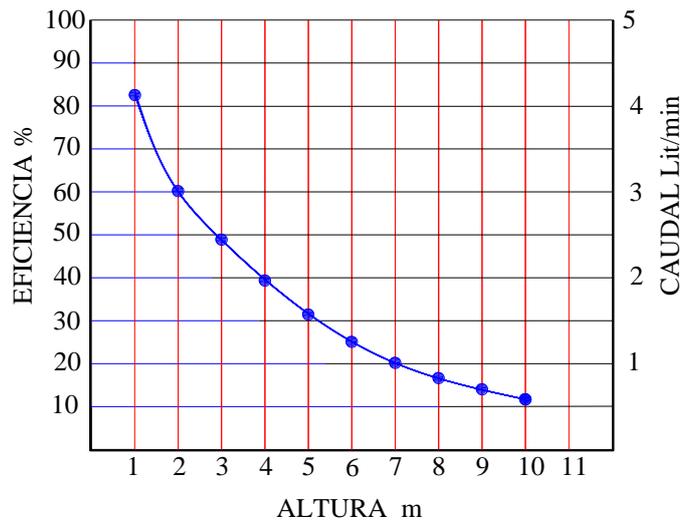
Prueba experimental N°3: Funcionamiento del ariete a 30 golpes por minuto, ángulo entre la tubería de impulsión y la horizontal 20°

Experiencia	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	N°7	N°8	N°9
Eficiencia %	60	48	38	29	22	16,5	13	12	10
Caudal (lit/min)	3	2,4	1,9	1,4	1,1	0,7	0,65	0,6	0,5
Altura(m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9



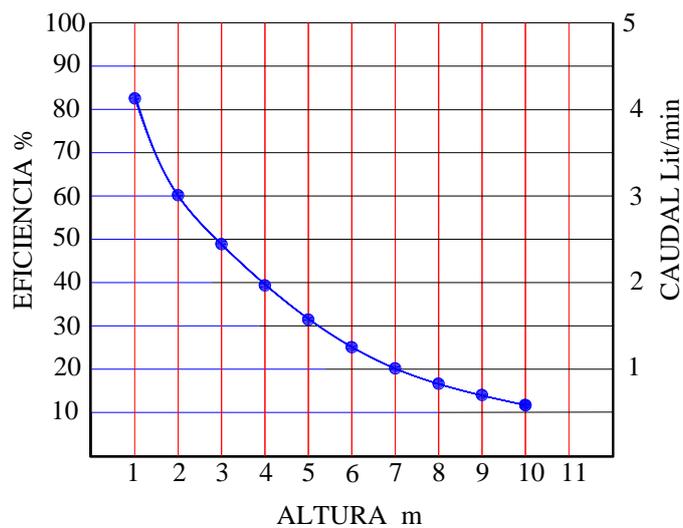
Prueba experimental N°4: Funcionamiento del ariete a 30 golpes por minuto, ángulo entre la tubería de impulsión y la horizontal 30°

Experiencia	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	N°7	N°8	N°9	N°10
Eficiencia %	82	60	49	38	32	26	20	16	14	12
Caudal (lit/min)	4,1	3	2,45	1,9	1,6	1,3	1	0,8	0,7	0,6
Altura(m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



Prueba experimental N°5: Funcionamiento del ariete a 30 golpes por minuto, ángulo entre la tubería de impulsión y la horizontal 40°

Experiencia	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	N°7	N°8	N°9	N°10
Eficiencia %	82	60	49	38	32	26	20	16	14	12
Caudal (lit/min)	4,1	3	2,45	1,9	1,6	1,3	1	0,8	0,7	0,6
Altura(m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



De acuerdo a los datos obtenidos durante las pruebas experimentales se puede concluir que el ariete hidráulico de aguas bravas construido tiene una capacidad de bombeo de



0.863m³/día. a una altura de 10m desde el nivel del pozo de extracción. Con lo que se concluye que la regulación en la válvula de impulsión debe ser de 30 golpes por minuto aproximadamente ya que esa regulación le permite una oscilación óptima a la membrana elástica y el ángulo no debe ser menor de 30°. Los datos se muestran en la Tabla 5.1. La relación entre la altura de presión y el caudal entregado (30 golpes por minuto con un ángulo de 30°) puede apreciarse en la figura 5.19 denominada curva de la bomba.

Tabla 5.1 Funcionamiento del ariete a 30 golpes por minuto

Experiencia	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	N°7	N°8	N°9	N°10
Eficiencia %	82	60	49	38	32	26	20	16	14	12
Caudal (lit/min)	4,1	3	2,45	1,9	1,6	1,3	1	0,8	0,7	0,6
Altura(m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

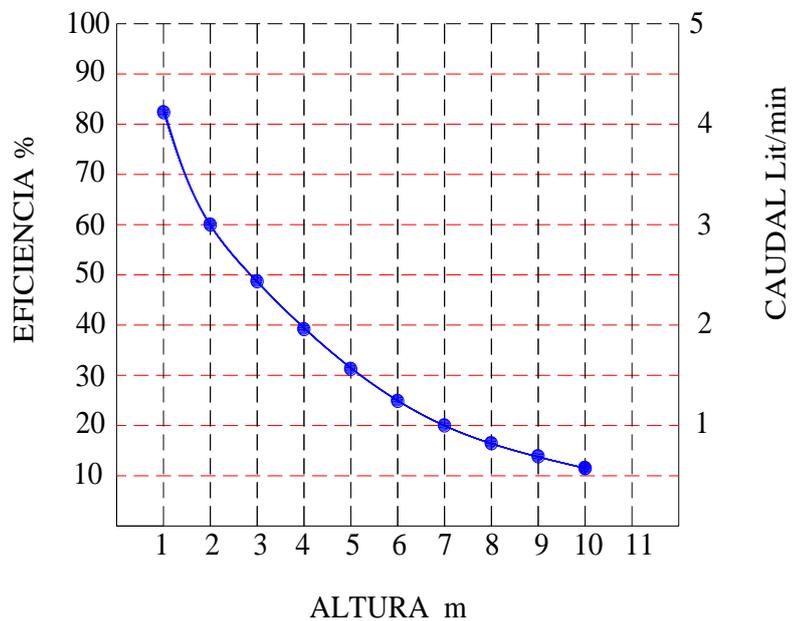


Fig. 5.19 Ariete Hidráulico de Aguas Bravas. Curva de la bomba



5.4.2 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS

$$Eficiencia = \frac{Q_b}{Q_t} \times 100\%$$

Eficiencia %	82	60	49	38	32	26	20	16	14	12
Caudal (lt/min)	4,1	3	2,45	1,9	1,6	1,3	1	0,8	0,7	0,6

5.5 SIMULACIÓN HIDRÁULICA Y ANÁLISIS DE RESISTENCIA DE MATERIALES DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS

5.5.1 SIMULACIÓN HIDRÁULICA

5.5.1.1 DYAGATS 2.0

La evolución de los transitorios de presiones creados en una conducción por perturbaciones que sobrevienen de manera programada o inopinada en uno o varios de sus puntos puede dar lugar a efectos indeseables que conviene prever para evitar sus efectos, a veces de proporciones desastrosas. Los elementos adecuados de protección, su ubicación y su comportamiento, deben ser cuidadosamente estudiados con el fin de mantener segura en todo momento la instalación.

El software DYAGATS 2.0 (Diseño Y Análisis del Golpe de Ariete en Tubería Simple) desarrollado en el Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia. Como su propio nombre indica, el paquete permite analizar el transitorio (golpe de ariete) que acontece en una tubería simple (impulsión y/o gravedad) cuando una o más perturbaciones desvían el sistema de su régimen estacionario.

La posibilidad de utilizar las bases de datos que el paquete incorpora, variar fácilmente el tipo, la ubicación y/o características de diversos dispositivos de protección, y de analizar el problema, permite llevar a cabo una labor de diseño que conduce a la

obtención de una o más estrategias sobre las que realizar una elección atendiendo a criterios de carácter no técnico.

5.5.1.2 Simulación del pulso de Joukovsky en la instalación del ariete de aguas bravas

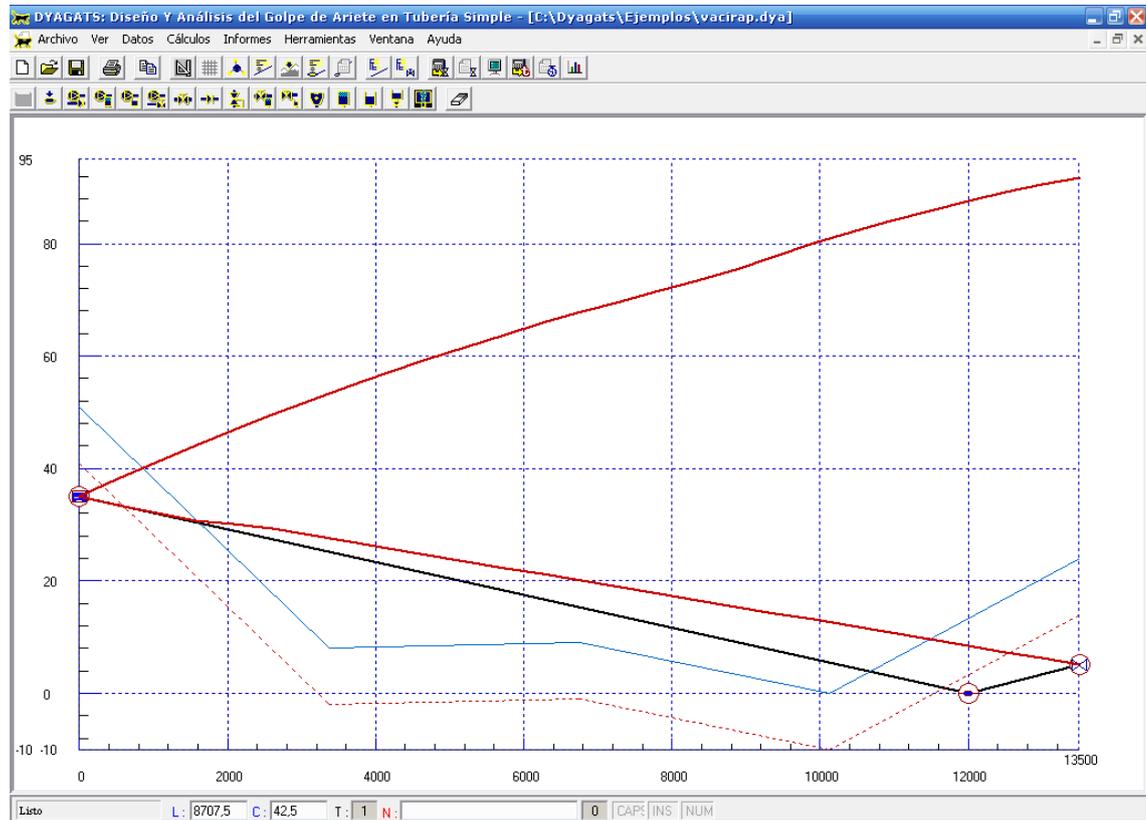


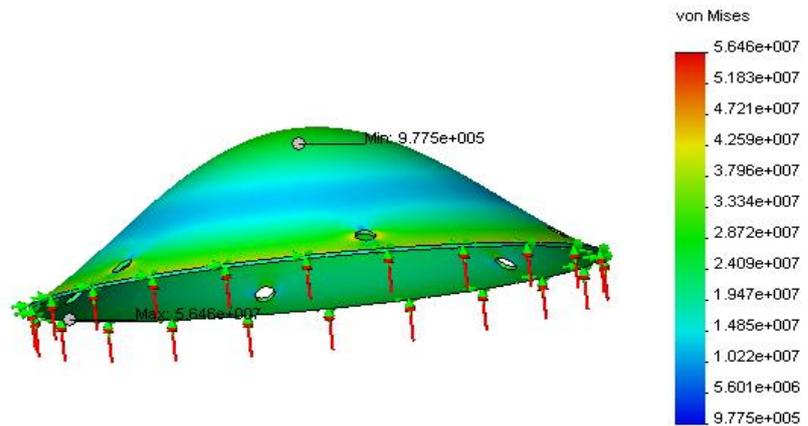
Fig. 5.20 Simulación del pulso de Joukovsky

La figura 5.16 representa la instalación del ariete de aguas bravas, desde el tanque de alimentación del ariete hasta la válvula de derrame, este software analiza el tipo de fluido, el material de la tubería, la celeridad, los cambios de dirección del fluido, hasta llegar a la válvula cuyas características se las introduce en el programa, lo que permite conocer el transitorio de presión, generando la gráfica de los valores máximo y mínimo del pulso de Joukovsky indicados en las curvas rojas cuyo valor es de 2MPa y 0,2MPa respectivamente.

5.5.2 ANÁLISIS RESISTENCIA DE MATERIALES DE LOS ELEMENTOS DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS EN COSMOSDesignSTAR 4.5

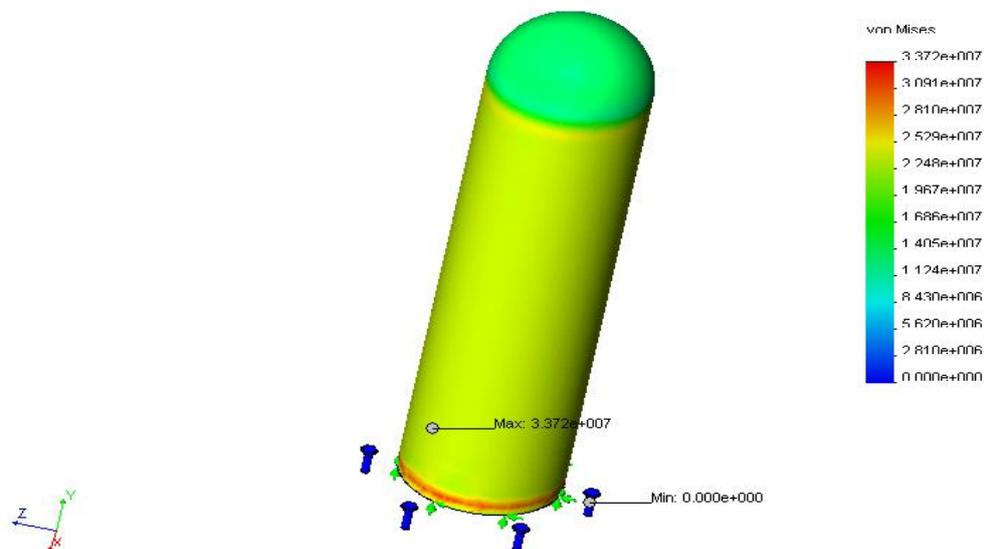
➤ Análisis de la membrana elástica de la bomba

membrana 1...membrana :: Static Nodal Stress
Units : N/m² Deformation Scale : 1 : 1



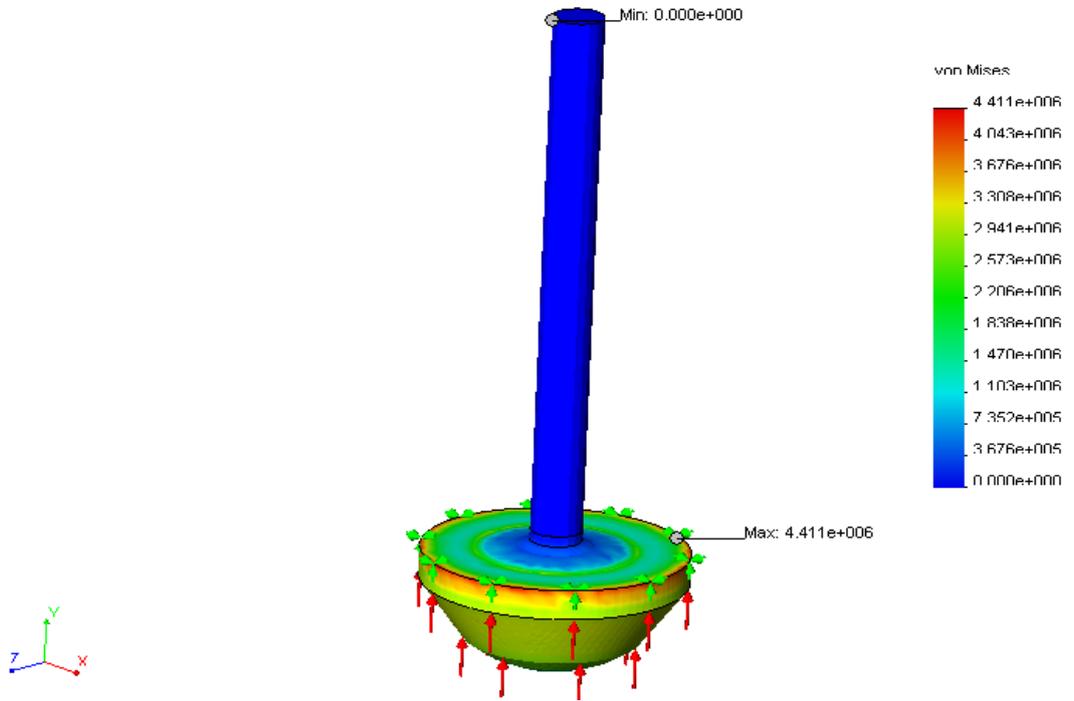
➤ Análisis de la cámara de aire

Campana 1-presion camp :: Static Nodal Stress
Units : N/m² Deformation Scale : 1 : 1



➤ Análisis de la válvula de impulsión

valvula-Fuerza en la valvula :: Static Nodal Stress
Units : N/m² Deformation Scale : 1 : 1





6. VALORACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA AMBIENTAL

6.1 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO

Para la fabricación de un ariete hidráulico de aguas bravas se necesita de los siguientes materiales que se detallan a continuación con sus costos.

Los materiales mecanizados se consiguieron en las diferentes casas comerciales con sus dimensiones en bruto.

Materiales mecanizados			
Cant.	Descripción	Valor Unit.	Total
1	Plancha HG 520x520x3	8,50	8,50
1	Cilindro HG \varnothing 152.4x1000x6	60,00	60,00
6	Plancha Ac. Cr-17 260x260x9	18,50	111,00
1	Cilindro HG \varnothing 160.8x180x4	15,00	15,00
5	Plancha de Polietileno 250x250x3	6,50	32,50
1	Plancha de Ac. Cr-17 105x154x9	14,25	14,25
1	Plancha HG 160x160x9	6,80	6,80
1	Eje macizo Bronce \varnothing 64x180	30,00	30,00
1	Plancha Ac.Cr-17 105x154x3	4,50	4,50
1	Eje madera Nogal \varnothing 36x28	2,00	2,00
2	Eje macizo Ac. Cr-17 \varnothing 36x10	4,00	8,00
1	Eje maciso Ac. Cr-17 \varnothing 30x50	6,50	6,50
1	Platina Ac. Cr-17 80x300x4	4,50	4,50
3	Plancha de caucho de 260x260x1.5	0,50	1,50
1	Correa C Ac. 100x40x2 de 2.4m	10,00	10,00
1	Correa C Ac. 80x40x2 de 2.5m	8,00	8,00
1	Angulo Ac. 30x30x2 de 0.5 m	2,00	2,00
2	Válvula de membrana flotante	4,00	8,00
SUBTOTAL			\$ 333,05



Los materiales normalizados son aquellos que ya vienen listos para su acople y se los puede encontrar en cualquier prontuario.

Materiales normalizados			
Cant.	Descripción	Valor Unit.	Total
2	Neplo HG Ø33.8x150 (Øint 25.4)	1,20	2,40
1	TEE HG 4plg	16,00	16,00
3	Neplo HG Ø 4plg	8,50	25,50
1	Codo 90º HG 4 plg	12,50	12,50
1	Reductor HG 4 a 2 plg	6,50	6,50
1	Tuerca Ac. Inoxidable 6UNI 207	0,25	0,25
1	Contratuerca Ac. Inox. 6UNI 206	0,25	0,25
1	Arandela de Ac. Inox. 6.5UNI1732	0,15	0,15
12	Pernos Ac. Inox. Ø8mmx1 3/4plg	0,50	6,00
6	Pernos Ac. Inox. Ø8mmx2 1/4plg	0,75	4,50
18	Tuerca Ac. Inoxidable Ø 8mm	0,25	4,50
18	Arandela de Ac. Inox. Ø 8mm	0,10	1,80
12	Pernos de Ac. Inox. Ø 10mmx21/2plg	0,55	6,60
12	Tuercas de AC. Inox. Ø10mm	0,25	3,00
12	Arandelas de Ac. Inox. Ø 10mm	0,15	1,80
SUBTOTAL			\$ 91,75

Con la correcta utilización de estos materiales, permitirá la conservación del AHAB

Materiales para fabricación y acabado			
Cant.	Descripción	Valor Unit.	Total
10	Suelda AGA 6011x lib	1,80	18,00
1	Suelda AGA 7018 x lib	3,25	3,25
1	Galón de fondo gris	12,00	12,00
1	Medio galón de pintura esmalte amarilla	6,00	6,00
1	Medio galón de pintura esmalte roja	6,00	6,00
1	Galón de diluyente	1,50	1,50
SUBTOTAL			\$ 46,75



Los materiales para la instalación son de gran importancia ya que sin ellos el ariete no podría funcionar

Materiales para la instalación			
Cant.	Descripción	Valor Unit.	Total
1	Tanque de alimentación	30,00	30,00
1	Tobera 2 "	12,68	12,68
2	Tubo de Acero 2"	62,88	125,76
1	Universal 2"	8,00	8,00
1	Unión 2"	2,75	2,75
1	Tubería 1" HG	5,75	5,75
1	Válvula de pie alcachofa	6,90	6,90
1	Codo 90º 1"	1,58	1,58
1	Unión 1"	1,25	1,25
1	Acople flex 1"	0,85	0,85
1	Abrazadera 1"	0,60	0,60
20	Manguera 1" en metros	0,48	9,60
7	Teflón	0,30	2,10
1	Polimex	4,50	4,50
SUBTOTAL			\$ 212,32

El valor total de la construcción e instalación del ariete hidráulico de aguas bravas es de 923,87 dolores americanos como se detalla a continuación

Costo total de un ariete hidráulico de aguas bravas	
DENOMINACION	TOTAL
Materiales mecanizados	333,05
Materiales normalizados	91,75
Materiales para la fabricación y acabado	46,75
Materiales para la instalación	212,32
Mano de Obra	240
TOTAL EN DOLARES	923,87



6.2 IMPACTO AMBIENTAL

La instalación adecuada del ariete hidráulico de aguas bravas se considera una alternativa 90% ecológica, eficiente y de bajo costo operacional.

- **Son fuentes autónomos:** Es decir podrían montarse en una zona u otra, en todas las áreas geográficas. Aunque resulta evidente que existen zonas más propensas a su utilización de acuerdo a sus condicionantes topográficas.
- **No contaminantes:** No produce emisiones de dióxido de carbono, pero produce efectos negativos sobre el medio ambiente.
- **Contaminación sonora:** El ariete de aguas bravas en su operación produce un ruido constante provocado por el cierre de su válvula de impulsión, lo cual incide negativamente en las condiciones medio ambientales.

Con la participación comunitaria y la implementación de un plan dirigido a profundizar en una mejor cultura medioambiental, se logrará de forma integral una comunicación entre los pobladores, así como la consolidación de su sentido de pertenencia y cuidado del entorno físico comunitario.



7. CONCLUSIONES

- Con la construcción y explotación del ariete hidráulico de aguas bravas se cumplieron los objetivos planteados al inicio de la investigación.
- Se logró establecer el principio de funcionamiento del ariete de aguas bravas.
- Con la metodología detallada en la presente investigación se diseñó y construyó sus elementos constitutivos: Tubería de impulsión, válvula de impulsión, membrana elástica, cámara de aire, cámara de la bomba, válvulas de admisión y descarga, diámetros de las tuberías de admisión y descarga, etc.
- El ariete hidráulico de aguas bravas tiene la capacidad de bombeo de $0,864\text{m}^3$ por día desde el nivel de extracción hasta una altura de 10m, con una eficiencia del 12%.
- El ariete de aguas bravas se la considera una alternativa ecológica para el bombeo de agua, cuyo impacto ambiental es la contaminación sonora causada por el cierre de la válvula de impulso.
- El costo del ariete de aguas bravas es de novecientos veinticuatro dólares americanos, sin tomar en cuenta los costos de la obra civil.
- El ariete construido es versátil ya que se puede desmontar fácilmente para ser trasladado hacia el lugar en donde va a ser instalado.
- La presente investigación es un aporte de información técnica sobre alternativas ecológicas y eficientes de bombeo.



8. RECOMENDACIONES

- Usar válvulas de membrana flotante en la bomba de diafragma, porque: Son sensibles, regulables, poseen baja resistencia hidráulica, incrementan el flujo del líquido, y cierran herméticamente.
- La ingeniería de fabricación del ariete debe llevarse a cabo por personal calificado y éste debe llevar consigo siempre las hojas de mecanizado, con esto evitará errores en la fabricación.
- Se debe regular a treinta golpes por minuto, porque se ha comprobado experimentalmente que se puede conseguir un flujo estable de agua en la descarga, además que le permite oscilar a la membrana elástica de una manera más eficiente sin perder presión en la tubería de descarga.
- Colocar una válvula de pie que impedirá las pérdidas de carga en la tubería de succión, y evitará que ingresen objetos que puedan afectar a la instalación o causar la rotura de la membrana elástica.
- La membrana elástica recomendada para el ariete hidráulico de aguas bravas debe ser de polietileno y soportar una presión de 150 P.S.I, ya que se ha comprobado experimentalmente que esta membrana cumple con la condición de resistencia y flexibilidad que se necesita la instalación.
- Realizar un mantenimiento anual al equipo para evitar deterioros o la rotura de la membrana.
- Divulgar el presente trabajo de investigación a los sectores en donde se puede implementar este sistema, ya que de esta manera se contribuirá a resolver la problemática del bombeo de agua utilizando energía respetuosa con el medio ambiente.



9. BIBLIOGRAFÍA

LIBROS:

- AGUIRRE M., Reyes. 1967. Curso de máquinas hidráulicas. Representaciones y servicios de ingeniería S. A. Editorial México.
- ARTEAGA Tovar, R. Eduardo. 1993. Hidráulica elemental. Universidad Autónoma. Chapingo. México.
- GIECK, Kurt. 1981. Manual de fórmulas técnicas. México.
- GRUPO DE MECÁNICA DE FLUIDOS. 2000. Politécnica de Valencia. Editorial Madrid.
- JIMÉNEZ, José Manuel. 2004. TALLER DE INVESTIGACIÓN ALTERNATIVA. Ariete Hidráulico. Jiménez, Pdf PP. 04-16.
- MANCELBO Mancebo del Castillo, Uriel 1987. Teoría del golpe de ariete y sus aplicaciones en ingeniería hidráulica. México.
- MATAIX, Claudio. 1982. MECÁNICA DE FLUIDOS Y MÁQUINAS HIDRÁULICAS. 2da. Edición. Ediciones del Castillo S.A. Madrid-España. 660p.
- MOTT, Robert. 1996. Mecánica de fluidos aplicada. Prentice Hall Hispanoamericana, 4ª Edición.
- OKISHI 1999. Mecánica de fluidos. Ed Mc Graw Hill. Barcelona.
- OÑATE, Esteban. 1992. Energía hidráulica. Ed. Paraninfo, Madrid.
- PASHKOV. N. 1985. MECÁNICA DE FLUIDOS. Editorial Moscú.
- POTTER, Merle. Ed. Prentice 1998. Mecánica de fluidos. México
- ROCA, Felip. 1999. Oleohidráulica básica. Ed. Alfaomega. Barcelona.



- ROJAS, Marco. RIOFRÍO, Gonzalo. 2006. Guía para el desarrollo de las investigaciones de tesis de grado en la Carrera de Ingeniería en Electromecánica. Universidad Nacional de Loja, Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables. Loja-Ecuador. 83p.
- TRUEBA, Samuel. 1956. Hidráulica. Ediciones Hall. México.
- WEBBER, N.B. 1969. Mecánica de fluidos para ingenieros. Londres, Inglaterra.
- WEINMAN, Peter. 2004. El ariete hidráulico. Editorial Berlín-Alemania. 115p.

TESIS:

- AYALA, Manuel, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ARIETE MULTIPULSOR PARA EL BOMBEO DE AGUA. 2004 (Tesis Ing. Electromecánico) Loja Ecuador. Universidad Nacional de Loja, Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables.
- GALVEZ, Alex; MOSQUERA, Joel; DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ARIETE HIDRAULICO DE AGUAS BRAVAS COMO UN SISTEMA ECONOMICO Y EFICIENTE PARA EL BOMBEO DE AGUA. 2009 (Tesis Ing. Electromecánico) Loja Ecuador. Universidad Nacional de Loja, Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables.

SITIOS WEB

- <http://www.bombasindesur.com.ar>. MANUAL DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN. Indesur Argentina S.A. 2004. [en línea] [Consulta 15 diciembre 2008]
- <http://www.clasificacionbombas.com.cl/htm..> CLASIFICACIÓN DE BOMBAS HIDRÁULICAS. 2001. Universidad de las Américas. Facultad de Ingeniería Mecánica y Electricidad. Chile. [Consulta 29 noviembre 2008]
- <http://www.editora@cubasolar.cu>. SECRETOS DEL ARIETE HIDRÁULICO. Montecinos, Alejandro. Ingeniero Mecánico. Editorial CUBASOLAR y la revista Energía y tú. e-mail: [Consulta 28 noviembre 2008]



- <http://www.redestb.es/personal/pplaza/sabios/sabios1.htm>..MECÁNICA DE FLUIDOS. 2001. [en línea] Facultad de Metalurgia y Electricidad. Cuba.
- http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica.htm.. CONCEPTOS BÁSICOS DE NEUMÁTICA E HIDRÁULICA. Sistema de transmisión de energía neumática e hidráulica, Leyes físicas relativas a los fluidos [Consulta 4 diciembre 2008].
- <http://www.wikipedia.encyclopedialibre.com>, BOMBA DE MEMBRANA. [en línea]. Conceptos básicos. [Consulta: 21 diciembre 2008].



10. ANEXOS

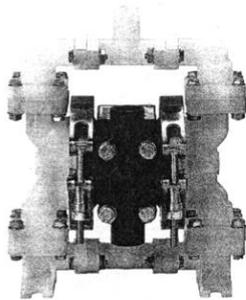


ANEXO A. CURVA, DIMENSIONES Y ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA DE MEMBRANA

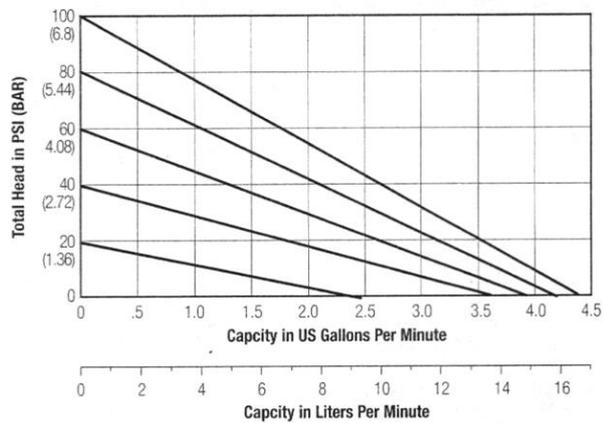
E6 1/4" Plastic Bolted Pumps Specifications and Performance

SPECIFICATIONS E6

FLOW RATE adjustable to.....0-4 gpm (151 lpm)
PORT SIZE
 Inlet and Outlet.....0.25" NPTF I.D.
0.50" NPTM O.D.
AIR INLET.....0.25" NPTF
AIR EXHAUST.....0.75" NPTF
SUCTION LIFT.....5.83' Dry/25.5' Wet
(1.78m/777m)
MAX. PARTICLE SIZE (Diameter).....0.3125" (1mm)
SHIPPING WEIGHTS
 Acetal.....5.00 lbs (2.27 kg)
 Polypropylene.....3.38 lbs (1.53 kg)
 PVDF.....4.13 lbs (1.87 kg)

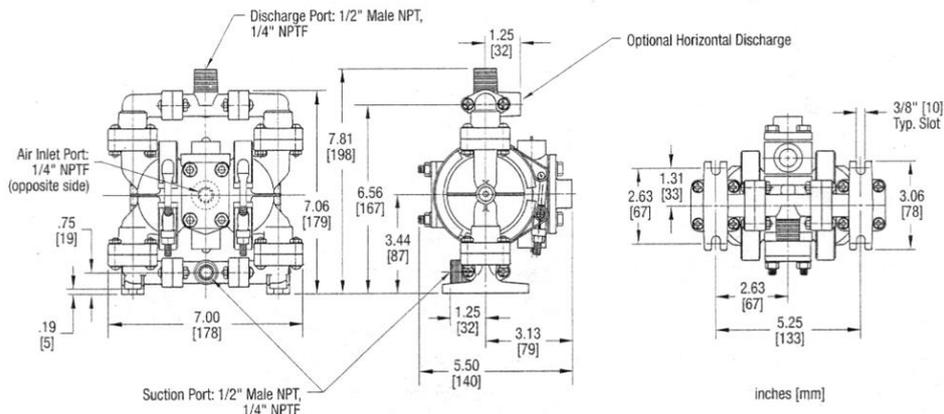


PERFORMANCE Determined by actual flow meter tests. E6



CAUTION: Do not exceed 125 psig (8.5 bars) air supply or liquid pressure.

DIMENSIONS Consult factory for certified drawings. E6



**ANEXO B. TABLAS, COEFICIENTES Y DIAGRAMAS****ANEXO B1. Densidad relativa del agua a diversas temperaturas**

t °C	δ
0	0,99987
3	0,99999
4	1,00000
5	0,99999
10	0,99750
15	0,99915
20	0,99826
25	0,99712
30	0,99576
40	0,99235
50	0,98820
60	0,98338
70	0,97794
80	0,97194
90	0,96556
100	0,95865

ANEXO B2. Viscosidad dinámica y cinemática del agua a diversas temperaturas

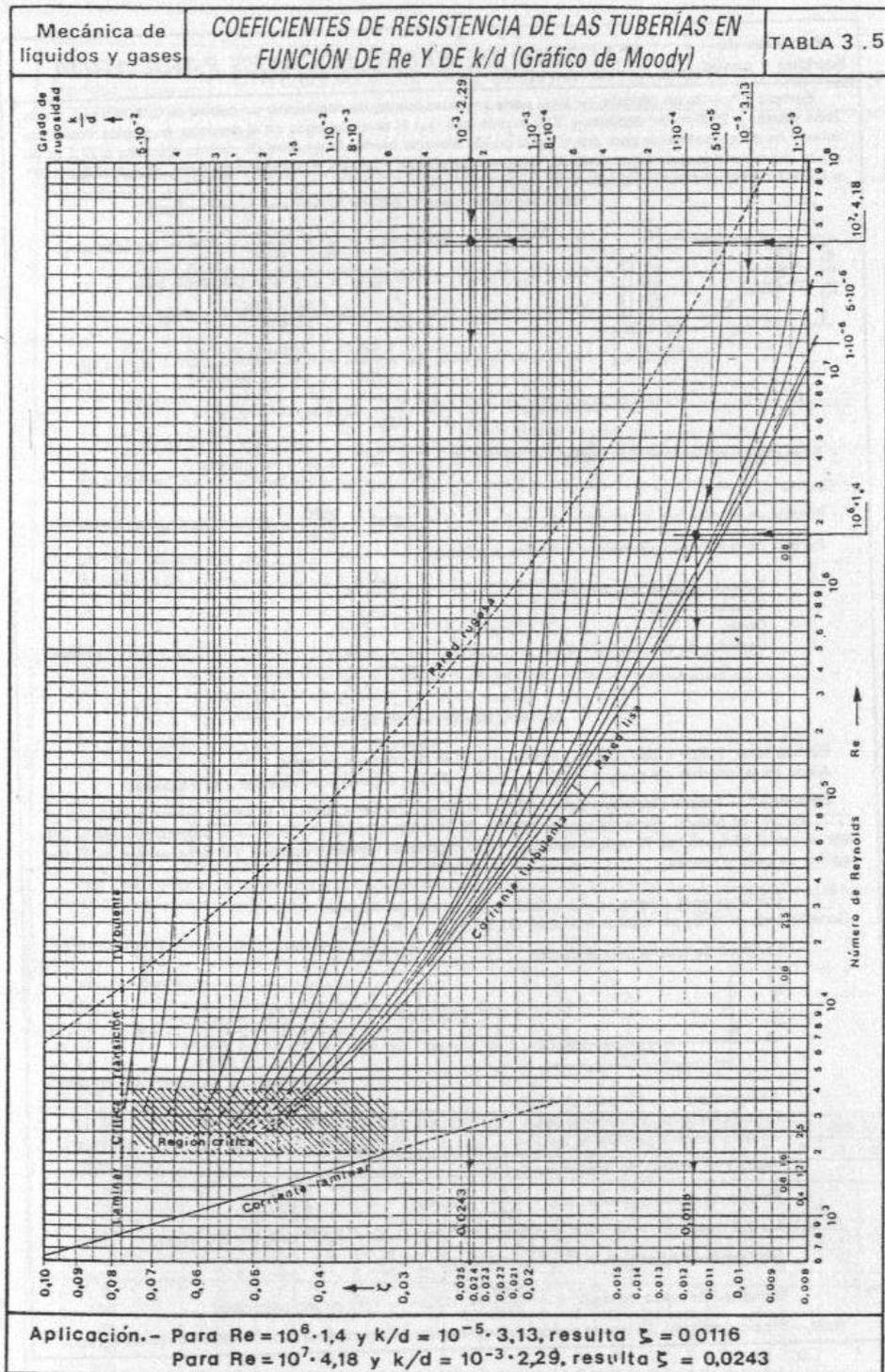
Temperatura °C	μ milipoises	ν centistokes	Temperatura °C	μ milipoises	ν centistokes
0	17,92	1,792	60	4,69	0,477
10	13,08	1,308	70	4,06	0,415
20	10,05	1,007	80	3,57	0,367
30	8,01	0,804	90	3,17	0,328
40	6,56	0,661	100	2,84	0,296
50	5,49	0,556			

ANEXO B3. Coeficiente de rugosidad absoluta k para tuberías comerciales

Tubos	k, mm
Aluminio, vidrio, cobre o latón estirado	< 0.001 (o lisa)
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	0.9 a 9
Acero soldado	0.4
Cemento alisado	0.3 a 0.8
Cemento bruto	Hasta 3
Duelas de madera	0.183 a 0.91
Fundición corriente nueva	0.025 a 0.05
Fundición corriente usada	1 a 1,5
Fundición asfaltada	0,1
Hierro galvanizado	0.15 a 0.20
Latón industrial	0.025

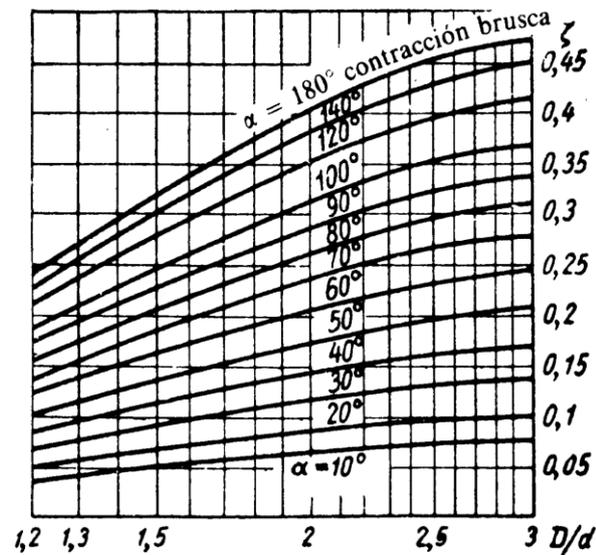
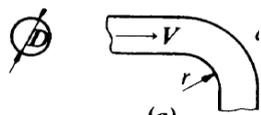


ANEXO B4. Diagrama de Moody



ANEXO B5. Coeficiente m en función de α para ensanchamientos

α (°)	2,5	5	7,5	10	15	20	25	30
m	0,18	0,13	0,14	0,16	0,27	0,43	0,62	0,81

ANEXO B6. Valores de ζ para contracciones bruscas y suaves

ANEXO B7. Coeficiente ζ en codos de sección circular


$\frac{r}{D} = 0$	0,25	0,5	1,0
$\zeta = 0,8$	0,4	0,25	0,16

ANEXO B8. Coeficiente ζ en válvulas de pie con alcachofa

D, mm	ζ	D, mm	ζ
40	12,0	200	5,2
50	10,0	250	4,4
65	8,8	300	3,7
80	8,0	350	3,4
100	7,0	400	3,1
125	6,5	450	2,8
150	6,0	500	2,5



ANEXO B9. Coeficientes de resistencia local ζ

Mecánica de líquidos y gases	COEFICIENTES DE RESISTENCIA HIDRÁULICA		TABLA 1.5																						
COEFICIENTES k DE RUGOSIDAD																									
Tubos	k , mm.		Tubos	k , mm.																					
Tubos de cobre, latón, aluminio (nuevos)	0,002		Tubos galvanizados	0,15																					
Tubos de fibrocemento	0,1 a 0,2		Tubos embreados	0,025 a 0,05																					
Tubos roblonados	1 a 10		Tubos de fundición gris, nuevos	0,025 a 0,05																					
Tubos soldados	0,05 a 0,1		Tubos de fundición gris, usados	0,5 a 1,0																					
Tubos estirados (sin soldadura)	0,01 a 0,015																								
CURVAS UNIFORMES																									
	α	Estado	r/d																						
			1	2	4	6	10																		
	15°	Lisa, $\zeta =$	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03																		
	22,5°	Lisa, $\zeta =$	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045																		
	45°	Lisa, $\zeta =$	0,14	0,09	0,08	0,075	0,07																		
	60°	Lisa, $\zeta =$	0,19	0,12	0,10	0,09	0,07																		
90°	Lisa, $\zeta =$	0,21	0,14	0,11	0,09	0,11																			
90°	Rugosa, $\zeta =$	0,51	0,30	0,23	0,18	0,20																			
CAMBIOS DE DIRECCION																									
	Variación, $\alpha =$		22,5°	30°	45°	60°	90°																		
	En tubo liso, $\zeta =$		0,07	0,11	0,24	0,47	1,13																		
	En tubo rugoso, $\zeta =$		0,11	0,17	0,32	0,68	1,27																		
CAMBIO DE DIRECCION DOBLE																									
	$l/d =$		0,71	0,943	1,174	1,47	1,86	2,56	6,28	∞															
	Liso, $\zeta =$		0,51	0,35	0,33	0,28	0,29	0,36	0,40	0,47															
	Rugoso, $\zeta =$		0,51	0,41	0,38	0,38	0,39	0,43	0,45	0,64															
CAMBIO DE DIRECCION DOBLE TES																									
	$l/d =$		1,23	1,67	2,37	3,77																			
	Liso, $\zeta =$		0,16	0,16	0,14	0,16																			
	Rugoso, $\zeta =$		0,30	0,38	0,26	0,24																			
CODOS COMPUESTOS			CURVAS Y CODOS DE COMERCIO																						
			$d =$																						
			Curva, $\zeta =$				Codo, $\zeta =$																		
		14				20				26				34				30				49			
		1,2				1,1				0,86				0,53				0,42				0,51			
		1,7				1,7				1,3				1,1				1,0				0,83			
DERIVACIONES Y REUNIONES																									
Esquemas																									
	Q_1/Q	ζ_a	ζ_b	ζ_c	ζ_d	ζ_e	ζ_f	ζ_g	ζ_h	ζ_i	ζ_j														
0	0,95	0,04	0,30	0,04	-1,2	0,04	-0,92	0,04																	
0,2	0,88	0,06	0,68	-0,06	-0,4	0,17	-0,38	0,17																	
0,4	0,89	-0,05	0,50	-0,04	0,08	0,30	0,00	0,19																	
0,6	0,95	0,07	0,38	0,07	0,47	0,41	0,22	0,09																	
0,8	1,10	0,21	0,35	0,20	0,72	0,51	0,37	-0,17																	
1,0	1,20	0,35	0,48	0,33	0,91	0,60	0,37	-0,54																	
VÁLVULAS				TOBERAS O FMBOCADURAS																					
Válvula de compuerta $\zeta = 0 - 0,3$																									
Válvula de husillo $\zeta = 1 - 3$				Arista viva $\zeta = 0,50$		Arista chaflan $\zeta = 0,25$		Arista redondeada $\zeta = 0,06 - 0,01$																	
Válvula abombada $\zeta = 4 - 6$																									



ANEXO B10. Características de elementos importantes

Elementos y cuerpos		CARACTERÍSTICAS DE ELEMENTOS IMPORTANTES						TABLA 11 . 3
Elemento	Símbolo	Estado	Peso específico	Punto de fusión °C	Punto de ebullición °C	Coefficiente de dilatación lineal	Módulo E de elasticidad kg/mm ²	Resistencia por tracción kg/mm ²
Aluminio	Al	sólido	2,7	660	2270	0,000024	7200	14 a 20
Antimonio	Sb	sólido	6,7	630	1640	11	7900	8,6
Arsénico	As	sólido	5,8	820	625			
Azufre	S	sólido	2,0	115	445			
Bario	Ba	sólido	3,76	704	1700			
Berilio	Be	sólido	1,85	1280	3000	0,000012	36000	
Bismuto	Bi	sólido	9,8	271	1500	13	3290	0,5
Boro	B	sólido	2,34	2040				
Bromo	Br	líquido	3,19	-7,3	59			
Cadmio	Cd	sólido	8,64	321	767	0,000030	510	6,4
Calcio	Ca	sólido	1,54	850	1400			0,5
Carbono	C	sólido	3,5 (diam)	3550	4000			
Cerio	Ce	sólido	6,8	800	1400			
Cesio	Cs	sólido	1,87	28	670			
Cloro	Cl	gaseoso	1,56	-34	-35			
Cobalto	Co	sólido	8,8	1495	3200	0,000013	20800	26
Cobre	Cu	sólido	8,9	1085	2330	17	12700	25 a 30
Cromo	Cr	sólido	7,1	1800	2400	08		
Estaño	Sn	sólido	7,3	230	2300	0,000027	4150	2,75
Flúor	F	gaseoso	1,1	-220	-188			
Fósforo	P	sólido	1,8	44	280			
Galio	Ga	sólido	5,9	30	2300			
Hidrógeno	H	gaseoso	(0,090 kg/m ³)	-259	-253			
Hierro	Fe	sólido	7,87	1540	2500	0,000012	21000	22
Iridio	Ir	sólido	22,5	2454	4800	07	52000	
Litio	Li	sólido	0,534	180	1400	60	500	18
Magnesio	Mg	sólido	1,74	650	1110	26	4100	20
Manganeso	Mn	sólido	7,3	1260	2100	23		
Mercurio	Hg	líquido	13,595	-38,9	357			
Molibdeno	Mo	sólido	10,2	2600	3560	0,000005		
Níquel	Ni	sólido	8,9	1455	3000	13	22000	40 a 45
Nitrógeno	N	gaseoso	(1,251 kg/m ³)	-210	-196			
Oro	Au	sólido	19,3	1065	2700	0,000014	8000	14
Osmio	Os	sólido	22,5	2500	5300	07		
Oxígeno	O	gaseoso	(1,429 kg/m ³)	-219	-183			
Paladio	Pd	sólido	12,0	1555	2200	0,000012	11500	21
Plata	Ag	sólido	10,5	960	1950	19	8000	16
Platino	Pt	sólido	21,4	1773	3800	09	17000	20
Plomo	Pb	sólido	11,3	327	1730	29	1700	1,4
Potasio	K	sólido	0,86	63	760	83		
Renio	Re	sólido	20,5	3170				
Rodio	Rh	sólido	12,4	1965	2500	0,000008	3000	
Rubidio	Rb	sólido	1,52	39	713			
Selenio	Se	sólido	4,4	220	688			
Silicio	Si	sólido	2,3	1415	2350	0,000008		
Sodio	Na	sólido	0,97	87	880	72		
Tantalio	Ta	sólido	16,6	3000	5300	06	1900	
Titanio	Ti	sólido	4,5	1820	3000	09		
Uranio	U	sólido	18,5	1090	3818			
Vanadio	V	sólido	6,0	1730	3000	08		
Wolframio	W	sólido	19,3	3400	5000	945	42000	110
Yodo	I	sólido	4,93	114	185			
Zinc	Zn	sólido	7,2	420	907	0,000029	13000	15



ANEXO C. PLANOS DE DIBUJO TÉCNICO



ANEXO D. HOJAS DE PROCESO DE MECANIZADO

ANEXO E. CONSTRUCCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS



Fig. 1 Construcción de bridas en el torno



Fig. 2 Bridas terminadas



Fig. 3 Prensado del casquete esférico de la cámara de aire



Fig. 4 Soldado de la brida a la cámara de aire



Fig. 5 Válvula de impulsión terminada

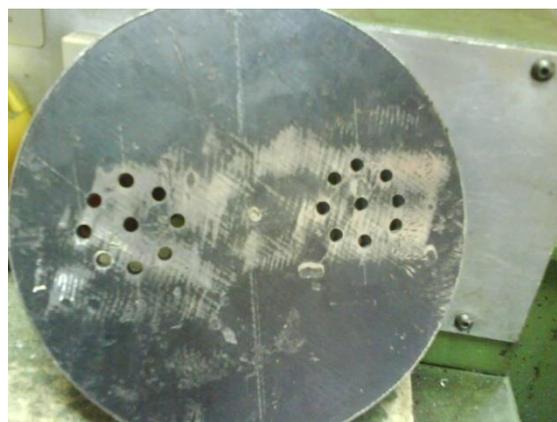


Fig. 6 Placa de soporte para las válvulas de Membrana flotante



Fig. 7 Cámara de la bomba de membrana



Fig. 8 Estructura base y cuerpo de ariete



Fig. 9 Cámara de aire terminada



Fig. 10 Soporte de la válvula de impulsión



Fig. 11 Instalación del tanque de alimentación (río Zamora)



Fig. 12 Instalación del ariete de aguas bravas en el río Zamora



a) Golpe de ariete positivo



b) Golpe de ariete negativo

Fig. 13 Oscilación de la membrana elástica



a) Golpe de ariete positivo



b) Golpe de ariete negativo

Fig. 14 Funcionamiento de la válvula de impulsión



a) Conducto de succión



b) Conducto de descarga

Fig. 15 Conducto de succión y descarga de la bomba de membrana



Fig. 16 Caudal entregado (0.865 m^3 por día)



Fig. 17 Ariete de aguas bravas en funcionamiento (Ing. Manuel Ayala, director de tesis. Tesistas: Alex Gálvez y Joel Mosquera)



ANEXO F. FORMULACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y
LOS RECURSOS NATURALES NO
RENOVABLES**

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

MANUAL DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS

TESIS DE GRADO:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ARIETE
HIDRÁULICO DE AGUAS BRAVAS COMO UN
SISTEMA ECONÓMICO Y EFICIENTE PARA EL
BOMBEO DE AGUA”

AUTORES:

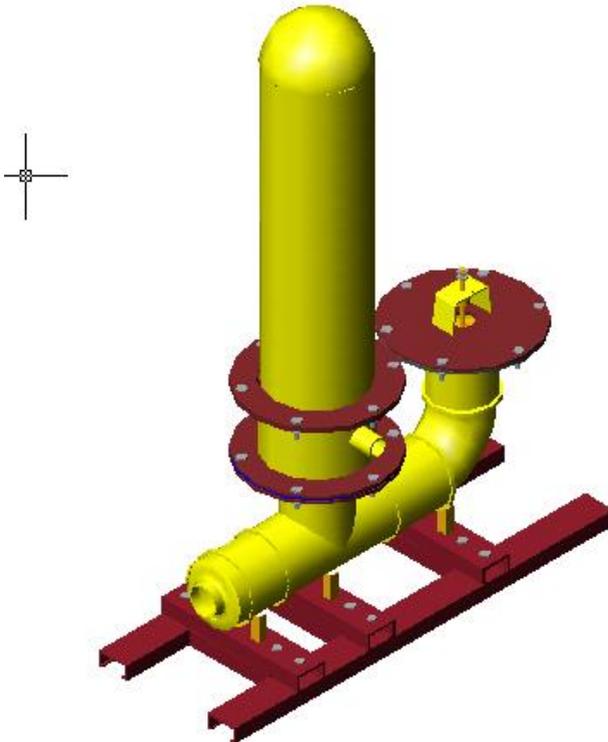
ALEX FERNANDO GÁLVEZ ÁLVAREZ
JOEL GUILLERMO MOSQUERA ROMERO

DIRECTOR:

ING. MANUEL IGNACIO AYALA CHAUVÍN

**LOJA – ECUADOR
2009**

**MANUAL DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO
DEL
ARIETE DE AGUAS BRAVAS**



Ariete de Aguas Bravas
Capacidad de bombeo: 0.863m³/día
Altura de descarga: 10m

INFORMACIÓN DE SEGURIDAD

❖ *MENSAJES DE SEGURIDAD*

En este manual encontrará medidas de precaución e instrucciones específicas, que sirven para proteger la seguridad del operador, usuario y de aquellas personas responsables del mantenimiento de la máquina.



AVISO: Indica una posible situación de peligro que, si no se evita, puede provocar lesiones o daños en el equipo.

Importante: Se utiliza para informar al lector acerca de procedimientos específicos donde se producirán daños menores en caso de no seguirse el procedimiento.

Nota: Se utiliza para comunicar información de instalación, operación y mantenimiento o servicio que sea importante pero que no se relaciona con un riesgo.

❖ *INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD*



AVISO: No realice trabajos de mantenimiento, ni intente sustituir componentes sin tomar las medidas de seguridad correspondientes.

1. Lea todas las instrucciones antes del montaje, desmontaje o mantenimiento del ariete.
2. Detener la máquina completamente y cerrar la llave de alimentación del ariete antes de realizar cualquier cambio al ariete.
3. No jugar con la válvula de derrame mientras el ariete está en funcionamiento

4. No introduzca ningún artefacto entre la válvula de derrame y la brida que la sostiene para evitar daños en la misma
5. No juegue con la regulación de la válvula.
6. No toque tuberías, conexiones en el ariete que puedan ocasionar daños en la instalación.
7. No repare, ni reemplace ninguna pieza del ariete sin tener mano de obra calificada, a menos que se recomiende en el manual de instrucciones, siempre que pueda comprender y tenga la habilidad de hacerlo.
8. Mantenga el ariete en buenas condiciones para su normal funcionamiento.
9. Cierre las llaves de agua de alimentación del ariete cuando ya no se necesite que continúe bombeando.
10. El tanque de alimentación debe estar tapado para evitar que entren ramas u objetos que puedan dañar la instalación.
11. No opere el ariete si falta algún perno u accesorio a la instalación
12. Si el mantenimiento o la operación del ariete no se realizan según las instrucciones, se pueden producir lesiones graves, mortales o daños materiales.

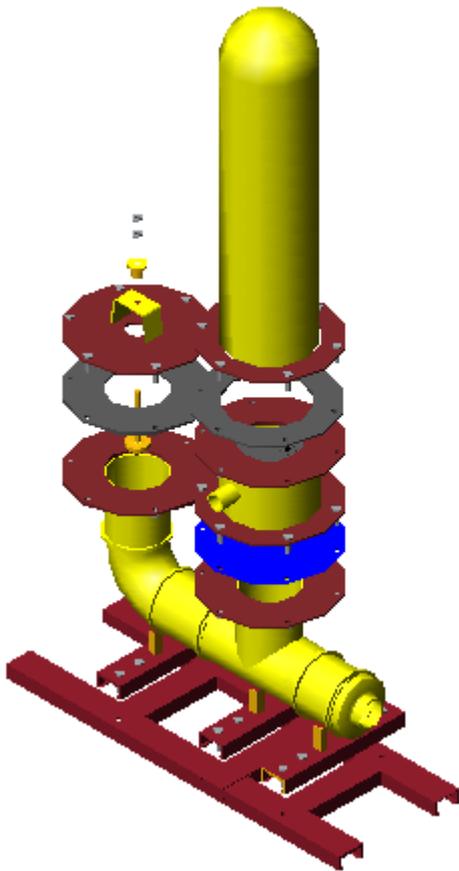
IMPORTANTE: Guarde este manual en lugar seguro, para futuras consultas.

INTRODUCCIÓN

El ARIETE HIDRAULICO DE AGUAS BRAVAS es un sistema económico y eficiente para el bombeo de agua, el mismo que corresponde en principio a dos arietes individuales, montados uno sobre otro y separados por una membrana elástica, el ariete inferior utiliza la energía cinética del agua en movimiento para generar una sobrepresión, el cual hace oscilar una membrana elástica con la cual se puede aspirar y bombear hasta el 100% del agua limpia de un pozo aledaño, en donde los arietes convencionales no pueden ser utilizados.

En este manual encontrará consejos de cómo usar apropiadamente el ariete, la forma correcta de manipular la regulación la válvula. Además se da respuestas a algunos problemas que pueden suscitarse durante la operación del ariete.

NOTA: Para un conocimiento detallado de características, montaje e instalación de la máquina revisar el manual de operación: ***Manual de Instalación y Mantenimiento del Ariete de Aguas Bravas***



Ariete Hidráulico de Aguas Bravas

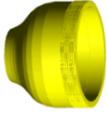
❖ **ESPECIFICACIONES GENERALES DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS**

Capacidad de bombeo	0.863m ³ /día
Altura de descarga	10m desde el pozo de extracción
Numero de válvulas de regulación	1
Numero de válvulas de retención	2
Caudal necesario para alimentar el ariete	32,25(10) ⁻³ m ³ /s
Regulación de la válvula	30ciclos/min
Velocidad de la válvula	1,49 m/s
celeridad de la onda de presión	1341,54 m/s
Volumen total en la cámara de aire	19,16(10) ⁻³ m ³
Caudal de la fuente	600lit/min
Caudal circundante por la tubería	0.01m ³ /min

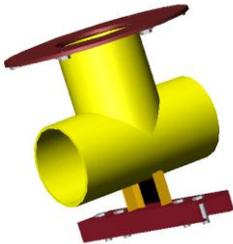
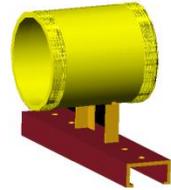
❖ **ELEMENTOS DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS**

EL ARIETE HIDRAÚLICO

El ariete hidráulico montado en la parte inferior consta de varios elementos para su funcionamiento como es un reductor cuatro a dos, neplos, una T, un codo, y bridas de soporte de los elementos:



Un reductor de cuatro a dos pulgadas es el elemento que se encuentra a la entrada del ariete, este sirve de conexión entre la tubería de impulsión y el cuerpo del ariete. (La tubería de succión tiene un diámetro de 2plg y el del ariete es de 4plg). Luego tenemos un neplo que va roscado con el reductor, éste tiene fijado a través de soldadura parte de la base del ariete, que además nos servirá para ajustar correctamente las dos piezas. A continuación tenemos una T, en cuya parte superior lleva fijado una brida



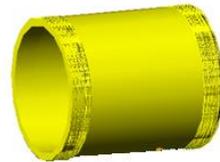
que sirve de base para acoplarse con la cámara de la bomba, esta brida además es la base para la colocación de la membrana elástica, en su parte inferior cuenta con parte de la base del ariete, este debe ir acoplado con la primera parte de la base y si es necesario utilizar

un nivel para su acoplamiento.

Luego tenemos otro neplo el cual servirá para unir la T y el codo.



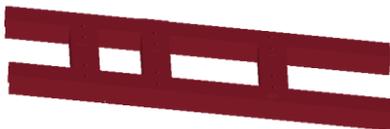
Debemos anotar que estas uniones deben ser con el mayor cuidado de manera que no haya fugas en nuestra máquina, luego tenemos



el codo que sirve de base para un neplo que

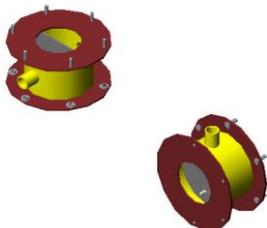
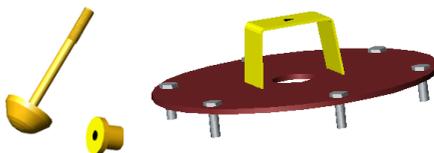
contiene la brida que contiene la válvula, este codo también contiene una pieza de la base, y al igual que las anteriores deben igualarse al mismo nivel.

Es importante que todas estas piezas estén al mismo nivel, porque van montados sobre una base en forma de escalera, cuya sujeción se hace con pernos y arandelas de presión, existen doce pernos con sus respectivas tuercas y arandelas para el efecto.



Sobre el codo se coloca el niple que contiene fija una brida, que se acopla con otra que contiene la base y el buje de la válvula, entre brida y brida se coloca un empaque de manera que no pérdidas de presión por fugas de agua, antes de acoplar

las bridas se debe colocar la válvula de derrame, luego acoplar las dos bridas para ello se han considerado seis pernos acerados para dicha unión.



En la brida base de la T, va montada la membrana elástica y luego cámara de la bomba, hay que tener cuidado en la posición de ésta para que las válvulas que se encuentran en el interior funcionen de acuerdo a la succión y descarga, dándole dirección

al flujo de agua. Para el acoplamiento se han considerado seis pernos acerados.

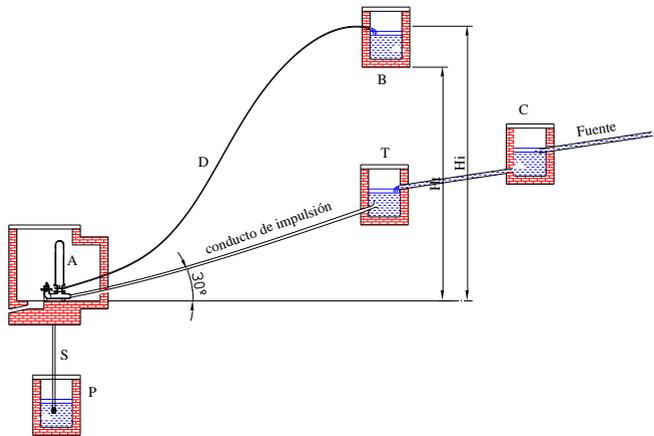
A continuación, va la cámara de aire tomando en cuenta que debe haber un empaque entre las bridas, para evitar fugas de aire y agua, aquí también se han considerado seis pernos acerados.



NOTA: Para el acoplamiento entre las bridas debe hacerse un perno primero y luego el que se encuentra al otro lado para que aseguren correctamente.

❖ ***INSTALACIÓN DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS EN CONDICIONES DE TRABAJO***

Una vez que tenemos ensamblado el ariete en el lugar en donde va a funcionar, lo primero que hacemos es colocar el ariete en un lugar seguro, y luego procedemos a realizar la instalación con todos los elementos como se presenta a continuación:



C: Colector de la fuente

T: Tanque de alimentación

P: Pozo de extracción

A: Ariete de aguas bravas

D: Tubería de descarga

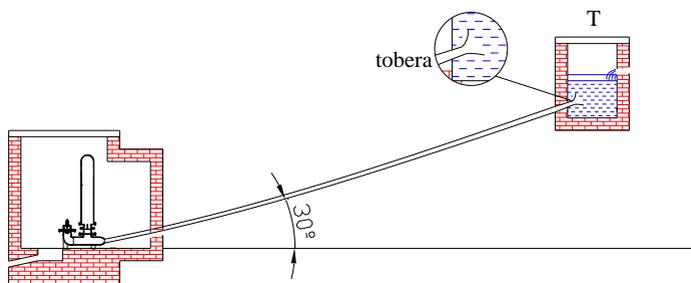
S: Tubería de succión

Hi: altura de descarga

Para la correcta instalación deben existir todos estos elementos y otros accesorios que se dan a conocer a continuación:

Para alimentar el tanque colector se necesita una tubería de cuatro pulgadas desde la fuente al tanque, y tubería del mismo diámetro del colector al tanque de alimentación, en el tanque de alimentación debe

constar de una tobera para evitar remolinos o burbujas de aire que puedan afectar al equipo.



Se debe acoplar la tobera y el conducto de impulsión adecuadamente utilizando para ello dos llaves inglesas, y de igual forma para acoplar el conducto al ariete.

Los conductos de succión y descarga de la bomba deben ser acoplados utilizando accesorios como son acoples de tubería a manguera y abrazaderas, además en el conducto de succión se debe acoplar una válvula de pie que no permita que entren incrustaciones a la máquina.

Para regular la válvula por primera vez, hay que abrirla manualmente por unos segundo, de manera que salga el aire que se encuentre en la máquina, luego se procede a regular treinta ciclos por minuto, que es el número de ciclos en el que el bombeo es mas eficiente.



AVISO: No realice la instalación del ariete sin tener presente personal capacitado que guíe la instalación, porque podrían efectuarse daños en el equipo o mal funcionamiento

del ariete.

❖ **PROBLEMAS Y POSIBLES CAUSAS**

Problema	Causas ó Posibles Fallas	Solución
La válvula se cerró y ya no se volvió a abrir, o el ciclo de revoluciones es mas lento	<ul style="list-style-type: none">• Se movió la regulación• Se aflojó la contratuerca de la válvula de derrame	<ul style="list-style-type: none">• Revisar la tuerca de regulación que no este floja y regular el número de revoluciones por minuto• Apretar bien la contratuerca sin mover la regulación, esto se hace con las llaves apropiadas.
La máquina funciona pero no bombea		<ul style="list-style-type: none">• Verifique que las tuberías de succión y descarga no eten obstruidas.• Revisar la válvula de pie.• Si es la primera vez asegurarse si están bien direccionados los flujos.• Asegurarse del ángulo del conducto del impulsión y el plano vertical
Fugas de agua o aire en las bridas	<ul style="list-style-type: none">• El empaque entre las bridas no esta sellando bien.• Mal ajuste de los	<ul style="list-style-type: none">• Reemplazar el empaque por otro de iguales características, si no

	pernos al momento de montar el equipo.	lo puede hacer llame a personal capacitado para hacerlo. <ul style="list-style-type: none"> • Ajustar nuevamente los pernos en el orden ya señalado.
La válvula se abrió pero ya no se volvió a cerrar	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo nivel del tanque 	<ul style="list-style-type: none"> • Chequee que el nivel del tanque sea el adecuado. • Verifique si no hay alguna rotura del conducto que va al tanque de alimentación.

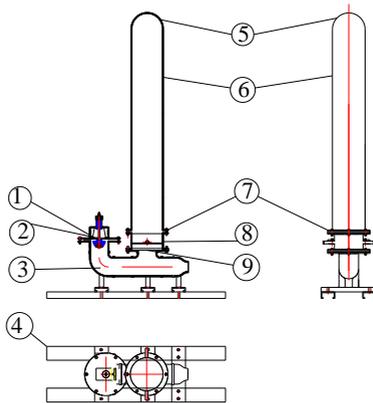
❖ **MANTENIMIENTO DEL ARIETE DE AGUAS BRAVAS**

El ariete de aguas bravas es de bajo mantenimiento, y solo lo debe realizarlo personal capacitado, en el caso de la rotura de la membrana elástica, ésta debe ser reemplazada de inmediato por otra de iguales características, para lo cual se cierra completamente el suministro de agua al ariete, hasta que se detenga por si mismo, luego con la mayor precaución proceda a sacar los pernos que ajustan las bridas de la T y la cámara de la bomba, proceda a reemplazar la membrana, y ajuste los pernos primero uno y luego el que se encuentra al otro lado , y así con todos los pernos.

	<p>AVISO: No realice trabajos de mantenimiento, ni intente sustituir componentes sin cerrar el suministro de alimentación de agua del ariete.</p>
---	--

ANEXO

❖ Ilustración del Ariete de Aguas Bravas



1. Válvula de derrame
2. Brida base de la válvula de derrame
3. Cuerpo del ariete hidráulico
4. Base de la máquina
5. Casquete esférico
6. Cámara de aire
7. Brida de acoplamiento
8. Cámara de la bomba
9. Membrana Elástica