



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
PROPUESTA TECNOLÓGICA

TEMA: DISEÑO DE UN ARIETE HIDRAÚLICO MULTIPULSOR DE DOS VÍAS DE CARGA HORIZONTAL.

Autores:

Jiménez Atiaja Willian Rodrigo

Tituana Chispón Karen Madeley

Tutor:

Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; Dr. C.

LATACUNGA - ECUADOR

2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros Jiménez Atiaja Willian Rodrigo y Tituana Chispón Karen Madeley declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica: “DISEÑO DE UN ARIETE HIDRAÚLICO MULTIPULSOR DE DOS VÍAS DE CARGA HORIZONTAL” siendo Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; Dr. C. tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Jiménez Atiaja Willian Rodrigo
050375236-2

Tituana Chispón Karen Madeley
172327218-1

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: “DISEÑO DE UN ARIETE HIDRÁULICO MULTIPULSOR DE DOS VÍAS DE CARGA HORIZONTAL”, de Jiménez Atiaja Willian Rodrigo y Tituana Chispón Karen Madeley de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, septiembre, 2020

El Tutor

Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; Dr. C.

CC: 1758367252

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS.; por cuanto, los postulantes: **Jiménez Atiaja Willian Rodrigo** y **Tituana Chispón Karen Madeley** con el título de Proyecto de titulación: “DISEÑO DE UN ARIETE HIDRÁULICO MULTIPULSOR DE DOS VÍAS DE CARGA HORIZONTAL”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 17 de septiembre de 2020

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)

Nombre: Luigi Orlando Freire Martínez
CC: 0502529589

Lector 2

Nombre: Navarrete López Luis Miguel
CC: 1803747284

Lector 3

Nombre: Enrique Torres Tamayo
CC: 1757121940

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por un día más de vida, a la Universidad por abrirme las puertas, a los ingenieros que tuve como profesores por compartirme sus conocimientos y desarrollar en mí este amor a la carrera, a mis padres Edison e Inés por estar pendientes de mí todos los días, a mi hermana Jenny por sus consejos y regaños, a mi compañera de tesis Karen por brindarme su amistad y apoyo para cumplir esta meta que nos planteamos juntos y por último como no agradecer a mis amigos por hacer tan amena mi vida universitaria con sus chistes y ocurrencias que hicieron que estos cinco años trascieran en un abrir y cerrar de ojos.

Cada momento vivido en estos años son simplemente únicos, quedan gratos recuerdos y muchas enseñanzas que hoy me permiten ser un Ingeniero Electromecánico.

Rodrigo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiarme en mi camino y por permitirme concluir con mi objetivo. A mis padres quienes son mi motor y mi mayor inspiración, que, a través de su amor, paciencia, buenos valores, ayudan a trazar mi camino. A mi familia por ser el apoyo incondicional en mi vida, que, con su amor y respaldo, me ayudan alcanzar mis objetivos.

Y por supuesto a mi querida Universidad y a todas las autoridades, por permitirme concluir con una etapa de mi vida, gracias por la paciencia, orientación y guiarme en el desarrollo de esta investigación.

Karen.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a cada uno de mis seres queridos que están a mi lado y a los que tuvieron que partir; pero no sin darme lecciones de vida y gratos recuerdos que me acompañan siempre, y en especial dedico este esfuerzo y logro a ti Eddy, para demostrarte que siempre se puede cumplir con nuestras metas personales sin dejar a un lado lo que nos hace feliz, para todo hay tiempo, tienes un largo camino por recorrer y metas que cumplir, pero en especial no te olvides de vivir, sentirte vivo, eres mi ganas de seguir superándome y nunca darme por vencido.

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a: Mis padres Liliana Chispón y Ángel Tituana quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre. A mis hermanos por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas. Finalmente quiero dedicar esta tesis a la memoria de mi tío Alfredo Fabricio Chispón, quien me inculco en cumplir un sueño que me serviría para toda la vida.

ÍNDICE PROPUESTA TECNOLÓGICA

1. INFORMACIÓN BÁSICA	1
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	1
2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	1
2.2. TIPO DE PROPUESTA DE ALCANCE	1
2.2.1. Tipo de proyecto.....	1
2.2.2. Alcance	2
2.3. ÁREA DEL CONOCIMIENTO	2
2.4. SINÓPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	2
2.5. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN	2
2.5.1. Objeto de estudio.....	2
2.5.2. Campo de acción.....	2
2.6. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA Y PROBLEMA	3
2.6.1. Situación problemática	3
2.6.2. Problema	3
2.7. HIPÓTESIS	4
2.8. OBJETIVO(S)	4
2.8.1. Objetivo general	4
2.8.2. Objetivos específicos	5
2.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS	5
3. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA	6
3.1. Introducción	6
3.2. Definición de la bomba de ariete hidráulico	6
3.3. Golpe de ariete	6
3.3.1. Definición de golpe de ariete.....	6
3.3.2. Descripción del principio básico de funcionamiento.....	7
3.3.3. Modo de operación y evaluación de desempeño del ariete hidráulico.....	7
3.4. Bomba de ariete hidráulico	9
3.4.1. Reseña histórica del ariete hidráulico	9
3.5. Tipos de arietes hidráulicos	10
3.5.1. Ariete Monopulsor	11
3.5.2. Ariete Multipulsor.....	11

3.6.	Configuración general de la bomba de ariete hidráulico.....	11
3.7.	Principio de funcionamiento del ariete hidráulico	12
3.8.	Elementos y componentes del ariete hidráulico.....	13
3.8.1.	Cuerpo del ariete hidráulico.....	13
3.8.2.	Válvula de impulso	14
3.8.3.	Válvula de entrega.....	14
3.8.4.	Cámara de aire o campana.....	14
3.8.5.	Válvula de aire.....	14
3.9.	Parámetros de diseño de la bomba	15
3.9.1.	Locación de la bomba	15
3.9.2.	Fuente de alimentación o reservorio.....	15
3.9.3.	Tubería de suministro	15
3.9.4.	Tubería de entrega	15
3.9.5.	Determinación de caudales	15
3.9.6.	Determinación del rendimiento del ariete.....	16
3.9.7.	Fuerzas que actúan sobre las válvulas.....	16
3.9.8.	Rendimiento (R)	17
3.10.	Tipos de válvulas	17
3.10.1.	Tipos de válvulas de impulso.....	17
3.10.1.1.	Válvula con resorte de pletina.....	17
3.10.1.2.	Válvula con plato perforado.....	17
3.10.1.3.	Válvula regulada con resorte.....	18
3.10.1.4.	Válvula con pesas encima	18
3.10.1.5.	Válvula con pesas a debajo.....	18
3.10.2.	Tipos de válvula de entrega	19
3.10.2.1.	Válvula de solapa.....	19
3.10.2.2.	Válvula tipo cabezal	19
3.10.2.3.	Válvula de bisagra.....	20
3.10.2.4.	Válvula de disco suelto.....	20
3.10.2.5.	Válvula de tapón.....	20
3.11.	Ventajas y desventajas	21
4.	METODOLOGÍA	22
4.1.	Introducción.....	22
4.2.	Definición de variables.....	22
4.3.	Metodología de diseño hidráulico del ariete multipulsor de dos vías de carga horizontal	
23		
4.3.1.	Propiedades de los líquidos.....	23

4.3.2.	Datos físicos del flujo de agua y aire en la ciudad de Latacunga a partir de su temperatura promedio.....	24
4.3.3.	Altura de suministro	25
4.3.4.	Tubería de suministro	25
4.3.5.	Tubería de descarga	25
4.3.6.	Caudal de suministro	25
4.3.7.	Cálculo del diámetro de la tubería.....	25
4.3.8.	Numero de Reynolds	26
4.3.9.	Rugosidad relativa.....	26
4.3.10.	Factor de fricción	26
4.3.11.	Perdidas por fricción.....	26
4.3.12.	Perdidas locales	26
4.3.13.	Velocidad en la entrada de las válvulas.....	27
4.3.14.	Tiempo de duración de un periodo	27
4.3.15.	Caudal bombeado en un ciclo.....	27
4.3.16.	Caudal perdido en un ciclo	27
4.3.17.	Altura desarrollada por el ariete	27
4.3.18.	Golpe de ariete.....	28
4.3.18.1.	Celeridad del pulso de presión	28
4.3.18.2.	Tiempo de cierre de la válvula	28
4.3.22.3.	Cierre brusco	28
4.3.22.4.	Cierre lento	29
4.3.23.	Ecuaciones de flujo y perdidas hidráulicas para el ariete multipulsor	29
4.3.24.	Cálculo del pulso de Joukowsky	29
4.3.25.	Presión hidráulica sobre la válvula de derrame o impulso.....	29
4.3.26.	Cálculo de la sobrepresión.....	30
4.3.27.	Presión máxima y mínima de la instalación.....	30
4.4.	Metodología de cálculo de diseño mecánico.....	30
4.4.1.	Cálculo de resistencia al cortante de la válvula de impulsión	30
4.4.2.	Cálculo del número de perno	31
4.4.3.	Potencia útil del ariete.....	31
4.4.4.	Potencia recibida	31
4.5.	Metodología de análisis de rendimiento	31
4.5.1.	Función de rendimiento	31
4.5.2.	Rendimiento volumétrico	32
4.6.	Software que se van a usar	32
4.6.1.	Inventor Mechanical Design & 3D CAD Software.....	32

4.6.2.	Ansys: Engineering Simulation & 3D Design Software	33
5.	ANÁLISIS Y RESULTADOS DEL DISEÑO HIDRÁULICO Y MECÁNICO DEL ARIETE HIDRÁULICO MULTIPULSOR	34
5.1.	Descripción de la parte hidráulica	34
5.1.1.	Cálculo del caudal	34
5.1.2.	Cálculo del diámetro de la tubería de suministro.....	34
5.1.3.	Perdidas por fricción en la tubería de impulsión	35
5.1.4.	Determinación de los coeficientes de resistencias locales.....	35
5.1.5.	Cálculo del diámetro de tubería de descarga.....	36
5.1.6.	Cálculo de pérdidas de carga	36
5.1.7.	Cálculo de la altura desarrollada por el ariete	36
5.1.8.	Cálculo del tiempo de duración de un periodo	36
5.1.9.	Cálculo del tiempo de cierre de la válvula.....	36
5.1.10.	Cálculo del pulso de Joukowsky	37
5.1.11.	Cálculo de altura según presión máxima	37
5.1.12.	Cálculo de la altura máxima.....	37
5.2.	Determinación de caudal bombeado vs caudal de entrada	37
5.3.	Análisis de rendimiento	38
5.4.	Análisis de la simulación del ariete hidráulico.	40
5.4.1.	Análisis de flujo del ariete	40
5.4.1.1.	Análisis de flujo cuando las válvulas de impulsión están abiertas.....	40
5.4.1.2.	Análisis de flujo cuando las válvulas de impulsión están cerradas.....	42
5.4.2.	Análisis estructural	43
5.4.2.1.	Resistencia de materiales	43
5.4.2.2.	Factor de seguridad.....	44
6.	PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS	45
6.1.	Presupuesto para la elaboración del proyecto	45
6.2.	Análisis de impacto.....	46
6.2.1.	Impacto económico.....	46
6.2.1.1.	Análisis de VAN y TIR.....	46
6.2.2.	Impacto ambiental.....	46
6.2.3.	Impacto social	47
6.2.4.	Impacto tecnológico.....	47
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
7.1.	Conclusiones	48
7.2.	Recomendaciones	49
8.	REFERENCIAS	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Efecto de golpe de ariete.....	6
Figura 3.2 Onda de presión en el cierre instantáneo de una válvula: c es la velocidad de propagación de la onda y V la velocidad del fluido.....	7
Figura 3.3 Secuencia Hidráulica Ariete I.....	8
Figura 3.4 Secuencia Hidráulica Ariete II.....	8
Figura 3.5 Secuencia Hidráulica Ariete III.....	9
Figura 3.6 Secuencia Hidráulica Ariete IV.....	9
Figura 3.7 Esquema de funcionamiento del ariete ideado por John Whitehurst.....	10
Figura 3.8 Ariete monopulsor.....	11
Figura 3.9 Ariete Multipulsor.....	11
Figura 3.10 Configuración típica de la bomba de ariete.....	12
Figura 3.11 Componentes de la bomba de ariete.....	12
Figura 3.12 Principio de funcionamiento.....	13
Figura 3.13 Juntas por medio de bridas.....	13
Figura 3.14 Válvula con resorte de pletina.....	17
Figura3.15 Válvula con plato perforado.....	17
Figura3.16 Válvula con resorte.....	18
Figura3.17 Válvula con pesas encima.....	18
Figura 3.18 Válvula con pesas abajo.....	19
Figura 3.19 Válvula de solapa.....	19
Figura3.20 Válvula de solapa.....	19
Figura 3.21 Válvula de bisagra.....	20
Figura3. 22 Válvula de disco suelto.....	20
Figura3.23 Válvula de tapón.....	20
Figura4.24 Representación gráfica del periodo sin considerar pérdidas.....	28
Figura 4.25 Representación gráfica del periodo considerando pérdidas.....	28
Figura5.26: Caudal de entrada vs caudal bombeado.....	38
Figura 5.27: Relación del rendimiento hidráulico con el caudal.....	38
Figura 5.28: Relación del rendimiento Ranquine con el caudal.....	39
Figura 5.29 Relación del rendimiento volumétrico con el caudal.....	39
Figura 5.30: Dirección del flujo cuando las válvulas de impulsión están abiertas.....	40
Figura 5.31: Resultados en función a la velocidad cuando las válvulas están abiertas.....	41
Figura 5.32: Comportamiento de presión en el ariete cuando las válvulas están abiertas.....	41
Figura 5.33: Comportamiento del flujo válvulas cerrada.....	42
Figura 5.34: Comportamiento de la velocidad válvulas cerradas.....	42
Figura 5.35: Comportamiento de presiones en el ariete válvulas cerradas.....	43
Figura 5.36: Resistencia de materiales en el ariete.....	43
Figura 5.37: Factor de seguridad del ariete.....	44
Figura 5.40: Análisis de VAN y TIR del ariete.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Rendimiento del ariete hidráulico en función de la relación de alturas h/H	16
Tabla 3.2: Comparación del ariete hidráulico con otras bombas.	17
Tabla 3.3: Comparación del ariete hidráulico con otras bombas.	21
Tabla 4.4: Definición de variables.	22
Tabla 4.5: Propiedades físicas del agua en la ciudad Latacunga a Temperatura 13.4°C	24
Tabla 4.6: Propiedades físicas del aire en la ciudad Latacunga a Temperatura 13.4°C	24
Tabla 5.7: Cálculo del caudal de suministro	34
Tabla 5.8: Dimensionamiento del tubo de suministro.....	34
Tabla 5.9: Diámetro de la tubería de suministro	34
Tabla 5.10: Cálculo de pérdidas de rozamiento	35
Tabla 5.11: Comprobación de régimen turbulento mediante Reynolds.	35
Tabla 5.12: Pérdidas locales.....	35
Tabla 5.13: Diámetro de tubería de descarga.....	36
Tabla 5.14: Cálculo de Pérdidas de carga.	36
Tabla 5.15: Cálculo de la altura desarrollada por el ariete.....	36
Tabla 5.16: Tiempo de cierre de la válvula.	36
Tabla 5.17: Cálculo del pulso de Joukowsky.	37
Tabla 5.18: Cálculo de altura según presión máxima.	37
Tabla 5.19: Cálculo de las alturas máxima y mínima.....	37
Tabla 5.20: Resultados del caudal empleado y caudal bombeado.	37
Tabla 5.21: Resultados de rendimiento.....	38

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERA Y APLICADAS

TÍTULO:” DISEÑO DE UN ARIETE HIDRÁULICO MULTIPULSOR DE DOS VÍAS DE CARGA HORIZONTAL”

Autores:

Jiménez Atiaja Willian Rodrigo

Tituana Chispón Karen Madeley

RESUMEN

La bomba de ariete se emplea para elevar agua sin uso de energía que genera costo, su principio de funcionamiento es el golpe de ariete. La presente tesis está dirigida a proporcionar cambios estructurales en el diseño del ariete, para incrementar el rendimiento y disminuir las vibraciones generadas por el golpe de ariete con la característica particular que las válvulas de carga están ubicadas en forma horizontal.

En base a bibliografías se realiza la metodología de diseño con la finalidad de obtener datos de fabricación estructural e hidráulica del ariete verificando la disminución de pérdidas locales cuando se configuran las válvulas en paralelo evidenciando el aumento de altura de descarga y el rendimiento, para el análisis de resultados se utiliza los software ANSYS e Inventor permitiendo una interpretación visual de: los componentes principales, la velocidad, la presión, la resistencia de materiales y el factor de seguridad en dos estados que representan el ciclo de funcionamiento del ariete, es decir cuando las válvulas de impulsión se encuentran abiertas y cerradas.

En el ariete hidráulico las válvulas de impulsión al estar cerradas permiten que el flujo rompa la inercia de la válvula check llenando la cámara de aire para posteriormente dirigirse a la tubería de descarga, cuando las válvulas de impulsión se encuentran abiertas la dirección del flujo llega directamente a las válvulas provocando un derrame, evitando entrar a la cámara de aire al no tener suficiente presión para vencer la resistencia de la válvula check.

Con una velocidad de entrada al ariete de 4.1m/s, se aprecia un leve aumento de velocidad en dirección a la cámara de aire incrementando su velocidad en la tubería de descarga con un caudal constante, también en todo el cuerpo del ariete existe una presión constante que cambia en la tubería de descarga siendo la presión inversamente proporcional a la velocidad.

Palabras clave:

Ariete, golpe de ariete, válvulas de impulsión, rendimiento, pérdidas, vibraciones.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES SCHOOL

THEME: "DESIGN OF A TWO-WAY MULTIPULSOR HYDRAULIC RAM OF HORIZONTAL LOADING"

Authors:

Jiménez Atiaja Willian Rodrigo

Tituana Chispón Karen Madeley

ABSTRACT

The hydraulic ram is used to lift water without the use of energy that generates cost, its operating principle is the water hammer. This thesis is aimed at providing structural changes in the design of the ram in order to increase the performance and decrease the vibrations generated by the water hammer, with the particular characteristic that the loading valves are located horizontally. Based on bibliographies, the design methodology is carried out in order to obtain structural and hydraulic manufacturing data of the ram, verifying the decrease in local losses when the valves are configured in parallel, evidencing the increase in discharge height and performance, for analysis The ANSYS and Inventor software are used allowing a visual interpretation of: the main components, the speed, the pressure, the resistance of materials and the safety factor in two states that represent the operating cycle of the ram, that is, when the discharge valves are open and closed. In the hydraulic ram, the impulse valves to be closed, allow the flow to break the inertia of the check valve, filling the air chamber to later go to the discharge pipe, when the impulsion valves are open, the flow direction arrives directly to the valves causing a spill, avoiding entering the air chamber by not having enough pressure to overcome the resistance of the check valve. With an inlet speed to the ram of 4.1m / s, there is a slight increase in speed in the direction of the air chamber, increasing its speed in the discharge pipe with a constant flow, also in the entire body of the ram there is a pressure constant that changes in the discharge pipe, the pressure being inversely proportional to the speed.

Keywords: Hydraulic ram, water hammer, impulsion valves, performance, losses, vibrations.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de la propuesta tecnológica al Idioma Inglés presentado por los señores egresados de la Carrera de **INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**, **JIMÉNEZ ATIAJA WILLIAN RODRIGO Y TITUANA CHISPÓN KAREN MADELEY**, cuyo título versa **“DISEÑO DE UN ARIETE HIDRÁULICO MULTIPULSOR DE DOS VÍAS DE CARGA HORIZONTAL”**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, Septiembre del 2020

Atentamente,

M. Sc. Erika Cecilia Borja Salazar
Docente del Centro de Idiomas
C.C. 0502161094



1. INFORMACIÓN BÁSICA

Propuesto por:

Jiménez Atiaja Willian Rodrigo

Tituana Chispón Karen Madeley.

Tema aprobado: Diseño de un ariete hidráulico multipulsor de dos vías de carga horizontal.

Carrera: Ingeniería Electromecánica

Director de la propuesta tecnológica:

Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; Dr. C.

Equipo de trabajo:

Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; Dr. C.

Jiménez Atiaja Willian Rodrigo

Tituana Chispón Karen Madeley.

Lugar de ejecución: Región Sierra, Provincia Cotopaxi, Cantón Latacunga, Universidad Técnica de Cotopaxi.

Tiempo de duración de la propuesta: Mayo - septiembre 2020

Fecha de entrega: 24 de septiembre de 2020

Línea de investigación institucional:

Energías Alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sub línea de investigación de la carrera:

Sublínea 1: Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

Sublínea 3: Eficiencia energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía.

Tipo de propuesta tecnológica: Diseño

2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

Diseño de un ariete hidráulico multipulsor de dos vías de carga horizontal.

2.2. TIPO DE PROPUESTA DE ALCANCE

2.2.1. Tipo de proyecto

- **Desarrollo:** La propuesta tecnológica es una mejora de los modelos convencionales desarrollando una nueva y mejorada bomba de ariete hidráulico.

- **Integrador:** Debido a que utilizamos el principio de un motor de combustión para integrarlo a un nuevo diseño de una bomba de ariete hidráulico.

2.2.2. Alcance

El presente proyecto tiene como alcance un nuevo diseño de ariete hidráulico multipulsor que mejora las cualidades de los diseños convencionales para aprovechar toda la presión generada por el golpe de ariete y disminuir las vibraciones utilizando dos válvulas de carga en forma de T, que permite el desarrollo de una nueva y mejorada bomba de ariete hidráulica. El proyecto incluye cálculos considerando técnicas, propiedades de los materiales y principalmente que permita el aumento de rendimiento y que bajen las vibraciones ocasionadas por el golpe de ariete, reflejándose en planos tanto de las partes, como diseño mecánico completo.

2.3.ÁREA DEL CONOCIMIENTO

Según la UNESCO se entenderá como campo principal del conocimiento el área de contenido en el código #330000 (Ciencias Tecnológicas), el cual abarca como campo secundario en el código #3313 (Tecnología e Ingeniería Mecánicas) y subcampos con los siguientes códigos #3313.25 (Bombas y equipos para manipulación de líquidos) [1].

2.4.SINÓPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

El presente trabajo se basa en el diseño hidráulico y mecánico del Ariete con dos válvulas de carga horizontal (forma de T), con la finalidad de analizar las ventajas y desventajas de una bomba de ariete hidráulico convencional, teniendo como objetivo la configuración idónea de las válvulas de carga; mejorando su rendimiento y la disminución de vibraciones lo que se comprueba mediante la simulación de funcionamiento de la bomba.

En él se detalla todo el desarrollo matemático e ingenieril para el dimensionamiento de componentes internos, cuerpo de la bomba, válvulas, etc. Similar al principio de funcionamiento del motor Bóxer donde las válvulas van colocadas a los lados en forma horizontal con la intención de disminuir las vibraciones de una válvula respecto a la otra, producidas por efecto del golpe de ariete.

2.5.OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.5.1. Objeto de estudio

- Ariete hidráulico Multipulsor de dos vías de carga horizontal.

2.5.2. Campo de acción

Estudio y diseño de bombas y equipos para manipulación de líquidos.

2.6.SITUACIÓN PROBLEMÁTICA Y PROBLEMA

2.6.1. Situación problemática

La bomba de ariete hidráulico se ha utilizado por más de dos siglos en muchas partes del mundo debido a su sencillez y fiabilidad, posee muchas cualidades como la utilización de energía renovable, la energía hidráulica y no es necesario algún tipo de combustible para su funcionamiento.

Desde el siglo XIX hasta la actualidad, el desarrollo del ariete hidráulico ha ido en dos direcciones: el mejoramiento del diseño mecánico y la teoría del principio de operación. En Sudamérica, ciertos países como Nicaragua, en menor escala con relación a países desarrollados industrialmente, realizan estudios de mejoramiento del diseño de la bomba de ariete hidráulico en busca de mejorar su eficiencia. Los parámetros analizados en estas naciones han sido enfocados principalmente a ciertas condiciones técnicas como son: la altura de elevación de la bomba con relación al desnivel de trabajo y la generación de mayor caudal elevado ya que este parámetro de funcionamiento actúa de forma directamente proporcional a la eficiencia de la bomba [2].

En el Ecuador existen algunos estudios sobre sistemas de bombeo con Ariete Hidráulico para el desarrollo rural integral, sin embargo, no se ha estudiado como aprovechar eficientemente el efecto del golpe de ariete, los arietes construidos en estos proyectos son los denominados convencionales (Arietes soldados, Tipo Dello, Tipo Accesorios y Hormigón), estos arietes se consideran artesanales pues su construcción es rudimentaria. [3]

En Ecuador contamos con distribuidores de bombas de ariete, siendo la más importante SETCOMET INGENIERÍA PARA EL DESARROLLO, así que la gran mayoría de las bombas de ariete son importadas de países industrializados [3].

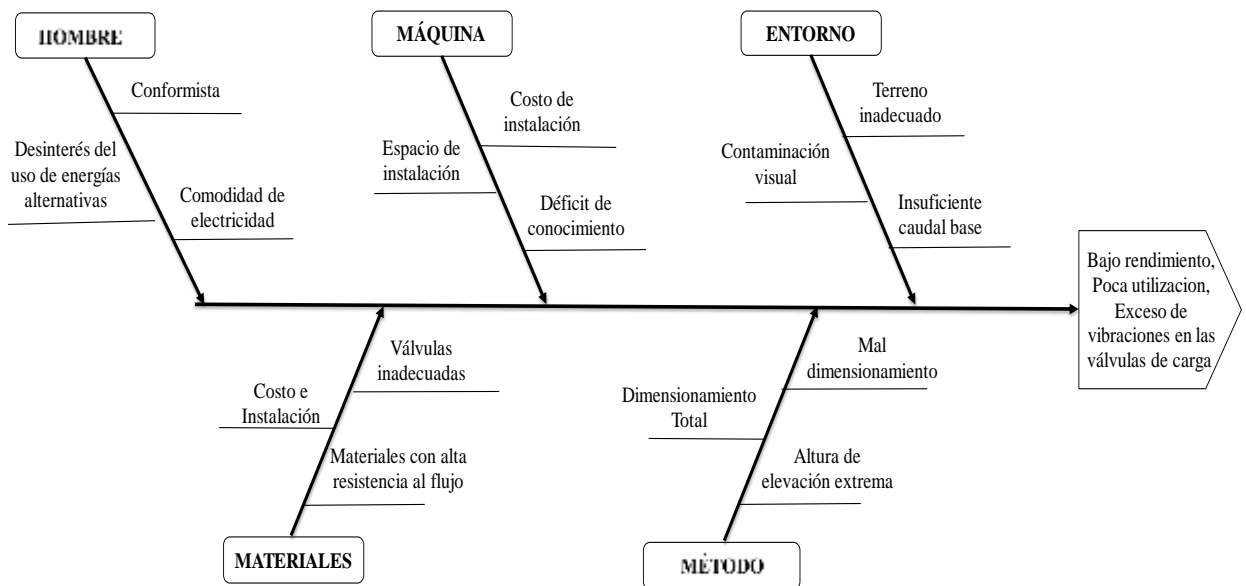
2.6.2. Problema

En el mundo las energías renovables son explotadas potencialmente, por lo tanto toda máquina o artefacto que funcione a partir de estas energías son muy codiciadas como las bombas de ariete hidráulico que son un exponente muy valioso debido a sus características de funcionamiento e instalación además que son de bajo costo; sin embargo la estructuración de las bombas convencionales provoca que existan demasiadas vibraciones por el choque hidráulico en la o las válvulas de carga, por lo que impide que exista un mayor aprovechamiento tanto en el caudal y altura de elevación.

En la provincia de Cotopaxi en el sector rural la mayor parte de la población es de escasos recursos debido a que el desarrollo económico está basado en la agricultura y ganadería, y el

principal problema que presentan es la escasez de agua para riego en sus siembras a pesar de encontrarse en la cordillera de los andes, que está lleno de ríos, lagunas y ojos de agua que no son aprovechados debido a que el ingreso económico no abastece para el uso de una bomba que genere costos por su utilización.

El estudio de bombas de ariete es prácticamente nulo, lo cual impide la evolución tecnológica en el ámbito de energías alternativas. Por lo tanto, se crea la necesidad de repotenciar la bomba de ariete convencional en cuanto a su eficiencia. En consecuencia, se presenta el siguiente proyecto consistente en el diseño del ariete hidráulico y su efecto sobre la eficiencia, con la que se pueda aplicar la mayoría de los factores en busca de optimizar los sistemas de bombeo no convencionales a través de arietes. Es decir, los arietes convencionales están en desventaja, debido a que solo una parte de la cantidad de agua que se utiliza para generar un golpe de ariete es elevada a una altura mayor a la inicial.



2.7.HIPÓTESIS

El diseño del ariete hidráulico multipulsor de dos vías de carga horizontal mejorará el rendimiento, reducirá las pérdidas de carga en las válvulas y disminuirá las vibraciones producidas por el golpe de ariete.

2.8.OBJETIVO(S)

2.8.1. Objetivo general

Diseñar un ariete hidráulico multipulsor de dos vías de carga horizontal mediante la modificación de diseños convencionales de arietes para el aprovechamiento máximo de cambio de energía del golpe de ariete.

2.8.2. Objetivos específicos

- Analizar las ventajas y desventajas de los diseños de arietes convencionales mediante la investigación bibliográfica para el desarrollo de un modelo teórico de ariete ideal.
- Diseñar el ariete hidráulico multipulsor de dos vías de carga horizontal mediante el dimensionamiento y selección de los componentes de la bomba.
- Simular el ariete hidráulico a partir de los resultados de selección utilizando software INVENTOR y ANSYS con fines demostrativos.

2.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS

Tabla 1. Sistema de actividades por objetivos

Objetivo	Actividad	Resultado	Medio Verificación
Analizar las ventajas y desventajas de los diseños de arietes convencionales mediante la investigación bibliográfica para el desarrollo de un modelo teórico de ariete ideal.	Estudio del principio de funcionamiento, operación, ventajas y desventajas, función de rendimiento, diseño de bombas de ariete mediante consulta en fuentes bibliográficas y virtuales.	Establecer las características de diseño que se van a mejorar.	Investigación documental
Diseñar el ariete hidráulico multipulsor de dos vías de carga horizontal mediante el dimensionamiento y selección de los componentes de la bomba.	-Cálculo de parámetros hidráulicos de diseño para un correcto funcionamiento.	-Sistema equilibrado.	-Tablas, cálculos y dimensiones de la bomba.
	-Dimensionamiento de las piezas que conforman la bomba a diseñar.	-Dimensiones de las piezas.	-Cálculos y dimensiones de las piezas.
Simular el ariete hidráulico a partir de los resultados de selección utilizando software INVENTOR con fines demostrativos.	-Modelado del sistema mecánico y su adaptación mediante el uso del software Inventor.	-Simulación de la bomba de ariete mediante el uso del Software ANSYS.	-Planos y simulaciones.

3. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

3.1.Introducción

En el presente capítulo se aborda los aspectos principales del diseño, las principales partes de la bomba, principio de funcionamiento, operación, ventajas y desventajas, función de rendimiento, diseño de bombas de ariete que nos servirá de utilidad para la investigación de modo conceptual e ingenieril.

3.2.Definición de la bomba de ariete hidráulico

“El ariete hidráulico” es un instrumento que aparte de no generar contaminación, como, dióxido de carbono u otros desechos perjudiciales, ni necesitar de supervisión alguna y electricidad o combustible fósil, caso de los motores o bombas convencionales; su construcción es sencilla y basado en el llamado golpe de ariete, es que éste maravilloso invento puede darnos futuras soluciones para los problemas de irrigación y el transporte del agua, sin ayuda de las ya conocidas bombas [4].

3.3.Golpe de ariete

3.3.1. Definición de golpe de ariete

El efecto de golpe de ariete es un fenómeno que aumenta la presión del agua en una tubería durante un corto período de tiempo [5].

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 [6].

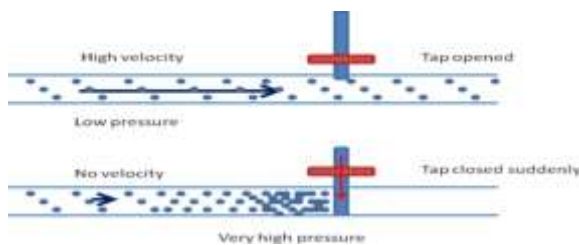


Figura 3.1 Efecto de golpe de ariete.

Fuente: [5]

Si la velocidad del agua en una tubería es lo suficientemente alta, un cierre rápido de la tubería causará un efecto de golpe de ariete como se muestra en la Figura 3.1. El agua que fluye se comprimirá a la válvula que se ha cerrado repentinamente. En comparación, si cientos de personas corren muy rápido en un corredor y de repente, se enfrentan a una puerta cerrada, el

espacio entre ellos se reducirá, todos se tocarán entre sí. Del mismo modo, con la velocidad, el agua tiene energía cinética. Al cerrar rápidamente la tubería, esta energía cinética se transformará en presión [5].

3.3.2. Descripción del principio básico de funcionamiento

Debido al fenómeno de golpe de ariete ocurren variaciones de presiones en el fluido de la tubería debido al violento cierre o abertura de una válvula. Durante la fluctuación brusca de presión, el líquido fluye a lo largo del conducto a una velocidad definida, por efecto de la sobrepresión la tubería se dilata y el fluido se comprime volviendo a ambos por elasticidad a la posición inicial, este efecto se repite estableciéndose un movimiento de presión oscilatorio cada vez con menor intensidad, hasta su anulación. El ariete hidráulico usa la energía potencial es un volumen de agua, comparativamente grande ubicado a una altura pequeña para convertirla en una energía de presión, que sirve para bombear una menor cantidad de agua a una altura mayor [7].

Este fenómeno se produce en los conductos al cerrar o abrir una válvula, al poner en marcha o parar una máquina hidráulica y también al disminuir el caudal bruscamente.

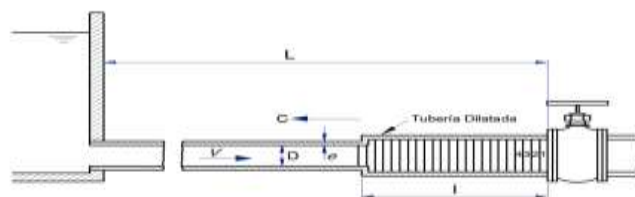


Figura 3.2 Onda de presión en el cierre instantáneo de una válvula: c es la velocidad de propagación de la onda y V la velocidad del fluido.

Fuente: [8]

En la Figura 3.2 se detalla una tubería de longitud (L), espesor (e) y diámetro interior (D) por la que circula agua proveniente de un embalse y que en su extremo derecho termina en un obturador. Si este se cierra rápidamente, se producirá una sobrepresión o golpe de ariete, este fenómeno tiene que ver con el principio de conservación de la energía, ya que al detener el líquido disminuye su energía cinética, la cual se va transformando en un trabajo de compresión del fluido que llena la tubería y dilata la misma [8].

3.3.3. Modo de operación y evaluación de desempeño del ariete hidráulico

La energía requerida para hacer que un Ariete eleve el agua a una elevación más alta proviene del agua que cae cuesta abajo debido a la gravedad. Como en todos los demás dispositivos que funcionan con agua, pero a diferencia de una rueda de agua o una turbina, el ariete utiliza la

inercia de la parte móvil en lugar de la presión del agua y funciona en un ciclo basado en las siguientes secuencias [9].

3.3.3.1. Secuencia I

El agua de la fuente fluye a través del tubo impulsor (A) hacia el cuerpo de la bomba de pistón, la llena y comienza a salir a través de la válvula de desecho o de "impulso" (B). La válvula de retención (C) permanece en sus posiciones cerradas normales tanto por el resorte adjunto como por la presión del agua en el tanque (D) y la tubería de suministro (E) (no hay agua en el tanque antes del arranque). En este punto de partida no hay presión en el tanque (D) y no se suministra agua a través del tubo de salida (E) al destino del tanque de retención. Ver Figura 3.3.

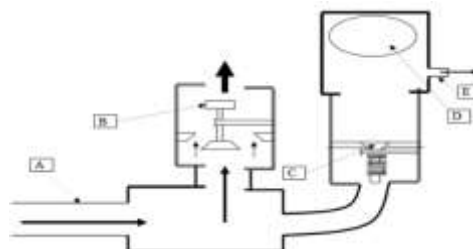


Figura 3.3 Secuencia Hidráulica Ariete I
Fuente: [9]

3.3.3.2. Secuencia II

El agua que ingresa a la bomba a través del tubo impulsor (A) tiene su velocidad y presión dirigiéndose hacia la válvula de desechos (B) como se ilustra en la Figura 3.4.

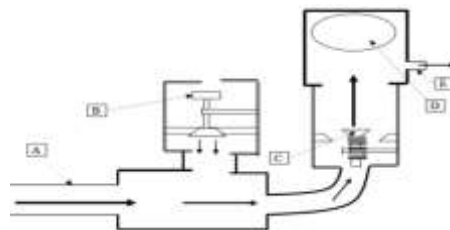


Figura 3.4 Secuencia Hidráulica Ariete II
Fuente: [9]

3.3.3.3. Secuencia III

El agua ha dejado de fluir a través del tubo impulsor (A) a medida que una "onda de choque" creada por el "golpe de ariete" regresa por el tubo impulsor al tanque de sedimentación. La válvula de residuos (B) está cerrada. El volumen de aire en el tanque de presión (D) continúa expandiéndose para igualar la presión, empujando una pequeña cantidad de agua fuera de la tubería de suministro (E). Vea la ilustración en la Figura 3.5.

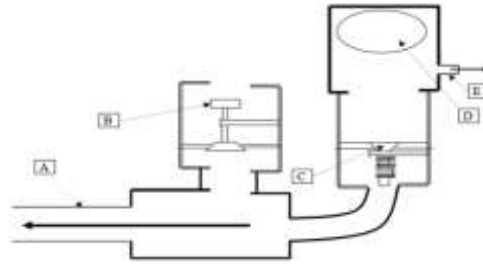


Figura 3.5 Secuencia Hidráulica Ariete III
Fuente: [9]

3.3.3.4. Secuencia IV

La onda de choque llega al tanque de retención causando un "jadeo" de agua en la tubería de transmisión (A). La válvula de desechos (B) se abre y el agua en el tubo impulsor (A) fluye hacia la bomba y sale de la válvula de desechos (B). La válvula de retención (C) permanece cerrada hasta que el volumen de aire en el tanque de presión (D) se haya estabilizado y el agua haya dejado de salir del tubo de suministro (E). En este punto, la secuencia 1 comienza de nuevo.

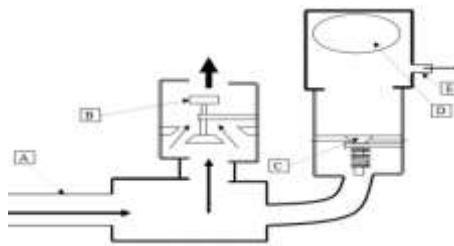


Figura 3.6 Secuencia Hidráulica Ariete IV
Fuente: [9]

3.4. Bomba de ariete hidráulico

3.4.1. Reseña histórica del ariete hidráulico

La bomba de ariete irrumpe en la historia al principio de la era de los grandes inventos, a finales del siglo XVIII, y alcanzó su adultez paralelamente a las máquinas de vapor y el motor de combustión interna. La aparición del ariete hidráulico data del año 1772, cuando el inglés John Whitehurst en una cervecería del condado de Cheshire construyó un ingenio basado en un principio de funcionamiento novedoso: accionaba manualmente un grifo en una tubería conectada a un tanque de abasto, en un nivel superior, para provocar el fenómeno conocido como golpe de ariete, que permitía elevar parte del caudal a un tanque de almacenamiento colocado a una altura de 4,9 metros [4].

El ariete hidráulico luego fue perfeccionado y patentado en 1796, por el francés Joseph Montgolfier (1740-1810), quien utilizó el invento al que denominó "belier hydraulique" para elevar agua al molino instalado en su fábrica de papel en Voiron (Francia). La primera bomba

de ariete como se conoce hoy fue inventada en 1796 por el francés Joseph Michel Montgolfier (más conocido como coinventor del globo aerostático) para elevar el agua en su fábrica de papel en Voiron. Su amigo Matthew Boulton sacó una patente británica a su nombre en 1797. Los hijos de Montgolfier obtuvieron una patente británica para una versión mejorada en 1816, y esta fue adquirida, junto con el diseño de Whitehurst, en 1820 por Josiah Easton, un ingeniero nacido en Somerset que acababa de mudarse a Londres [4].

Durante el siglo XIX la bomba de ariete se popularizó mucho, pero con la llegada de la electricidad y los motores de bajo coste, ha caído en desuso. Después de la muerte del ilustre francés otros se ocuparon de añadir bondades al equipo que pronto tuvo una amplia difusión por todo el mundo. Baste decir, a modo de ejemplo, que estuvo presente en las famosas fuentes del Taj Mahal en la India, o en el Ameer de Afganistán.

La primera patente de ariete en E.U.A. fue publicada por J. Cerneau y S.S.Hallet en 1809. El interés americano en arietes hidráulicos tomó lugar el final del siglo XIX cuando las compañías domésticas comenzaron a ofrecerlos para la venta, luego el interés disminuyó cuando el uso de bombas eléctricas llegó a estar extensamente disponible [10].

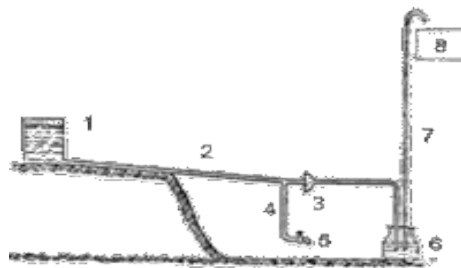


Figura 3.7 Esquema de funcionamiento del ariete ideado por John Whitehurst.

Fuente: [4]

El ariete hidráulico, en su versión convencional, es un equipo pesado, voluminoso y relativamente costoso en comparación con otros. Además, su utilización queda limitada a condiciones específicas; o sea, debemos disponer de un caudal de agua constante y un desnivel suficiente para lograr la potencia deseada. Estas limitaciones fueron superadas a partir de la concepción y diseño del ariete hidráulico multipulsor [3].

3.5. Tipos de arietes hidráulicos

Se ha llegado principalmente a dos tipos de arietes hidráulicos clasificándolos básicamente por su número de válvulas de impulso y su disposición de estas en; ariete monopulsor o clásico y ariete multipulsor [11].

3.5.1. Ariete Monopulsor

Es el ariete clásico hidráulico que se utiliza para la mayoría de los requerimientos que no necesiten un caudal extremo y consta de sus partes básicas:

- Fuente de alimentación
- Tubería de alimentación
- Válvula de impulsión o derrame
- Válvula de retención, entrega o descarga
- Cámara o acumulador de aire
- Tubería de descarga



Figura 3.8 Ariete monopulsor
Fuente: [11]

3.5.2. Ariete Multipulsor

El Ariete Hidráulico Multipulsor consiste en un desarrollo en la parte de diseño mecánico, específicamente en la sustitución de la única válvula de impulsión del ariete convencional por un sistema de válvulas colocadas en serie para aprovechar así el caudal disponible y la energía remanente que normalmente se desperdicia en un ariete convencional, y teniendo así una mejora en el rendimiento.



Figura 3.9 Ariete Multipulsor
Fuente: [11]

3.6. Configuración general de la bomba de ariete hidráulico

La configuración generalizada es la presentada a continuación; evidentemente, dicha arreglo varío de acuerdo con el diseño y fabricación de cada elemento; sin embargo, el principio sigue siendo el mismo [7].

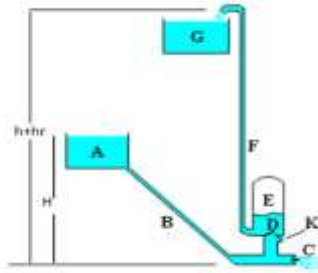


Figura 3.10 Configuración típica de la bomba de ariete.

Fuente: [7]

En donde:

h: altura a la cual se eleva el agua, tomando como referencia el reservorio de suministro.

H: altura menor, distancia vertical entre la toma de agua y el punto más bajo del ariete.

A: reservorio de alimentación

B: tubo de alimentación o impulso

C: válvula de desperdicio, alivio, impulso o desahogo

D: válvula de retención, entrega, descarga o servicio

E: caldera de presión o cámara de aire

F: tubería de descarga

G: depósito de descarga

K: válvula de admisión de un ariete hidráulico consta básicamente de 5 componentes: el cuerpo del ariete, la cámara de aire, la válvula de escape, la válvula de impulsión, y la válvula de aire.

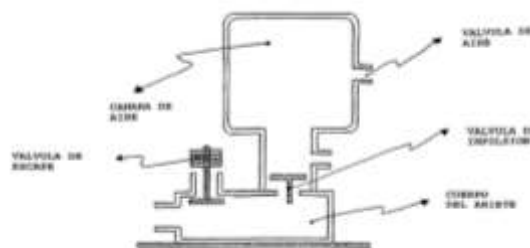


Figura 3.11 Componentes de la bomba de ariete.

Fuente: [7]

3.7.Principio de funcionamiento del ariete hidráulico

El principio de funcionamiento de la bomba de ariete está ilustrado en la figura 3.12. La operación se basa en la conversión de la energía de velocidad del agua que fluye en energía de elevación. El agua fluye desde la fuente a través del tubo de accionamiento (A) y escapa a través de la válvula de desagüe (B) hasta que se acumula la presión suficiente para cerrar la válvula de desagüe. Después, el agua surge a través de la válvula de descarga interior (C) en la cámara de aire (D), comprimiendo el aire atrapado en la cámara. Cuando el agua a presión alcanza el

equilibrio con el aire atrapado, rebota, haciendo que la válvula de descarga (C) cierre. El agua a presión entonces se escapa de la cámara de aire a través de una válvula de retención y el tubo de descarga (E) a su destino. El cierre de la válvula de descarga (C) causa un ligero vacío, permitiendo que la válvula de desagüe (B) se abra iniciando así un nuevo ciclo.

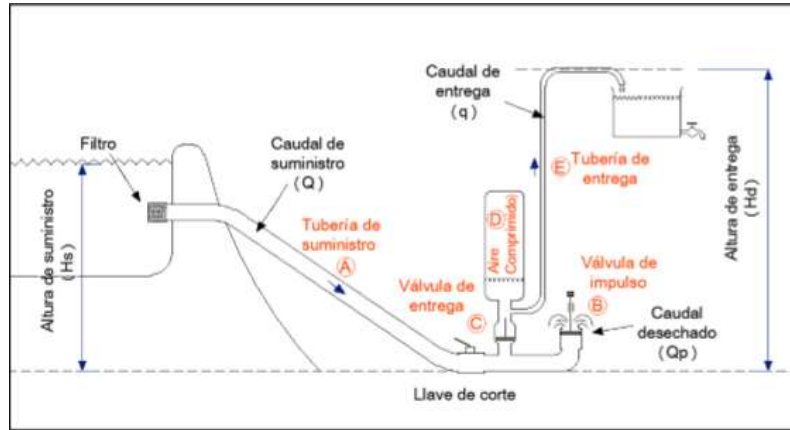


Figura 3.12 Principio de funcionamiento.

Fuente: [8]

El ciclo se repite entre 20 y 100 veces por minuto, dependiendo de la velocidad de flujo. Si se instala correctamente, un ariete hidráulico operará en forma continua con un mínimo de atención, siempre que el suministro de agua que fluye sea continuo y el exceso de agua se derrame fuera de la bomba [8].

3.8. Elementos y componentes del ariete hidráulico

3.8.1. Cuerpo del ariete hidráulico

El cuerpo del Ariete es estructuralmente simple, constituido por una caja de válvulas la cual puede estar formada por una té y un codo, una unidad ensamblada cuyos elementos pueden estar unidos por pernos, tornillos, elementos roscados o mediante soldadura según los recursos, tecnificación y complejidad para la misma. Es la parte donde se produce la propagación de la onda de presión, donde se ubican la válvula de impulso y la válvula de entrega [12].



Figura 3.13 Juntas por medio de bridas.

Fuente: [12]

La siguiente configuración busca reducir los cambios de sección con la utilización de bridas y elementos normalizados que se pueden seleccionar en base a los diámetros y presiones a los

que serán sometidos, dichos elementos aumentan la robustez, disminuyen las pérdidas de velocidad y de presión por su buen diseño hidrodinámico, ver figura 3.13.

3.8.2. Válvula de impulso

Esta válvula es una de las partes más sensibles e importantes de la bomba de ariete, la correcta selección y buen diseño de esta, garantizará la máxima eficiencia en el funcionamiento del dispositivo.

Constituye la parte móvil más importante y determinante en el funcionamiento del equipo. Es la encargada de producir el golpe de ariete debido al cierre brusco que se produce por el efecto del incremento de la velocidad del agua. Esta válvula permite regular la cantidad de agua que penetra en la cámara de aire, esto se logra al variar el número de golpes por minutos [12].

3.8.3. Válvula de entrega

Es la que permite el paso del agua, desde la caja de válvulas hasta la cámara de aire, no permitiendo su retroceso al cerrarse por los efectos del rebote que se produce con el aire comprimido dentro de la cámara, lo que hace que el agua sea impulsada hasta un nivel superior al de captación. Debe estar construida de forma tal que se logre una buena hermeticidad, lo que evita pérdidas en la eficiencia y el rendimiento [12].

3.8.4. Cámara de aire o campana

Es el dispositivo que regula el flujo de agua hacia la tubería de descarga, absorbe la sobrepresión (funciona como amortiguador de los golpes de ariete) e impulsa el agua por la tubería, dando de esta forma un flujo casi continuo, logrando un nivel superior al de captación y va montada sobre su propia base en la caja de válvulas mediante tornillos. En el interior de la cámara de aire se producen dos presiones producto de sus condiciones de funcionamiento, una presión mínima cuando una cantidad de aire soporta la columna de agua presente en la tubería de entrega y otra presión máxima cuando el fluido ingresa y el aire de la cámara se comprime.

3.8.5. Válvula de aire

Sirve para regular y renovar el aire absorbido por el agua que se pierde de la cámara. Está ubicada por debajo de la válvula de descarga y permite el ingreso permanente de aire de acuerdo con el requerimiento de la cámara [12].

3.9. Parámetros de diseño de la bomba

3.9.1. Locación de la bomba

Determinar el lugar donde se va a utilizar la bomba es la etapa primordial que marcará factores determinantes para el diseño de esta, debido a las necesidades en el caso específico para su funcionamiento.

3.9.2. Fuente de alimentación o reservorio

Fuente continua de agua, que normalmente será un río al que le será devuelta unos metros más abajo el agua descargada por la bomba de ariete. Esta fuente tendrá que proporcionar agua a una altura H por encima del nivel al que se encuentre la bomba de ariete. Esta altura H depende del tipo de bomba con el que se trabaje, así como la altura final a la que se quiera bombear agua y el rendimiento que busquemos, pero un valor usual puede ser entre 2 y 6 metros [13].

3.9.3. Tubería de suministro

La tubería de suministro tiene dos objetivos primordiales que son:

- Permitir la entrada de agua al cuerpo de la bomba desde el tanque de suministro con la ganancia adicional de velocidad.
- Resistir el efecto de martillo del impacto producidos por el golpe de ariete.

Las dimensiones, tanto del diámetro como la longitud de la tubería de suministro son factores determinantes para garantizar el buen funcionamiento de la bomba de ariete, ya que conduce el agua desde la fuente a la bomba y retiene la onda de presión producida por el golpe de ariete. Estas deben cumplir con ciertas relaciones desarrolladas de manera experimental y obviamente de acuerdo con el espacio físico disponible.

3.9.4. Tubería de entrega

El objetivo principal de la tubería de entrega es conducir al fluido hasta su descarga, puede componerse de elementos de acople como uniones, codos, neplos, etc. Los que sean necesarios para armar el tren de tubos que cumpla con la distancia establecida.

El diámetro de la tubería de entrega normalmente se calcula como la mitad del diámetro de la tubería de suministro [12].

3.9.5. Determinación de caudales

Se debe medir el caudal disponible (Q_d) en la fuente de agua, en el período más seco del año, utilizando un método adecuado de aforo, recomendándose aumentar la exactitud de esta medición cuando el caudal sea menor a 5 l/min. El valor de este caudal indicará el tamaño

máximo de ariete que pueda usarse. Se debe determinar el caudal requerido (Q_r) para los diferentes propósitos (bebida animal, riego, uso doméstico, etc.), en el período de máximos requerimientos del año [14].

3.9.6. Determinación del rendimiento del ariete

Utilizando la relación h/H , se determina el rendimiento del ariete, cuyo valor indica qué porcentaje del caudal de entrada al ariete (Q) es elevado por éste como caudal de salida (q). En la tabla 3.1, se presenta el valor de rendimiento como función de la relación h/H .

Tabla 3.1: Rendimiento del ariete hidráulico en función de la relación de alturas h/H .

h/H	η
$\frac{1}{2} = 0.5$	0.34
$\frac{1}{3} = 0.333$	0.21
$\frac{1}{4} = 0.25$	0.15
$\frac{1}{5} = 0.2$	0.11
$\frac{1}{6} = 0.167$	0.085
$\frac{1}{7} = 0.143$	0.068
$\frac{1}{8} = 0.125$	0.056
$\frac{1}{9} = 0.1$	0.039
$\frac{1}{10} = 0.083$	0.029
$\frac{1}{11} = 0.067$	0.019
$\frac{1}{12} = 0.059$	0.014
$\frac{1}{13} = 0.05$	0.009

Fuente: [14]

3.9.7. Fuerzas que actúan sobre las válvulas

Puesto que los únicos elementos móviles en un ariete hidráulico son las válvulas de impulso como de descarga, es necesario conocer las fuerzas actuantes que produce este movimiento. Estas fuerzas son conocidas con los nombres de fuerzas de cierre (cierre de válvula) y fuerza de restitución (apertura de la válvula) [13].

En las válvulas de descarga, la fuerza de cierre es causada por cierta velocidad necesaria (del fluido) para que la presión dinámica actúe sobre el extremo de la válvula venciendo su propio peso y haciéndola cerrar.

En las válvulas de impulso, la fuerza que las abre se produce debido a la sobrepresión instantánea de gran empuje originada por el cierre de la válvula de descarga; mientras que la

fuerza que cierra estas válvulas ocurre cuando la presión de aire en la cámara aumenta hasta ser igual o mayor que la fuerza de apertura.

3.9.8. Rendimiento (R)

El rendimiento del ariete hidráulico representa el porcentaje de agua que se puede bombear en relación con el total de la canalizada por el ariete, y varía en función del cociente H/h . Al aumentar el valor resultante, el rendimiento disminuye. En la tabla siguiente puede verse cómo varía el rendimiento energético [15].

Tabla 3.2: Comparación del ariete hidráulico con otras bombas.

h/H	2	3	4	6	8	10	12
η	0,85	0,81	0,76	0,67	0,57	0,43	0,23

Fuente: [15]

3.10. Tipos de válvulas

3.10.1. Tipos de válvulas de impulso

3.10.1.1. Válvula con resorte de pletina

La válvula de pletina es netamente artesanal consta de materiales de fácil adquisición como son tubos, planchas, pletinas y pernos. Es de fácil construcción y se la puede fabricar en cualquier taller mecánico con un mínimo de herramientas, ver figura 3.14 [12].

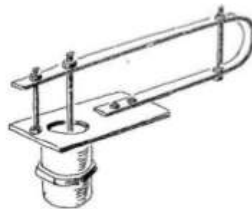


Figura 3.14 Válvula con resorte de pletina.

Fuente: [12]

3.10.1.2. Válvula con plato perforado

Esta válvula posee un plato perforado de geometría variable y compleja junto a un material que tiene una gran flexibilidad, resistencia al desgaste y alta tolerancia a la fatiga. Material con estas características es a la vez costoso y poco accesible en los países en desarrollo, su construcción es complicada y su vida útil es muy corta, ver figura 3.15 [12].

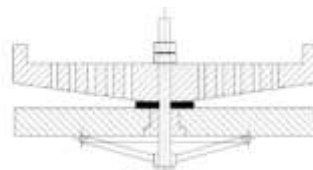


Figura 3.15 Válvula con plato perforado.

Fuente: [12]

3.10.1.3. Válvula regulada con resorte

Este diseño implica cálculos previos muy precisos y construcción de elementos exactos. El desplazamiento de la carrera de la válvula lo gobierna un resorte, la válvula puede estar dispuesta en forma vertical u horizontal, ver figura 3.16 [12].

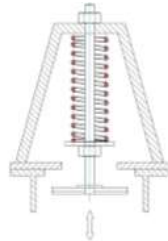


Figura3.16 Válvula con resorte.

Fuente: [12]

3.10.1.4. Válvula con pesas encima

Este diseño tiene la ventaja de poder ajustar su carrera y su velocidad de cierre con la modificación de su conjunto de pesas, su construcción es robusta lo que garantiza una gran durabilidad para un ciclo de vida elevado. Como desventaja se tiene que este tipo de válvulas solo pueden trabajar en forma vertical para que las pesas actúen por la gravedad, ver figura 3.17 [12].

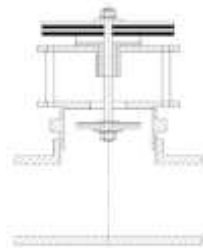


Figura3.17 Válvula con pesas encima.

Fuente: [12]

3.10.1.5. Válvula con pesas a debajo

Básicamente cumple el mismo principio de la válvula de pesas arriba, posee un diseño robusto, su configuración es sólida, las pesas se ubican en la parte inferior de la tapa de la válvula, tiene la capacidad de variar su carrera y velocidad, con la modificación de su conjunto de pesas. De igual manera debe ser posicionada en forma vertical, ver figura 3.18 [12].

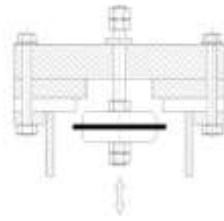


Figura 3.18 Válvula con pesas abajo.
Fuente: [12]

3.10.2. Tipos de válvula de entrega

3.10.2.1. Válvula de solapa

Compuesta de una tapa de goma sencilla fijada en el centro contra una placa plana perforada. El movimiento está restringido por el tipo y espesor del caucho utilizado. La cantidad de flujo que atraviesa el agujero en la placa de entrega está limitada por la resistencia del caucho y la presión de entrega. Su baja inercia brinda una respuesta más rápida que otros tipos de válvulas, ver figura 3.19 [12].

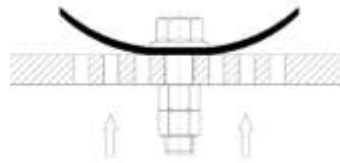


Figura 3.19 Válvula de solapa.
Fuente: [12]

3.10.2.2. Válvula tipo cabezal

El obturador utiliza caucho muy rígido tal como el material de la suela del zapato subiendo y bajando con un eje central, ver figura 3.20. Esta es una buena opción para bombas de cabeza alta, aunque puede tener problemas de sellado en las bombas de cabeza baja. Tiene la ventaja de permitir agujeros de gran diámetro en la placa de entrega. El agujero en la placa de la entrega y el perno necesitan cuidado en el dimensionamiento para asegurar la facilidad del movimiento. Este tipo de válvulas están sujetas a desgaste muy breve lo que puede ser un problema [12].

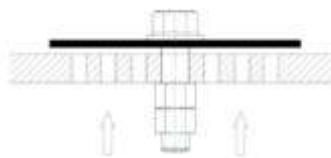


Figura3.20 Válvula de solapa.
Fuente: [12]

3.10.2.3. Válvula de bisagra

La válvula de bisagra permite un agujero grande en la placa de entrega, minimizando la resistencia al flujo, ver figura 3.21. Los materiales utilizados para la bisagra y el método de fijación son cruciales y con frecuencia causan problemas. La posibilidad de reflujo debido al cierre lento puede ser un problema [12].

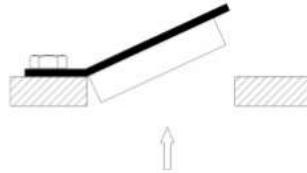


Figura 3.21 Válvula de bisagra.
Fuente: [12]

3.10.2.4. Válvula de disco suelto

La válvula de disco suelto utiliza material similar a la válvula de tipo cabezal ya que está restringido por una jaula unida a la placa de suministro, ver figura 3.22. Es más difícil de fabricar, pero tiene las mismas características que la válvula de tipo cabezal [12].

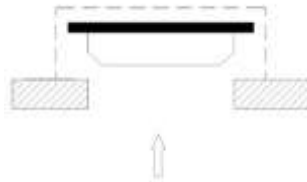


Figura3. 22 Válvula de disco suelto.
Fuente: [12]

3.10.2.5. Válvula de tapón

Esta es una válvula de impulsos efectivamente invertida con la presión diferencial que tiene que superar el peso de la válvula con el fin de levantarlo, ver figura 3.23. El área de flujo grande de la placa de entrega puede ser una ventaja, pero también puede conducir a un flujo de retorno grande, mientras que la válvula se cierra. Un resorte puede ser añadido para facilitar un cierre rápido, pero esto se suma a la presión diferencial requerida para abrirlo [12].

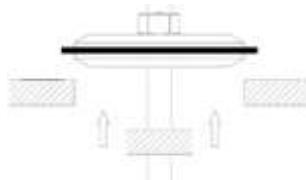


Figura3.23 Válvula de tapón.
Fuente: [12]

3.11. Ventajas y desventajas

Una de las ventajas que ofrece la bomba de ariete es su escaso mantenimiento. Solo requiere la sustitución de pequeños elementos de goma y, además, procurar que no lleguen a las válvulas: pequeñas piedras, hojas o lodos desde la toma de agua. La vida útil puede superar en gran medida con un poco de mantenimiento, cuarenta años o más [6].

La principal desventaja es su baja eficiencia.

También mencionaremos algunas desventajas de este tipo de equipos; una de las principales es la baja eficiencia en comparación con otras bombas hidráulicas. Una segunda desventaja sería el ruido ocasionado por el golpe de ariete en las válvulas durante su funcionamiento. Este ruido se puede reducir utilizando ciertos aditamentos de absorción de vibraciones sonoras en los lugares donde se generen la mayor suma de ruido: en la válvula de impulso y en la unión de la cámara de aire con la tubería de descarga. El ariete en su versión convencional es un equipo pesado y voluminoso [16].

Aun así, con estas desventajas el ariete hidráulico sigue siendo la mejor alternativa para ser usado en zonas accidentadas en donde no hay energía eléctrica y no cuenten con la economía suficiente para solventar los gastos de mantenimiento, lubricantes y combustibles para el funcionamiento de otro tipo de sistema de bombeo [16].

En la **tabla 3.3** se muestra la comparación de ariete hidráulico con otras bombas que se usan en el medio para el bombeo de agua.

Tabla 3.3: Comparación del ariete hidráulico con otras bombas.

Descripción	Bomba - Motor	Bomba - Eléctrica	Ariete
Inversión inicial	Alto	Bajo	Medio
Energía externa	Si	Si	No
Mantenimiento	Si	Si	No
Lubricantes	Si	Si	No
Vida útil	Larga	Larga	Larga
Eficiencia	Alto	Alto	Media
Confiablez	Alta	Media	Alta
Contaminación (Desecho tóxicos)	Si	Si	No
Ruido	Alto	Alto	Media

Fuente: [16]

4. METODOLOGÍA

4.1.Introducción

El objetivo de este capítulo es: Establecer los métodos y cálculos para el diseño hidráulico, diseño mecánico y la evaluación, donde se hace referencia cada una de las ecuaciones que intervienen en el diseño del Ariete Hidráulico multipulsor de dos vías horizontal.

Desarrollamos un boceto a partir de las configuraciones comunes de arietes hidráulicos, le añadimos una variación en la parte absorbente de vibraciones del golpe de ariete, incluimos válvulas de carga en forma horizontal para realizar cálculos y experimentaciones de tal manera que se verifica, aumentamos el rendimiento y reducimos las vibraciones ocasionadas por el golpe de ariete.

Se empleará normas, métodos y cálculos matemáticos existentes para el dimensionamiento y validación de elementos constituyentes del ariete hidráulico multipulsor de dos vías horizontal.

4.2.Definición de variables

La siguiente tabla muestra las variables de entrada y salida del ariete hidráulico multipulsor de dos vías de carga horizontal y su clasificación en variable dependiente e independiente.

Tabla 4.4: Definición de variables.

VARIABLES DE ENTRADA (Parte hidráulica)			
VARIABLE DEPENDIENTE		VARIABLE INDEPENDIENTE	
Parámetro	Símbolo/ Magnitud	Parámetro	Símbolo/ Magnitud
Longitud del conducto de impulsión	L [m]	Celeridad de onda	a [m/s]
Ángulo de inclinación del conducto	Θ [°]	Tiempo de cierre de válvula	T [s]
Reynolds	Re	Pulso de Joukowsky	Δp [Pa]
Rugosidad relativa	ϵ_r	Sobre presión	ΔH [m]
Factor de fricción	λ	Sobre presión máxima	$H_{m\acute{a}x}$ [m]
Perdidas por rozamiento en la tubería de alimentación	h_{roz} [m]	Presión mínima	$H_{m\acute{i}n}$ [m]
Caudal circulante	Q [m ³ /s]	Sobre presión	$P_{m\acute{a}x}$ [Pa]
Altura de alimentación	H_a [m]	Presión mínima	$P_{m\acute{i}n}$ [Pa]
Área anular de la válvula de impulsión	A [m ²]	Coefficiente de arrastre	Cd
Velocidad de flujo de cada válvula	v [m/s]	Fuerzas hidráulicas sobre la válvula	Fd [N]
Periodo	T [s]		

Caudal bombeado	qb [m ³ /ciclo]	
Caudal perdido	Qp [m ³ /ciclo]	
Presión de entrada al ariete	P ₁ [Pa]	
VARIABLES DE SALIDA (Parte mecánica)		
VARIABLE DEPENDIENTE		
Parámetro	Símbolo / Magnitud	
Área de corte	A _{cort} [m ²]	
Fuerza aplicada	F [N]	
Tensión admisible de cizallamiento	σ _{adm} [kgf/cm ²]	
Área de aplicación de los pernos	A [cm ²]	
Fuerza sobre los pernos	F [kgf]	
Tensión admisible a la tracción	σ _{adm.trac} [kgf/cm ²]	
Número de pernos	n	
VARIABLES DE EVALUACION DE EFICIENCIA		
Parámetro	Símbolo / Magnitud	
Pérdidas por fricción en el conducto vertical	h _{roz} [m]	
Pérdidas locales en el conducto vertical	h _{loc} [m]	
Pérdidas inerciales en el conducto vertical	h _{iner} [m]	
Altura desarrollada por el ariete	H _i [m]	
Potencia útil	Nu [W]	
Potencia absorbida	Nb [W]	
Rendimiento	η [%]	
Rendimiento de D`Aubuisson	η _λ [%]	
Rendimiento de Rankine	η _R [%]	
Rendimiento Volumétrico	η _V [%]	

4.3. Metodología de diseño hidráulico del ariete multipulsor de dos vías de carga horizontal

Después de un análisis de varios modelos matemáticos, se ha resuelto utilizar las características más relevantes de cuatro modelos.

4.3.1. Propiedades de los líquidos

Fluidos: Sustancias que carecen de forma fija (en continuo movimiento). Incluyen a líquidos y gases.

Líquidos: - volumen definido - densidad casi independiente de la presión (incompresibles).

Gases: - volumen no definido (se expanden hasta ocupar todo el recipiente) - densidad dependiente de presión (compresibles) y temperatura.

Densidad. En un fluido, es importante la densidad o masa específica ella permite calcular el peso del elemento de volumen que se considere, que es una posible fuerza exterior actuando sobre cada elemento de fluido [17].

Presión. La fuerza de compresión por unidad de área perpendicular a la fuerza [17].

Viscosidad. Es la propiedad del líquido de oponerse al desplazamiento o resbalamiento de sus capas. Ésta a su vez es inversa a la fluidez, los líquidos con mayor viscosidad (aceites lubricantes y otros) son menos fluidos y viceversa [18].

4.3.2. Datos físicos del flujo de agua y aire en la ciudad de Latacunga a partir de su temperatura promedio

El clima de Latacunga se clasifica como cálido y templado. De acuerdo con Köppen y Geiger el clima se clasifica como Cfb. La temperatura promedio en Latacunga es 13.4 °C [19].

Según la temperatura promedio de la ciudad de Latacunga mencionada anteriormente y, considerando que las propiedades del agua líquida se pueden aproximar a las propiedades de un líquido saturado a la misma temperatura, se obtiene las propiedades del flujo de agua a través del Anexo 1 (se aplicó interpolación a través de las temperaturas) mostradas en la tabla 4.5:

Tabla 4.5: Propiedades físicas del agua en la ciudad Latacunga a Temperatura 13.4°C.

Propiedades físicas del agua en la ciudad Latacunga Temperatura 13.4°C		
Propiedad	Magnitud	Unidad
Densidad (ρ)	999,359	kg/m ³
Viscosidad (μ)	1,1935	(N.s/m ²)10 ⁻³
Viscosidad cinemática (ν)	1,1945	(m ² /s)10 ⁻⁶

Continuando con el cálculo, según la temperatura promedio mencionada anteriormente y, considerando que el equipo opera nominalmente a presión atmosférica estándar (0 m.s.n.m), se obtienen las propiedades del flujo de aire a través del Anexo 1 (se aplicó interpolación a través de las temperaturas), las cuales son mostradas en la tabla 4.6:

Tabla 4.6: Propiedades físicas del aire en la ciudad Latacunga a Temperatura 13.4°C.

Propiedades físicas del aire en la ciudad Latacunga Temperatura 13.4°C		
Propiedad	Magnitud	Unidad
Densidad (ρ)	1,23238	kg/m ³
Viscosidad (μ)	1,777	(N.s/m ²)10 ⁻⁵
Viscosidad cinemática (ν)	1,4506	(m ² /s)10 ⁻⁵

4.3.3. Altura de suministro

La altura mínima para instalar un ariete hidráulico es de 1m y la altura máxima es de 20m [20].

$$1m < Hs < 20m$$

Para establecer la altura con la cual se debe contar para llegar al nivel de descarga requerido haremos uso de relaciones matemáticas de Bombas Williamson HiFlo Ram que se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$Hs = \frac{1}{10} Hd \quad (4.1)$$

4.3.4. Tubería de suministro

Este conducto debe ser lo más recto posible y no reducciones ni ángulos muy pronunciados, el ángulo de inclinación de la tubería de suministro debe estar comprendido entre los 10° y 45° con la horizontal [20].

La longitud óptima de la tubería de impulsión según los estudios de Weinmann es 6 veces a la altura de suministro.

$$L = 6Hs \quad (4.2)$$

La tubería de suministro debe tener una longitud superior a 10m e inferior a 30m, es decir:

$$10m < L < 30m$$

Las medidas, tanto de la longitud como del diámetro de la tubería de suministro son factores importantes según S.B Watt menciona la siguiente relación como la más recomendable:

$$\frac{L}{D} = 150 \text{ a } 500 \quad (4.3)$$

4.3.5. Tubería de descarga

La tubería de descarga se encarga de conducir el fluido hasta el tanque de descarga. Su diámetro se calcula con la siguiente relación:

$$Dd = \frac{Ds}{4} \text{ a } \frac{Ds}{2} \quad (4.4)$$

4.3.6. Caudal de suministro

Se denomina a la cantidad de fluido que atraviesa dicha superficie en un tiempo t [18].

El caudal de alimentación mínimo del ariete es de 600 l/min [21].

4.3.7. Cálculo del diámetro de la tubería

Para dimensionar la tubería, se despeja la ecuación de caudal de la que se obtiene que:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \quad (4.5)$$

Una vez obtenido el diámetro de la tubería, se encuentra que el valor obtenido raramente corresponde con un diámetro comercialmente disponible; razón por la cual se debe escoger el más cercano [18].

4.3.8. Numero de Reynolds

La frontera existente entre el régimen laminar y el régimen turbulento puede establecerse analíticamente a partir del valor del número de Reynolds. [18]

Esta expresión también puede expresarse en función del caudal:

$$Re = \frac{4Q}{\pi v D} \quad (4.6)$$

El número de Reynolds no tiene dimensiones, por lo tanto, es independiente del sistema de unidades utilizado. El tipo de flujo puede determinarse mediante la siguiente relación [20].

$Re < 2000$ flujo laminar; $Re > 4000$ flujo turbulento; $2000 < Re < 4000$ flujo impredecible.

4.3.9. Rugosidad relativa

Es la relación del diámetro de la tubería y la rugosidad promedio de su pared [20].

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D} \quad (4.7)$$

4.3.10. Factor de fricción

En el caso del régimen turbulento, puede calcularse el factor de fricción mediante la expresión formulada por el ruso P. Konakov. [18]

$$\lambda = \frac{1}{(1.81 \log Re - 1.5)^2} \quad (4.8)$$

4.3.11. Perdidas por fricción

Existe una gran variedad de expresiones para el cálculo de la pérdida primarias de carga en tuberías, entre las que se encuentra la que usualmente se denomina ecuación de Darcy-Weisbach Ayala, (2005) [22].

Cuya expresión es:

$$h_{roz} = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (4.9)$$

La expresión en función del flujo volumétrico es:

$$h_{roz} = \frac{8 \cdot \lambda \cdot L}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} \cdot Q^2 \quad (4.10)$$

4.3.12. Perdidas locales

Las perdidas locales ocurren cuando hay un cambio u obstrucción de la trayectoria del flujo, debido a la presencia de accesorios, válvulas o conectores [20].

$$h_{loc.} = \zeta_{loc.} \cdot \frac{v^2}{2.g} \quad (4.11)$$

Si hay un cambio de sección como reducción o ensanchamiento, suele tomarse la velocidad en la sección menor.

4.3.13. Velocidad en la entrada de las válvulas

Según William Hazen, el caudal con la que el flujo ingresa a las válvulas se determina en la ecuación 4.12; siendo igual a:

$$Q = 0,2785. C. (D)^{2,63}. S^{0,54} \quad (4.12)$$

4.3.14. Tiempo de duración de un periodo

Utilizando los valores estimados por J. A. Eytelwein en donde el tiempo de aceleración es de aproximadamente 0.9s, el tiempo de bombeo es de 0.053s y el tiempo de retarde es de 0.047s, por lo que el tiempo de duración de un periodo es igual a:

$$T = Ta + Td + Tr [s] \quad (4.13)$$

4.3.15. Caudal bombeado en un ciclo

Para calcular el caudal bombeado en un ciclo se toma en cuenta dos veces el diámetro de la válvula check, se obtiene:

$$qb = \frac{1}{T} \cdot \frac{\pi D_{CHECK}^2}{4} \int_{Ta}^{Ta+Td} v(t) dt \quad (4.14)$$

4.3.16. Caudal perdido en un ciclo

Para calcular el caudal perdido o derramado por la válvula de impulso (Qp) se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$Qp = Q - qb \quad (4.15)$$

4.3.17. Altura desarrollada por el ariete

Para calcular la altura desarrollada por el ariete H_i tenemos que sumar a la altura de descarga h_d , los elementos de pérdidas hidráulicas (locales, rozamiento, inercia) [22]

$$H_i = h_d + h_{roz.} + h_{loc.} + h_{iner.} \quad (4.16)$$

La variable $h_{iner.}$ representa 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:

$$h_{iner} = \frac{1}{g} \frac{dv}{dt} \quad (4.17)$$

4.3.18. Golpe de ariete

4.3.18.1. Celeridad del pulso de presión

Es la velocidad de propagación de las perturbaciones en un transitorio hidráulico, esta se obtiene con la siguiente expresión propuesta por Joukowski [18].

Para el caso particular del agua ($K=2 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$; $\rho_{\text{H}_2\text{O}}=1000 \text{ Kg/m}^3$) puede simplificarse la expresión de forma:

$$a = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{K \cdot D}{E \cdot e}}} \quad (4.18)$$

4.3.18.2. Tiempo de cierre de la válvula

Para evaluar el tiempo de cierre de las válvulas tenemos que calcular el período, para luego determinar si el cierre es rápido o lento [22].

$$T = \frac{2 \cdot L}{a} \quad (4.19)$$

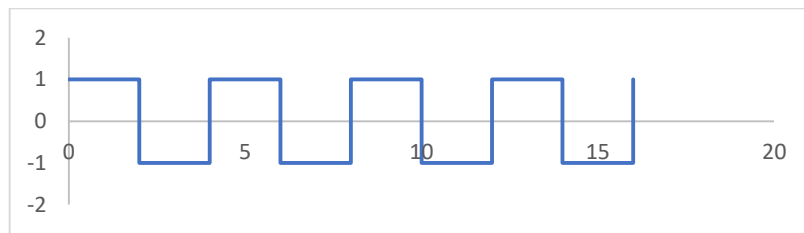


Figura 4.24 Representación gráfica del periodo sin considerar pérdidas.
Fuente: [18]

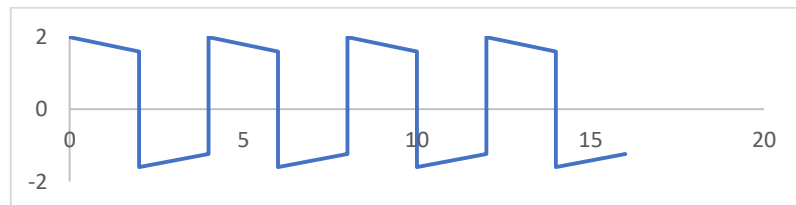


Figura 4.25 Representación gráfica del periodo considerando pérdidas.
Fuente: [18]

4.3.22.3. Cierre brusco

Para maniobra rápida el tiempo de cierre debe ser menor que el periodo para que exista sobrepresión, llamado choque hidráulico directo.

$$t_c < \frac{2 \cdot L}{a} \quad (4.20)$$

Si el cierre es rápido la sobrepresión máxima o pulso de Joukowsky se calcula con la siguiente ecuación [22].

$$h_a = \frac{a \cdot v}{g} \quad (4.21)$$

4.3.22.4. Cierre lento

Para maniobra lenta el tiempo de cierre debe ser mayor que el periodo dando lugar a un choque hidráulico indirecto; es decir la onda de choque reflejándose del recipiente regresa a las válvulas antes de que estas sean cerradas por completo.

$$t_c > \frac{2 \cdot L}{a} \quad (4.22)$$

Para un cierre lento se puede aplicar la fórmula aproximada de Michaud, que considera la proporción de la velocidad con T/t_c (válida para maniobras con variación lineal de velocidad).

$$h_a = \frac{2 \cdot L \cdot v}{g \cdot t_c} \quad (4.23)$$

4.3.23. Ecuaciones de flujo y pérdidas hidráulicas para el ariete multipulsor

En el ariete hidráulico multipulsor el gasto se distribuye entre las válvulas, si estas son idénticas $Q_1 = Q_2$. La altura de alimentación H_a encuentra en su recorrido una resistencia hidráulica que se divide en las dos partes es decir dos veces menor, lo cual favorece al caudal total $Q = Q_1 + Q_2$, el resultado de esta construcción es una máquina de mayor eficiencia ya que aprovecha mejor la carga de alimentación y el volumen de agua que fluye en el ariete es mayor [18].

$$\Sigma h_1 = \Sigma h_2 \quad (4.24)$$

$$\zeta_1 \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \zeta_2 \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \quad (4.25)$$

Despejando la velocidad media de la ecuación de caudal tenemos:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (4.26)$$

Sustituyendo en la ecuación 4.32, tenemos:

$$\zeta_1 \cdot \frac{Q_1^2}{2 \cdot g A^2} = \zeta_2 \cdot \frac{Q_2^2}{2 \cdot g A^2} \quad (4.27)$$

4.3.24. Cálculo del pulso de Joukowsky

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

$$\Delta p = \rho a v \quad (4.28)$$

4.3.25. Presión hidráulica sobre la válvula de derrame o impulso

Por la mecánica de fluidos C. Mataix. 1982 se sabe que 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:

$$F_d = C_d \left(\frac{\rho \cdot V_0^2}{2} \right) A_d \quad (4.29)$$

El factor C_d también varía según la carrera de las válvulas, 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 experimental [18].

$$C_d = \frac{0,282 - 8,854 \cdot s + 0,8 \cdot 10^{1,52 - 270 \cdot s}}{s} \quad (4.30)$$

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.

4.3.26. Cálculo de la sobrepresión

Debido a que en este caso el cierre es rápido, la sobrepresión máxima o pulso de Joukowsky se calcula con la ecuación:

$$\Delta H = \frac{av}{g} \quad (4.31)$$

4.3.27. Presión máxima y mínima de la instalación

La presión máxima generada por el golpe de ariete en las tuberías de circulación por gravedad esta expresada por la ecuación [18].

$$H_{max} = H_a + h_a \quad (4.32)$$

La presión mínima esta expresada por la ecuación.

$$H_{min} = H_a - h_s \quad (4.33)$$

La presión mínima que debe soportar la cámara de impulsión viene dada por la ecuación:

$$H_{min} = H_a - \Delta H \quad (4.34)$$

Para obtener el resultado en presión se multiplica por la densidad y la gravedad, siendo los resultados los siguientes:

$$P_{max} = \rho g H_{max} \quad (4.35)$$

De la misma manera la presión mínima:

$$P_{min} = \rho g H_{min} \quad (4.36)$$

4.4. Metodología de cálculo de diseño mecánico

4.4.1. Cálculo de resistencia al cortante de la válvula de impulsión

La determinación de las tensiones que se manifiestan en el caso de deformaciones por cizallamiento se calcula por el método de la sección. El área de corte de la válvula de impulsión se la realiza con la ecuación:

$$A_{cort} = \pi dh \quad (4.37)$$

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 τ ,

$$F = \tau \cdot A_{cort} \quad (4.38)$$

Las tensiones admisibles de cizallamiento se calculan con la ecuación:

$$\tau_{adm} = 0,6\tau_f \quad (4.39)$$

Se procede a calcular la tensión, con la ecuación:

$$\tau = \frac{F}{A_{cort}} \leq \tau_{adm} \quad (4.40)$$

4.4.2. Cálculo del número de perno

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

$$\sigma_{adm.trac} = 0,8 \frac{\sigma_f}{n} \quad (4.41)$$

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

Usov.

$$\frac{F}{n \cdot A_{per.}} \leq \sigma_{adm.trac} \quad (4.41)$$

Donde:

$$A_{per} = \frac{\pi d^2}{4} \quad (4.42)$$

4.4.3. Potencia útil del ariete

La potencia que se requiere para poder elevar el fluido hasta el tanque de descarga es proporcional a la tasa del flujo multiplicado por la altura de descarga y el peso específico del agua:

$$P_U = \gamma \cdot qb \cdot H_i \quad (4.43)$$

$$H_i = h_d + \sum h + h_i \quad (4.44)$$

4.4.4. Potencia recibida

La potencia recibida del agua de alimentación se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_b = (Q_p + qb) \cdot \gamma \cdot H_s \quad (4.45)$$

4.5. Metodología de análisis de rendimiento

4.5.1. Función de rendimiento

Por definición, el rendimiento está dado por la relación entre la potencia útil entregada en la descarga (N_U) y la potencia recibida (absorbida) del agua de alimentación (N_b) [23].

$$\eta = \frac{N_U}{N_b} 100 [\%] \quad (4.46)$$

El rendimiento de un ariete puede considerarse desde dos puntos de vistas: analizando el primer punto de vista obtenemos la llamada relación de rendimiento de D'Aubuisson.

Considerando solamente el cuerpo del ariete entonces la potencia entregada en la descarga será, [23]:

$$Nu = q * Hi * g * \rho ; [W] \quad (4.47)$$

Siendo:

$$Hi = hd + \sum h + hi \quad (4.48)$$

Para la cual:

$$Nb = (Q + q). Ha. g. \rho \quad (4.49)$$

finalmente,

$$\eta = \frac{q.Hi}{(Q+q).Ha} \cdot 100 \quad (4.50)$$

Desde otro punto de vista, se determina el **rendimiento de Rankine**. La misma toma como referencia el nivel, a considerando la instalación como un todo. Entonces [23]:

$$Nu = q. (Hi - Ha). g. \rho \quad (4.51)$$

$$Nb = Q. Ha. g. \rho \quad (4.52)$$

Entonces;

$$\eta_r = \frac{q.(Hi-Ha)}{Q.Ha} * 100 \quad (4.53)$$

4.5.2. Rendimiento volumétrico

El **rendimiento volumétrico** es la relación entre el caudal de alimentación (Q + q) y el de descarga (q) [23].

$$\eta_v = \frac{q}{Q+q} * 100 [\%] \quad (4.54)$$

Mediante el análisis de estos rendimientos, se puede determinar la cuantía de eficiencia del ariete, y comparar en qué medida se ha mejorado en el diseño, con relación a otro.

4.6. Software que se van a usar

4.6.1. Inventor Mechanical Design & 3D CAD Software

El software CAD Inventor® proporciona herramientas de simulación de productos, documentación y diseño mecánico 3D de nivel profesional [24].

Inventor se utiliza en diseño de ingeniería para producir y perfeccionar productos nuevos, mientras que en programas como Autocad se conducen solo las dimensiones. Un modelador paramétrico permite modelar la geometría, dimensión y material de manera que si se alteran las dimensiones, la geometría actualiza automáticamente basándose en las nuevas dimensiones. Esto permite que el diseñador almacene sus conocimientos de cálculo dentro del modelo, a

diferencia del modelado no paramétrico, que está más relacionado con un “tablero de bocetos digitales”. Inventor también tiene herramientas para la creación de piezas metálicas [25].

4.6.2. Ansys: Engineering Simulation & 3D Design Software

Fundada en 1970, Ansys emplea a más de 4.400 profesionales, muchos de los cuales son ingenieros expertos con nivel de maestría y doctorado en análisis de elementos finitos, dinámica de fluidos computacionales, electrónicos, semiconductores, software integrado y optimización de diseño. Como medida de nuestro éxito en la consecución de estos objetivos, Ansys ha sido reconocida como una de las empresas más innovadoras del mundo por prestigiosas publicaciones como Bloomberg Businessweek y las revistas FORTUNE [26].

ANSYS está dividido en tres herramientas principales llamados módulos: pre-procesador (creación de geometría y mallado), procesador y post-procesador. Tanto el pre-procesador como el post-procesador están provistos de una interfaz gráfica. Este procesador de elemento finito para la solución de problemas mecánicos incluye: análisis de estructuras dinámicas y estáticas (ambas para problemas lineales y no lineales), análisis de transferencia de calor y fluido dinámica, y también problemas de acústicas y de electromagnetismo [27].

5. ANÁLISIS Y RESULTADOS DEL DISEÑO HIDRÁULICO Y MECÁNICO DEL ARIETE HIDRÁULICO MULTIPULSOR

El cálculo de cada una de las partes del ariete hidráulico multipulsor de dos vías de carga horizontal tiene importancia debido a que permite determinar las condiciones de cada una de las piezas que lo conforman cumpliendo de manera eficaz la función que le corresponde.

A continuación, se muestra los resultados de los componentes usados para el diseño del ariete hidráulico y la simulación del funcionamiento de este.

5.1. Descripción de la parte hidráulica

En el cálculo de la parte hidráulica se tendrá en cuenta las dimensiones de los componentes de instalación, tipo de régimen, pérdidas por fricción, pérdidas locales, la presión producida por el golpe de ariete para determinar finalmente su eficiencia y rendimiento.

5.1.1. Cálculo del caudal

Para el caudal de suministro se toma como base $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$, del cual se halla un valor mínimo y máximo obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 5.7: Cálculo del caudal de suministro

Caudal (m^3/s)		
mínimo	normal	máximo
0,005	0,01	0,015
Q	0,01	m^3/s

5.1.2. Cálculo del diámetro de la tubería de suministro

Para calcular la longitud de la tubería mediante la ecuación 4.5, y Según Fox-Weinmann en sus investigaciones afirman que el ángulo de inclinación del conducto de impulsión debe estar entre 10° y 45° , si calculamos obtenemos:

Tabla 5.8: Dimensionamiento del tubo de suministro.

Dimensionamiento del tubo de suministro		
altura de suministro (m)	Longitud de impulsión (m)	Ángulo ($^\circ$)
2	12	9,594076331

Tabla 5.9: Diámetro de la tubería de suministro

Ds tubería suministro	pulg	m	mm	COMERCIAL APROXIMADA
	3,19685039	0,0812	81,2	

Se selecciona un tubo de acero que tiene una longitud de 12m, un diámetro de 81 mm y debe ser ubicado al momento de la instalación a un ángulo de 10° , ver resultados en la tabla 5.8 y 5.9.

5.1.3. Pérdidas por fricción en la tubería de impulsión

Para calcular la pérdida de fricción en la tubería aplicaremos una velocidad de 1.9m/s, siendo el diámetro de 81 mm, la longitud de 12m, determinamos las pérdidas por rozamiento, aplicando la ecuación 4.10 obtenemos:

Tabla 5.10: Cálculo de pérdidas de rozamiento

Cálculo de Pérdidas hidráulicas por fricción		
Pérdidas de rozamiento		
Datos		
Caudal (Q)	0,01	m ³ /s
tubería estirada (ϵ)	0,0000015	m
rugosidad absoluta (ϵ_r)	1,6281E-05	
Factor de fricción (λ)	0,016801923	s/u
Longitud de tubería (L)	12	m
Diámetro de tubería (D)	0,092131812	m
Gravedad	9,81	m/s ²
h_roz	0,250965567	m

Las pérdidas de rozamiento que se generan por el comportamiento del agua en las tuberías son de 0,25096m.

Tabla 5.11: Comprobación de régimen turbulento mediante Reynolds.

Comprobación de régimen turbulento mediante Reynolds		
Número de Reynolds	131186,7	adimensional

Al encontrarse el agua en constante movimiento dentro de las tuberías del ariete el valor de Reynolds es 131186,7 cumpliendo con $Re > 4000$, siendo su régimen turbulento.

5.1.4. Determinación de los coeficientes de resistencias locales.

Ahora determinaremos los coeficientes de resistencia (ζ).

Tabla 5.12: Pérdidas locales

Cálculo de pérdidas locales				
Cantidad	Descripción	ζ	h_loc (c/u)	h_loc
1	Filtro de succión	0,1	0,01978033	0,01978033
2	Codo de 10° a 30°	0,1	0,01978033	0,03956065
1	válvula check	2	0,39560652	0,39560652
1	Ensanchamiento brusco	0,1	0,01978033	0,01978033
1	unión te	0,2	0,03956065	0,03956065
2	válvula de impulsión	7,07	1,39846906	0,69923453
h_loc_T (m)				1,21352301

Las pérdidas locales son coeficientes de resistencia de los componentes individuales del sistema hidráulico del ariete, la resistencia generada en las válvulas de impulsión disminuye debido a su posición en paralelo, reduciendo las pérdidas locales totales a 1,12802m.

5.1.5. Cálculo del diámetro de tubería de descarga

Para calcular el diámetro de la tubería de descarga se usa la ecuación 4.4, obtenemos:

Tabla 5.13: Diámetro de tubería de descarga.

Dd tubería descarga	pulg	m	mm	COMERCIAL APROXIMADA
	0,8976378	0,0228	22,8	

El diámetro de tubería de descarga es de 22,8mm, este se calcula depende las condiciones de salida que se desea obtener, en nuestro caso es la ¼ parte de la tubería de suministro.

5.1.6. Cálculo de pérdidas de carga

Mediante la ecuación 4.24, obtenemos las siguientes pérdidas de carga:

Tabla 5.14: Cálculo de Pérdidas de carga.

Cálculo de Pérdidas de carga		
h_{iner}	0,31495565	m

La pérdida de carga de 0,3149m, es la pérdida que existe debido a la resistencia de la gravedad del flujo de agua en ascenso.

5.1.7. Cálculo de la altura desarrollada por el ariete

Reemplazando los datos y despejando H_a , obtenemos:

Tabla 5.15: Cálculo de la altura desarrollada por el ariete.

Cálculo de la altura desarrollada por el ariete		
H_i	18,22055577	m

Es la condición de altura de descarga a la cual se fabrica el ariete menos las pérdidas desarrolladas en la parte hidráulica. En nuestro diseño tiene una altura de 18,306m.

5.1.8. Cálculo del tiempo de duración de un periodo

Utilizando los valores estimados por J. A. Eyteelwein en donde el tiempo de aceleración es de aproximadamente 0.9s, el tiempo de bombeo es de 0.053s y el tiempo de retarde es de 0.047s, por lo que el tiempo de duración de un periodo es igual a:

$$T = 1s$$

5.1.9. Cálculo del tiempo de cierre de la válvula.

Se realiza a partir de la ecuación 4.26, obtenemos:

Tabla 5.16: Tiempo de cierre de la válvula.

Tiempo de cierre de la válvula.		
T	0,068343816	s

El tiempo de cierre de las válvulas representa el tiempo en que las válvulas de impulso cambian de posición en nuestro caso es de 0,068s, asumiendo que el periodo (T) es 1s.

5.1.10. Cálculo del pulso de Joukowsky

Para el cálculo de pulso de Joukowsky se obtienen los siguientes valores:

Tabla 5.17: Cálculo del pulso de Joukowsky.

Cálculo del pulso de Joukowsky		
Δp	928437,6271	Pa

El pulso de Joukowsky representa una presión máxima generada a partir de una configuración de tubería específica, para nuestro diseño con un valor de 928437,62Pa.

5.1.11. Cálculo de altura según presión máxima

Para determinar la altura según presión máxima, obtenemos:

Tabla 5.18: Cálculo de altura según presión máxima.

Cálculo de altura según presión máxima		
ΔH	64,71406835	m

Representa la altura generada por el ariete a partir de la presión de Joukowsky de 64m.

5.1.12. Cálculo de la altura máxima

Por medio de la ecuación 4.40, obtenemos:

Tabla 5.19 Cálculo de la altura máxima y mínima.

Cálculo de altura máxima		
H máx.	62,71	m

La altura máxima de 62,71m, es la altura generada por el ariete menos la que se utiliza para la impulsión.

5.2.Determinación de caudal bombeado vs caudal de entrada

A partir del caudal normal, máximo y mínimo se obtiene valores de caudales bombeados que se indican en la tabla 5.20, permitiendo obtener una línea de tendencia en función al caudal de entrada.

Tabla 5.20: Resultados del caudal empleado y caudal bombeado.

	mínimo	normal	máximo
Caudal de entrada (m ³ /s)	0,005	0,01	0,015
Caudal bombeado (m ³ /s)	0,000593305	0,0007383	0,001019386

Para un correcto análisis de resultados se muestra la figura 5.26.

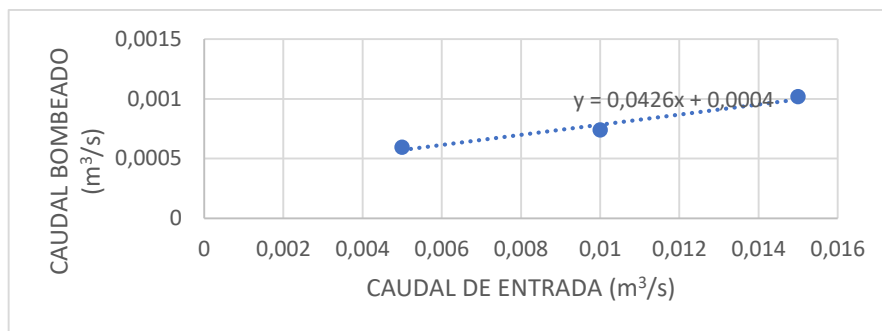


Figura 5.26: Caudal de entrada vs caudal bombeado

Según la tendencia observada en la figura 5.26, existe una relación inversa entre el flujo volumétrico y la altura de bombeo, este comportamiento se da por el incremento de las pérdidas hidráulicas y volumétricas que se originan en las válvulas y los demás componentes del ariete. Con el aumento de la altura de descarga se incrementa la resistencia de bombeo, lo que genera oposición al paso de agua. Se obtiene que el caudal de salida se rige a la ecuación 4.65:

$$Q_{salida} = 0,426Q_{entrada} + 0,04 \quad (4.55)$$

5.3. Análisis de rendimiento

En un ariete existe 3 tipos de rendimiento: rendimiento de D'Aubuisson, Ranquin y volumétrico los cuales representan el comportamiento del ariete ante diferentes parámetros de instalación hidráulica, que se puede observar los rendimientos ante diferentes caudales en la siguiente tabla 5.21.

Tabla 5.21: Resultados de rendimiento

Variables	Unidad	mínimo	normal	máximo
Caudal	(m3/s)	0,005	0,01	0,015
η_{λ}	%	98,49968314	67,57683267	61,8509336
η_R	%	95,63357865	60,19382899	55,05502971
η_V	%	11,86610449	7,38300368	6,795903892

Para un correcto análisis de resultados se muestra la figura 5.27.

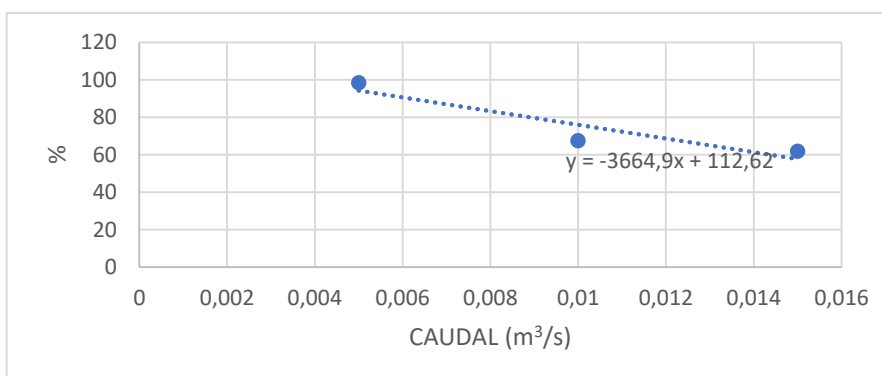


Figura 5.27: Relación del rendimiento hidráulico con el caudal.

Como se observa el rendimiento hidráulico del ariete aumenta con la variación del caudal de entrada, el rendimiento aumenta debido a la variación de altura considerando que a un menor diámetro de tubería la altura se vuelve representativa, entre más distancia recorre el agua más velocidad adquiere el fluido por ende genera una mayor impulsión.

La ecuación que representa dicho comportamiento es la siguiente:

$$\eta = -3664,9Q_{entrada} + 112,6 \quad (4.56)$$

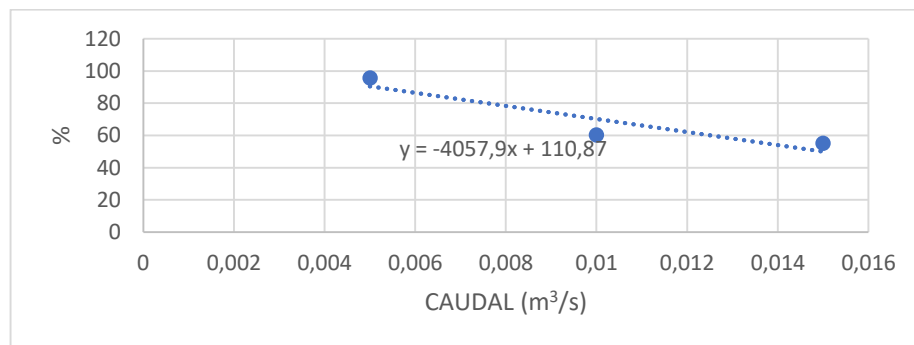


Figura 5.28: Relación del rendimiento Rankine con el caudal.

Según se indica en la figura 5.28, el rendimiento de Rankine muestra una tendencia a aumentar con la disminución de caudal de salida teniendo que con un caudal máximo de 0,015 m³/s tenemos una eficiencia de 55,05% esto se debe a la relación entre la energía cinética del fluido y la potencial para la cual a partir de una altura de carga determinada disminuye el flujo de pérdida.

Cuyo comportamiento se representa en la siguiente fórmula:

$$\eta_r = -4057,9Q_{entrada} + 110,87 \quad (4.57)$$

El rendimiento volumétrico que es la relación entre el caudal de descarga o salida (q) y el caudal de alimentación o entrada (Q + q), da como resultado en qué medida se encuentra la relación de flujo de pérdidas. En la figura 5.29 se muestra la tendencia de la relación del rendimiento volumétrico con el caudal de salida.

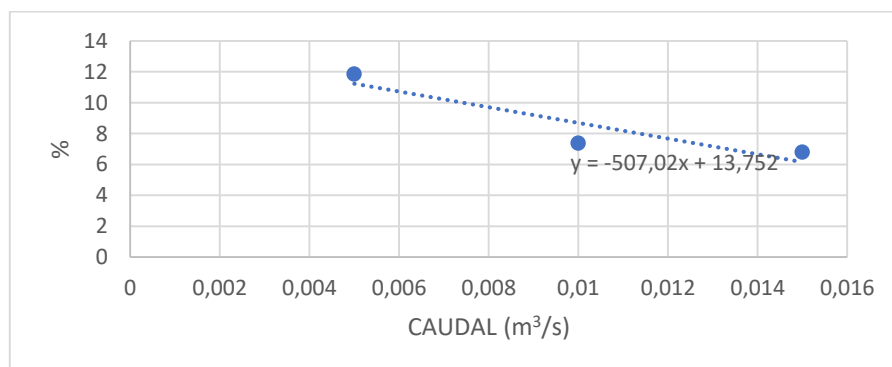


Figura 5.29 Relación del rendimiento volumétrico con el caudal.

Como se observa en la figura el rendimiento volumétrico disminuye con el aumento de caudal de salida en forma lineal descendiente. Del análisis de los rendimientos se deduce que las mejores condiciones de trabajo del ariete se obtienen para el valor de caudal de salida de $0,005\text{m}^3/\text{s}$, teniendo aquí los valores más altos de rendimiento.

Cuyo comportamiento se representa en la siguiente ecuación:

$$\eta_v = -507.02Q_{\text{entrada}} + 13.75 \quad (4.58)$$

5.4. Análisis de la simulación del ariete hidráulico.

Los resultados obtenidos en las simulaciones representan el comportamiento estructural y del flujo.

5.4.1. Análisis de flujo del ariete

En el análisis de flujo del ariete se determina el volumen finito considerando dos estados de funcionamiento característico del ariete, es decir cuando las válvulas se encuentran abiertas y cerradas.

5.4.1.1. Análisis de flujo cuando las válvulas de impulsión están abiertas

En la figura 5.30 se observa que las válvulas de impulsión están abiertas 30 mm, permitiendo que la dirección del flujo llegue directamente a las válvulas de impulsión evitando entrar a la cámara de aire al no tener la suficiente presión para vencer la resistencia de la válvula check.

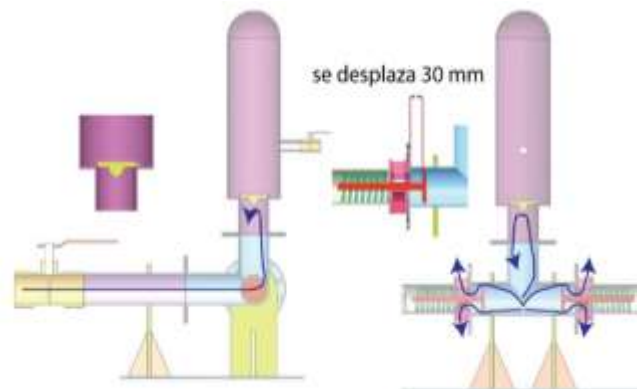


Figura 5.30: Dirección del flujo cuando las válvulas de impulsión están abiertas.

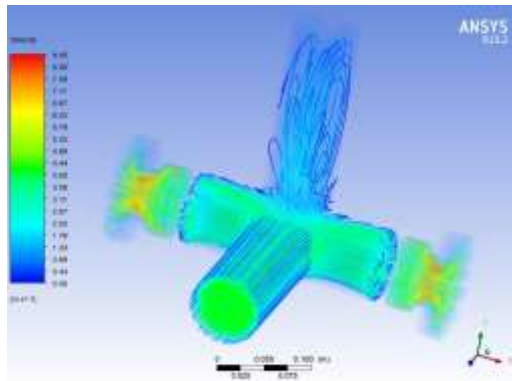


Figura 5.31: Resultados en función a la velocidad cuando las válvulas están abiertas.

Podemos observar que a la entrada del ariete el flujo llega a una velocidad aproximada de 4m/s, cuando se dispersa en la intersección se aprecia una reducción de velocidad aproximadamente de 2.67m/s en dirección a las válvulas de impulsión, 0.89m/s en dirección a la cámara de aire y finalmente en las válvulas de impulsión se incrementa 7.11m/s debido a que existe perdidas de carga en las válvulas por la restricción de espacio de salida aumentando la velocidad para mantener el caudal.

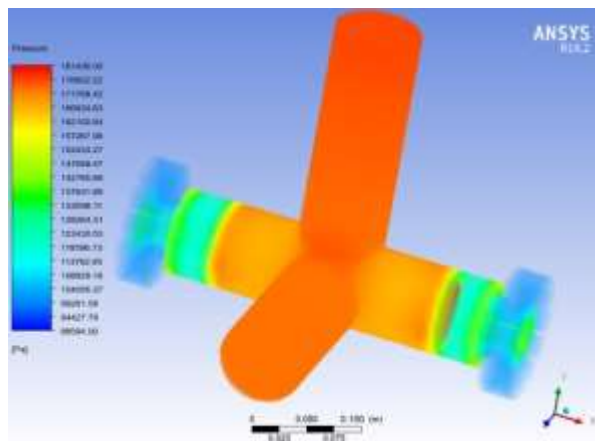


Figura 5.32: Comportamiento de presión en el ariete cuando las válvulas están abiertas.

Se observa que en la entrada del ariete la presión es de 181.4KPa que permanece constante hasta la intersección y en dirección a la cámara de aire; sin embargo cuando se dirige a las válvulas de impulsión representa una presión de 170KPa disminuyendo 123.4KPa a la entrada de las válvulas de impulsión, finalmente a la salida de las válvulas se observa una presión aproximada de 100KPa debido a que cuando aumenta la velocidad disminuye la presión , concluyendo que existe un alivio en las tuberías cuando la válvula de impulsión se encuentra en estado abierto.

5.4.1.2. Análisis de flujo cuando las válvulas de impulsión están cerradas

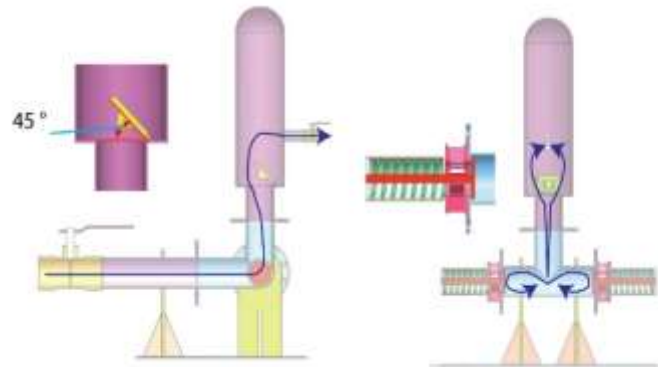


Figura 5.33: Comportamiento del flujo válvulas cerrada.

En la figura 5.33 se observa que las válvulas de impulsión están cerradas permitiendo que el flujo rompa la inercia de la válvula check llenando la cámara de aire para posteriormente dirigirse a la tubería de descarga.

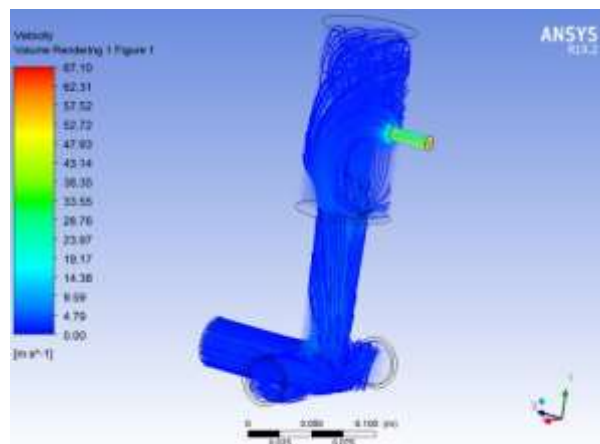


Figura 5.34: Comportamiento de la velocidad válvulas cerradas.

Se observa que a la entrada del ariete el flujo se encuentra a una velocidad aproximada de 4.79m/s, cuando se dispersa en la intersección se aprecia un leve aumento de velocidad aproximadamente de 9m/s en dirección a la cámara de aire permaneciendo constante hasta llenar la cámara, a la salida se aprecia una variación de velocidades de entre 19.17m/s hasta 52.72m/s debido a la reducción del diámetro de la tubería de descarga, su velocidad se incrementa para mantener el caudal.

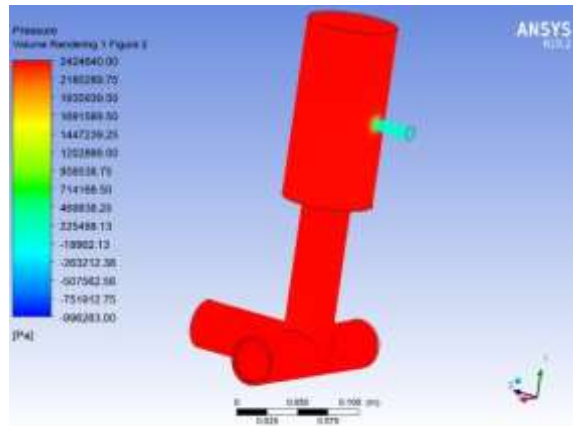


Figura 5.35: Comportamiento de presiones en el ariete válvulas cerradas.

Se observa que en la entrada del ariete la presión es de 2.4MPa que permanece constante en la intersección y en la cámara de aire apreciando una disminución de presión a la tubería de descarga a 0.46MPa debido a la reducción del diámetro y aumento de velocidad; concluyendo que la bomba de ariete puede alcanzar 46.9mca.

Tomando en cuenta que 2MPa es la presión máxima existente en el sistema de ariete determinamos el número de pernos y el tamaño de la brida utilizando la norma ASME B16.5 (ver Anexo VI), entonces transformando la presión a lb/pulg^2 tenemos 360lb/pulg^2 es decir ubicándonos en la clase 600lb junto con el diámetro de la tubería observamos que son 8 pernos con un diámetro de $3/4\text{pulg}$ por brida, y cada brida con un diámetro de $8\frac{1}{4}\text{pulg}$ en nuestro sistema.

5.4.2. Análisis estructural

A partir de los resultados de simulación de presiones hallados en el cuerpo de ariete cuando las válvulas de impulso se encuentran cerradas determinamos la resistencia de materiales y el factor de seguridad de la estructura.

5.4.2.1. Resistencia de materiales

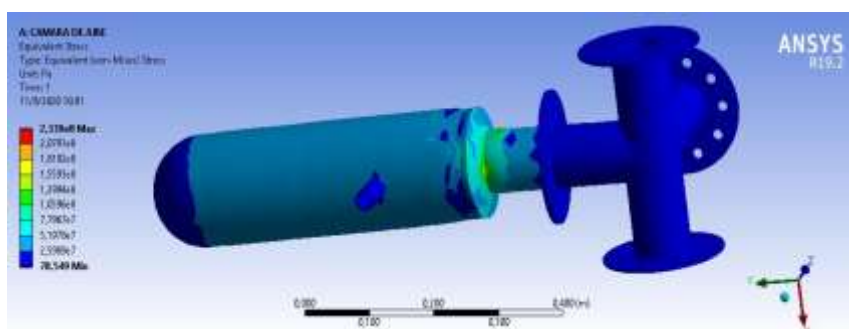


Figura 5.36: Resistencia de materiales en el ariete.

En la figura 5.36 se observa que en la base del ariete hay un déficit de esfuerzo ya que se encuentra a 0.078MPa existiendo un cambio al inicio del cuello de la cámara donde se observa una presión de 60MPa que permanece constante en la mayor parte de la cámara sin embargo existen zonas muy pequeñas que llegan a 160MPa despreciando debido al tamaño del punto crítico.

5.4.2.2. Factor de seguridad

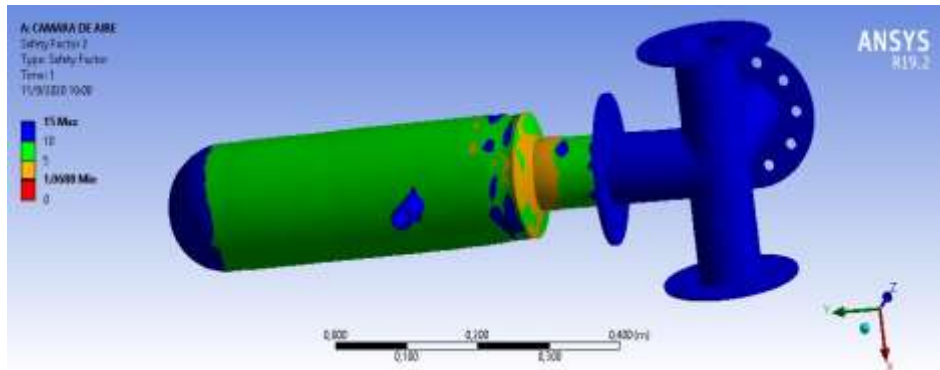


Figura 5.37: Factor de seguridad del ariete.

En la figura 5.37 se observa un factor de seguridad de 15 en la base del ariete que representa una excelente condición de diseño soportando las características a las que se expone el cuerpo del ariete, sin embargo, también puede representar un sobredimensionamiento también se aprecia que la cámara de aire tiene un factor de seguridad de 1,068 en el cuello de su estructura siendo la parte crítica de esfuerzo, y el resto de la cámara con un factor de seguridad de 5 a 10 siendo un valor aceptable debido a que se encuentra en un 90% del cuerpo de la cámara.

6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

6.1. Presupuesto para la elaboración del proyecto

En la tabla se puede observar una cotización de presupuesto que nos hemos planteado para ejecutar el presente proyecto para una futura instalación, sin embargo, cabe destacar que a medida que el proyecto siga avanzando es posible que el valor aumente.

Descripción	Valor Unitario	Cantidad	Valor USD
Tubo galvanizado de 3" 3 metros	11.00	4	44.00
Tubo galvanizado ¾" 3 metros	3.65	7	25,55
Codo HG DE ¾" x 45° UL/FM	2.42	2	4.84
Codo HN CL-150 DE 3" x 45° UL/FM	45.69	2	91.38
Válvula de bola HG 3"	70.00	1	70.00
Válvula de bola HG ¾"	37.00	1	37.00
Perno Hex MM Inox 18-8 M14 x 2.00	0.15	40	6.00
Tuerca Hex MM Inox 18-8 M14 x 2.00	0.15	40	6.00
Rodela plana Inox 18-8 9/16	0.05	40	2.00
Válvula check	330	1	330.00
Total			616.77
Costos mano de obra directa de mecanizado			
Máquina	Valor hora	Tiempo horas	Valor USD
Taladro	4.60	4	18.40
Torno	7.40	4	29.60
Suelda eléctrica	3.60	2	7.20
Compresor	3.60	2	7.20
Total			62.40
Materia Prima			
Electrodos	22.00	1kg	22.00
Lámina de acero 1.20mX6m	400.00	1	400.00
Total			422.00
Costo de instalación y mano de obra			
Mano de obra	100	2	200.00
Total			200.00
Total, ariete hidráulico			1301.17

6.2. Análisis de impacto

Se analizó los impactos ambientales, económicos, tecnológicos y prácticos.

6.2.1. Impacto económico

La implementación de un ariete hidráulico multipulsor de dos vías de carga horizontal contribuye al ahorro de 832.2\$/año en consumo de energía eléctrica o combustibles fósiles, además de no necesitar mantenimiento contribuye a un ahorro de 100\$/año, beneficio que ayuda a todo aquel que necesite la elevación de agua mediante una bomba, sobre todo en sectores rurales donde no se posee completamente el uso de energía eléctrica o no tiene las posibilidades económicas para adquirir los combustibles fósiles continuamente. La bomba de ariete hidráulico permite mejorar la disponibilidad de agua para uso doméstico o el riego de cultivos en épocas lluviosas o en verano.

El costo de inversión del ariete es de 1301.17\$ siendo este devengado por la vida útil del ariete ya que no necesita ningún otro gasto.

6.2.1.1. Análisis de VAN y TIR

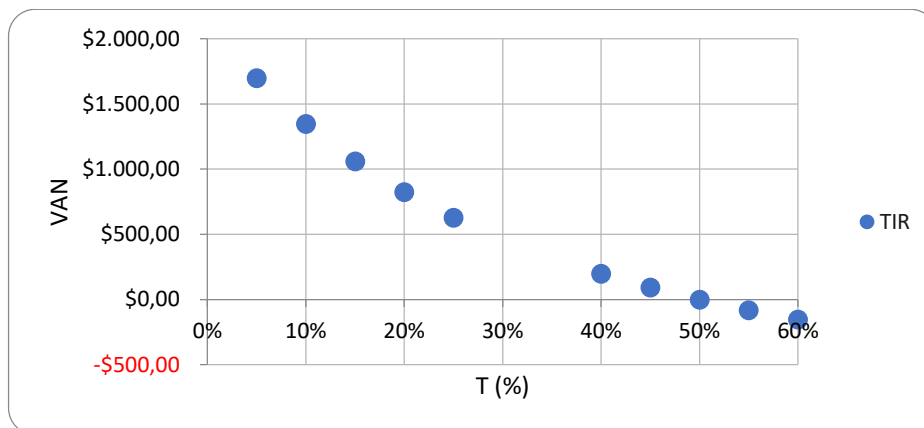


Figura 5.1: Análisis de VAN y TIR del ariete.

Mediante el análisis de VAN y TIR durante 6 años de vida útil teniendo como resultado de VAN=\$1.346,36 y TIR=50% siendo un valor positivo que nos indica la rentabilidad de nuestro proyecto.

6.2.2. Impacto ambiental

Los impactos ambientales que proporciona un ariete hidráulico son mínimos ya que no es necesario la energía eléctrica ni combustibles fósiles, la mayoría son instalados en sectores rurales y su funcionamiento es en el campo por lo que se utiliza el agua en movimiento de un río o laguna y las pérdidas que generan las válvulas regresan a la tierra evitando algún tipo de contaminación.

Por lo expuesto se considera a la bomba de ariete hidráulico un equipo indispensable para una aplicación doméstica, en zonas rurales donde no exista disponibilidad de energía eléctrica [28].

6.2.3. Impacto social

El ariete hidráulico multipulsor de dos vías de carga horizontal ayuda a facilitar la vida de muchas personas de manera económica a quienes no tengan acceso a un método de obtención de suministro de agua.

6.2.4. Impacto tecnológico

Sus piezas son de fácil adquisición y reemplazo permitiendo que no se realice un mantenimiento continuo ya que funciona automáticamente ante un suministro de agua y sobre todo la vida útil de la mayoría de las piezas sin realizar ningún mantenimiento son de hasta 10 años, usándolas 24 horas al día durante los 7 días de la semana en un año, pudiendo fácilmente reemplazar por otras en las mismas condiciones para su funcionamiento.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- La configuración de las válvulas de carga en forma horizontal optimiza el sistema de ariete debido a que cada una de las válvulas de impulso genera 1,34m de pérdida, sin embargo, al ubicarse en paralelo la resistencia conjunta es de 0,67m, a la vez disminuye las vibraciones generadas por el golpe de ariete debido a que las ondas elásticas producidas por las válvulas chocan entre sí, provocando un efecto de equilibrio.
- El rendimiento de Rankine y D'Aubuisson de un ariete de dos vías de carga horizontal incrementa debido a que son directamente proporcional a la altura desarrollada por el ariete y ésta a las pérdidas locales existentes, es decir cuando las válvulas se encuentran en serie generan 2,68m de pérdidas restado de los 20m de diseño del ariete dando como valor 17,31m de elevación de ariete a diferencia de cuando se encuentran en paralelo generan 0,67m de pérdidas locales generando una elevación de ariete 19,32m.
- En la simulación de presiones del ariete se identifica una presión máxima de 2.4MPa cuando se encuentran cerradas las válvulas de impulsión, valor que ayuda a obtener los puntos críticos de esfuerzo que se encuentra en el cuello de la cámara a 160MPa y un factor de seguridad mínimo de 1.07 con un máximo de 15, la mayor parte del cuerpo de la cámara tiene un factor de seguridad de 5 determinando que los valores de diseño se encuentran en un estado aceptable para la construcción y un correcto funcionamiento, sin embargo se debe hacer énfasis de mejoras en la parte crítica.
- El impacto que genera nuestro proyecto es viable y rentable en un 50% económicamente debido a la larga vida útil de sus componentes, generando un mínimo impacto ambiental debido al uso de energía renovable evitando algún tipo de contaminación, facilitando la vida de muchas personas.

7.2. Recomendaciones

- Proponer la tecnología de fabricación del ariete para obtener datos medibles de vibraciones comprobando la teoría.
- Dar continuidad a la fabricación del ariete hidráulico multipulsor de dos vías de carga horizontal usando el dimensionamiento realizado en esta propuesta para validar los resultados teóricos y simulados.
- Tener en cuenta para la construcción del ariete hidráulico que las válvulas de impulso y la tubería de alimentación sean de materiales rígidos para evitar pérdidas de las magnitudes del golpe de ariete.
- Emplear el ariete hidráulico fabricado para el desarrollo del sector económico del país con el fin de dar una mayor explotación.

8. REFERENCIAS

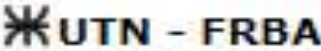
- [1] UNESCO, «Nomenclatura internacional de UNESCO para los campos de Ciencia y Tecnología,» Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España, 1988.
- [2] E. R. F. G. Chacón, «Estudio de factores hidráulicos en una bomba de ariete y su efecto sobre la eficiencia,» Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica., Ambato, 2013.
- [3] M. I. A. Chauvin, «Diseño y construcción de un ariete multipulsor,» Universidad Nacional de Loja; Area de energías, Industrias y recursos naturales, Loja, 2006.
- [4] R. L. R. De la Cruz Colorzano Brandonlee becquer, «Ariete hidráulico,» Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión ,Facultad de Ingeniería Química y Metalurgica, Huacho – Perú, 2016.
- [5] D. Browne, desig, sizing, construction and maintenace of gravity-fed system in rural areas, hermann, paris: warwick University, mdg publishing, warwickshire, 2005.
- [6] J. M. R. Guerrero, «El ariete hidráulico. proyecto e instalación en Ntongui (Angola),» Universidad Politecnica de Madrid , Madrid, 2014.
- [7] C. y. D. Guaman, «Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico,» 2011.
- [8] S. Rivadeneira y L. Silva, «Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico con el desarrollo de un software para su dimensionamiento,» Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Quito, 2013.
- [9] S. N. Mohammed, «Design and Construction of a Hydraulic Ram Pump,» Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies ISSN 1583-1078 , Minna, Nigeria , 2007.
- [10] V. F. J. Reyes, «Càlculo, diseño y construcción de un prototipo de ariete hidráulico,» Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Xalapa, Veracruz, 2011.
- [11] J. E. E. Sanmartín, «Diseño paramétrico de arietes hidráulicos.,» Universidad tecnológica Equinoccial Sede Santo Domingo, Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador , 2016.
- [12] L. F. S. E. Santiago Xavier Rivadeneira Carlosama, «Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico con el desarrollo de un software para su dimensionamiento,» Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Facultad de Ingenierías, carrera de Ingeniería Mecánica, Quito, 2013.
- [13] D. V. Maria Espinosa, «Diseño y planificación de un sistema hidráulico para el abastecimiento de agua en el barrio San Miguel a 3200 msn.,» Escuela Politecnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, 2011.

- [14] I. Leopoldo Ortega Corrales., «Selección e instalación del ariete hidráulico.,» Inia Remehue, Osorno, 1995.
- [15] J. M. Jiménez, «El Ariete Hidráulico,» Fundación Tierra.
- [16] A. C. Lizana, «Diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico,» Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, programa académico de ingeniería civil , Piura, 2018.
- [17] H. Medina Guzmán, Mecánica de fluidos, Peru: Universidad Católica del Perú, 2009.
- [18] M. C. Pinto Guillín, Diseño y construcción de un ariete multipulsor con válvulas en disposición circular para el laboratorio de hidráulica de la carrera de ingeniería en electromecánica de la Universidad Nacional de Loja, Loja: Universidad Nacional de Loja, 2015.
- [19] A. Merkel, «Climate-Data.org,» AM Online Projects, 2012. [En línea]. Available: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-cotopaxi/latacunga-2966/>. [Último acceso: 09 10 2020].
- [20] L.-C. Alexander, «Diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico.,» Universidad de Piura, Piura, Perú, 2018.
- [21] C. D. Wikipedia, «Bomba de ariete,» Wikipedia, La enciclopedia libre., 8 07 2019. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Bomba_de_ariete&oldid=117258732. [Último acceso: 9 08 2020].
- [22] A. F. Urquía, «Evaluación de los parámetros de operación de un ariete,» Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Moa, 2015.
- [23] E. T. T. F. S. C. Héctor Luis Laurencio Alfonso, «Parámetros de Operación de Ariete Hidráulico Monopulsor con válvulas de retención,» Revista Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Latacunga, 2017.
- [24] AUTODESK, «Software Cad Inventor,» Autodesk, EEUU, 1999.
- [25] C. D. Wikipedia, «Autodesk Inventor,» 1 07 2020. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Autodesk_Inventor&oldid=127394944. [Último acceso: 18 08 2020].
- [26] I. ANSYS, «Ansys,» Inc., 1970. [En línea]. Available: <https://www.ansys.com/about-ansys>. [Último acceso: 18 08 2020].
- [27] C. D. Wikipedia, «ANSYS,» 11 10 2019. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=ANSYS&oldid=120194369>. [Último acceso: 18 08 2020].
- [28] E. Guillarte, «Caracterización de un ariete hidráulico multipulsor,» Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, 2017.

- [29] P. Zuñiga, «Hidráulica General y Aplicada,» UTN-FRBA, 2010.
- [30] L. M. Rodríguez, «Mecánica De Los Fluidos,» UNAPEC, 2010.
- [31] N. Pashkov, «Hidráulica y máquinas hidráulicas,» Mir, Rusia-Moscú, 1985.
- [32] J. y. D. J. A. Pajón, « Teoría básica para el diseño y cálculo de tuberías, elementos de máquinas y recipientes a presión. Lección y apuntes de teoría básica para el diseño y cálculo de tuberías, elementos de máquinas y recipientes a presión.,» Universidad de Huelva, Huelva, 2000.
- [33] Plastigama, «Tuberías y accesorios de PVC y PE BD, Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1373,» Ecuador.
- [34] ASME, «Tablas de Referencia de Pernos para Bridas según ASME B16.5,» ASME, 2015.

ANEXOS

Anexo I: Tabla de Propiedades físicas del agua y aire.

 UTN - FRBA Hidráulica Gral. y Aplicada Curso 2010	Gráficos y Tablas	Pág. 1 de 6
---	--------------------------	--------------------

PREFIJOS Tabla 1			
Prejia	Símbol	Factor	Término
Yeni	0	10 ⁰	23 22201
deka	D	10 ¹	mil millones
mega	M	10 ²	un millón
kilo	k	10 ³	mil
hecto	h	10 ⁴	cient
deca	da	10	diez
deci	d	10 ⁻¹	Los décimos
centi	c	10 ⁻²	Los centésimos
milí	m	10 ⁻³	Los milésimos
micro	μ	10 ⁻⁶	Los micrómetros
nano	n	10 ⁻⁹	Los nanosegundos
pico	p	10 ⁻¹²	Los picosegundos

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA Tabla 4						
Temperatura	Densidad	Viscosidad dinámica	Viscosidad cinemática	Presión de vapor		
°C	kg/m ³	kg/m ² s	m ² /s	Pa		
0	999.8	1.792	1.784	200	7.38	288
1	999.9	1.732	1.733			
2	1000.0	1.675	1.674			
3	1000.0	1.619	1.619			
4	1000.1	1.566	1.566			
5	1000.1	1.514	1.514	206	7.54	303
6	1000.0	1.475	1.473			
7	999.9	1.438	1.434			
8	999.8	1.387	1.387			
9	999.6	1.340	1.340			
10	999.3	1.315	1.315	210	7.48	317C
11	998.9	1.279	1.279			
12	998.5	1.250	1.250			
13	998.0	1.200	1.207			
14	997.5	1.176	1.176			
15	997.0	1.152	1.152	214	7.41	330C
16	996.5	1.129	1.117			
17	996.0	1.080	1.080			
18	995.5	1.065	1.061			
19	995.0	1.034	1.034			
20	994.3	1.000	1.011	220	7.36	344C
21	993.5	0.984	0.980			
22	992.6	0.961	0.963			
23	991.6	0.936	0.941	226	7.26	
24	990.5	0.916	0.918			
25	989.3	0.895	0.898	230		
26	988.0	0.875	0.878			
27	986.6	0.855	0.858			
28	985.1	0.835	0.839			
29	983.5	0.816	0.821			
30	982.7	0.800	0.803	233	7.18	420C
35	979.1	0.755	0.757	239	7.10	
40	975.3	0.696	0.697	247	7.01	7.49C
45	970.3	0.599	0.603	256	6.93	
50	965.1	0.540	0.550	266	6.83	12.01C
55	959.7	0.500	0.513	276	6.74	
60	954.3	0.459	0.477	286	6.66	16.06C
65	948.6	0.409	0.425	296	6.58	
70	942.8	0.406	0.415	306	6.50	20.70C
75	937.0	0.380	0.380	316	6.43	
80	931.0	0.337	0.347	326	6.36	24.76C
85	925.0	0.330	0.347	337	6.30	
90	918.8	0.317	0.338	346	6.23	28.96C
95	912.5	0.299	0.311	356	6.17	
100	906.1	0.284	0.296	367	6.14	37.05C

PROPIEDADES FÍSICAS APROXIMADAS DE LÍQUIDOS COMUNES, a 20°C y presión atmosférica estándar Tabla 3				
líquido	Densidad relativa	Viscosidad absoluta	Presión de vapor	Temperatura de ebullición
	ρ	μ	p _v	T _{eb}
		kg/m ² s	Pa	°C
Agua	1	0.01	2.34	100.0
Alcohol etílico	0.79	1.21	5.95	78.3
Alcohol metílico	0.79	1.00	10.00	64.5
Gasolina	0.68	0.06	0.00	37.0
Mercurio	13.6	1.55	15.15	356.7
Óleo	0.87	0.10	0.00	300.0
Óleo motor	0.87	0.10	0.00	300.0

Figura I.1: Tabla de Propiedades físicas del agua y aire.

Fuente: [29]

Anexo II: Coeficientes de pérdida para componentes de tubería.

Coeficientes de pérdida para componentes de tubería $(h_L = K_L \frac{V^2}{2g})$

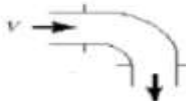
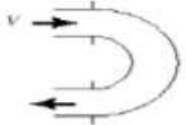

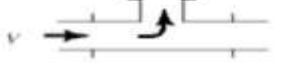
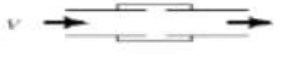
Component	K_L	
a. TUBOS ACODADOS		
Regular de 90°, embridado	0.3	
Regular de 90°, roscado	1.5	
De 90° con gran radio, embridado	0.2	
De 90° con gran radio, roscado	0.7	
De 45° con gran radio, embridado	0.2	
Regular de 45°, roscado	0.4	
b. CODOS DE 180°		
Codo de 180°, embridado	0.2	
Codo de 180°, roscado	1.5	
c. CONEXIONES EN T		
Flujo de línea, embridado	0.2	
Flujo de línea, roscado	0.9	
Flujo derivado, embridado	1.0	
Flujo derivado, roscado	2.0	
d. UNION ROSCADA		
	0.08	
e. VALVULAS		
De globo, completamente abierta	18	
De ángulo, completamente abierta	2	
De compuerta, completamente abierta	0.15	
De compuerta, 1/4 cerrada	0.26	
De compuerta, 1/2 cerrada	2.1	
De compuerta, 3/4 cerrada	17	
De retención a bisagra, flujo hacia adelante	2	
De retención a bisagra, flujo hacia atrás	infinito	
De bola, completamente abierta	0.05	
De bola, 1/3 cerrada	5.5	
De bola, 2/3 cerrada	2.15	

Figura II.1: Coeficientes de pérdida.

Fuente: [30]

Anexo III: Coeficientes de resistencias locales.

Coeficientes de resistencias locales según P. G. Kiseliiov.

Entrada en el tubo para bordes agudos.....	$\zeta = 0,50.$
Entrada suave en el tubo.....	$\zeta = 0.50-0,20.$
Ensanchamiento repentino.....	$\zeta = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 .$
Estrechamiento repentino.....	$\zeta = 0.5\left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) .$
Cono de transición (para $d_2 = 2d_1$).....	$\zeta = 5,0.$
Cono de transición (para $d_2 \approx 0,5d_1$).....	$\zeta = 0,20.$
Giro brusco a 90°	$\zeta = 1,20.$
Giro suave a 90°	$\zeta = 0.15.$
Salida del tubo por debajo del nivel.....	$\zeta = 1,0.$
Válvula de disco totalmente abierta.....	$\zeta = 0,10.$
Válvula de compuerta totalmente abierta.....	$\zeta = 0,11-0,12.$
Diferentes robinetes totalmente abiertos.....	$\zeta = 5.$
Válvulas de sujeción con bombas provistas de mallas.....	$\zeta = 10.$
Entrada suave en el canal.....	$\zeta = 0,10.$
Entrada en el canal con bordes de entrada agudos (con presión lateral).....	$\zeta = 0,40$
Estrechamiento suave del canal.....	$\zeta = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$
Estrechamiento suave del canal ($A_2 < A_1$).....	$\zeta = 0,10.$

Figura III.1: Coeficientes de resistencias.

Fuente: [31]

Anexo IV: Normas técnicas para el cálculo y diseño de recipientes a presión.

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA	Instrucción Técnica Complementaria sobre Botellas y Botellones de Gases Comprimidos, Licuados y Disueltos a Presión. (O. 1-9-1982. BOE 12-11-1982) (O. 11-7-1983. BOE 22-7-1983) (O. 28-3-1985. BOE 10-4-1985) (O. 13-8-1985. BOE 23-8-1985) (O. 3-7-1987. BOE 16-7-1987)	ITC MIE AP7
--	--	----------------------------

NORMA I

Cálculo, construcción y recepción de botellas de acero sin soldadura para gases comprimidos, licuados y disueltos a presión.

1. OBJETO

Esta norma tiene por objeto establecer las condiciones técnicas relativas al material, cálculo, construcción y recepción de botellas de acero sin soldadura, destinadas a contener y transportar gases comprimidos, licuados y disueltos a presión.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma se aplica exclusivamente a botellas de acero sin soldadura, de capacidad inferior a 150 litros y destinadas a contener y transportar, a temperatura ambiente, gases comprimidos, licuados y disueltos a presión.

3. DEFINICIONES

Límite elástico: Se considera que el límite elástico corresponde al límite elástico superior, R_{eH} . Sin embargo para los aceros que así presenten un límite elástico marcado, será preciso utilizar el límite elástico convencional R_{eL} , correspondiente a una deformación no proporcional del 0,2 por 100. Una vez de esta magnitud se entenderá referido de acuerdo con la norma UNE-F302. «Ensayo de tracción para productos de acero».

Normalizado: El término normalizado se aplica al tratamiento térmico por el que la botella acabada se somete a una temperatura uniforme por encima del punto crítico superior al acero (Ac3), seguida de un enfriamiento en aire en reposo.

4. SÍMBOLOS

- e = Espesor mínimo calculado de la envolvente cilíndrica (milímetros).
- A = Alargamiento en hueco por ciento.
- D = Diámetro nominal exterior de las botellas (mm).
- L = Longitud inicial calculada en la prueba de ensayo a tracción (mm).
- P_e = Relación entre el diámetro del mundo de pliegado y el espesor de la prueba.
- $P_{0.2}$ = Puntos de la prueba hidrostática en kg/cm² efectivos.
- R_{eH} = Valor superior del límite elástico (R_{eH} o R_p 0,2), según lo indicado en el párrafo 3, en kg/cm², garantizado por el fabricante de la botella.
- R_m = Valor real de la resistencia a la tracción en kg/cm² determinada por el ensayo a tracción según el apartado 8.2.
- S_0 = Área de la sección original de la prueba de ensayo a tracción, en mm² (UNE 7.202. «Ensayo de tracción para productos de acero»).
- T = Marca para las botellas templadas en aceites que poseen una viscosidad de enfriamiento superior al 80 por 100 de la del agua sin aditivos, a 20° C y resacaada posteriormente.

5. MATERIALES

5.1. Condiciones generales.
El material utilizado para la fabricación de las botellas debe ser acero laminado, laminado en horno eléctrico, Martín-Saunders o otro procedimiento similar.
El fabricante establecerá marcas adecuadas para identificar las botellas con los ensayos de acero de las que se hicieron.

5.2. Composición química.
Las botellas de acero sin soldadura se fabricarán preferentemente:
— En acero al C-Mn o otros aceros alúmen, para aquellas botellas cuya presión de prueba P_e sea mayor de 100 kg/cm².
— En acero al C y C-Mn, para aquellas botellas cuya presión de prueba P_e sea igual o menor de 100 kg/cm².

El material utilizado para la fabricación de las botellas de acero sin soldadura no deberá exceder, en el análisis de ensayo, los límites que para el azufre y el fósforo se señalan a continuación:
Azufre 0,05 por 100.
Fósforo 0,05 por 100.

El fabricante de las botellas deberá obtener y suministrar certificados de los análisis de ensayo realizados en los aceros destinados a la fabricación de las botellas. La asociación mínima admisible de los análisis de comprobación a partir de los límites especificados para el azufre y fósforo en los análisis de ensayo será = 0,005 por 100.

5.3. Tratamiento térmico.
El fabricante de las botellas certificará que éstas han experimentado un tratamiento térmico, y deberá indicar en el certificado el proceso de tratamiento térmico aplicado.

Se entenderá el tiempo en ensayo térmico del acero siempre que el fabricante preste que el método no produce grietas de tratamiento que puedan afectar a la seguridad de la botella.

Si el grado de enfriamiento del mundo es superior al 80 por 100 del agua a 20° C sin aditivos, cada botella debe ser sometida a un método de ensayo no destructivo.

Después del tratamiento térmico final el fabricante realizará un ensayo de choque en toda o cada una de las botellas.

La gama de volúmenes de dilatación así determinados estará dentro de los límites prefijados, de acuerdo con el tipo de acero y de tratamiento térmico.

6. DISEÑO

6.1. Condiciones generales.

El cálculo del espesor de las partes sometidas a presión en las botellas se realizará en función del límite elástico del material.

Con fines de cálculo, el valor del límite elástico se limitará a un máximo de: 0,75 R_{eH} para las botellas que sean normalizadas.
0,90 R_{eH} para las botellas que sean templadas y resacadas.

La presión interna para la cual se deben calcular las botellas será la presión de prueba hidrostática (P_e).

6.2. Cálculo de la envolvente cilíndrica.

El espesor mínimo de la envolvente cilíndrica se calculará mediante la fórmula:

$$e = \frac{P_e \times D}{30 R_e + P_e}$$

El espesor de la envolvente cilíndrica sólo podrá ser inferior a 2,5 mm cuando el valor de e , calculado según la fórmula anterior sea superior a 0,3% \sqrt{D} .

En cualquier caso el espesor no será inferior a 1,5 mm para botellas de capacidad igual o superior a diez litros, ni inferior a 1 mm para botellas de capacidad inferior a diez litros.

Los volúmenes se expresarán según lo indicado en el apartado 4.

6.3. Cálculo de fondos.

El espesor de un fondo cóncavo, medido en su centro, no será inferior a 2 e , no obstante, en las botellas destinadas a equipos de respiración para incendios o protección industrial dicho espesor podrá reducirse a queda justificado por un código de ensayos de resistencia sobrecarga.

El espesor de un fondo cóncavo, medido dentro de la zona limitada por la línea representativa de los puntos de apoyo entre la botella y el suelo, cuando la botella esté en posición vertical, no será inferior a 2 e . El diámetro de dicha línea representativa de los puntos de apoyo del fondo con el suelo deberá ser igual o mayor a 0,30 D.

En ambos casos el perfil inferior del fondo estará exento de puntos agudos para asegurar una satisfactoria distribución de tensiones, y el espesor se incrementará progresivamente en la zona de transición entre la envolvente cilíndrica y la base del fondo.

6.4. Cálculo de ejes.

El espesor de la ejes, medido en su centro y suponiendo que carece de extrínsecos y de agujeros, no será inferior a 2 e , no obstante en las botellas destinadas a equipos de respiración para incendios o protección industrial, dicho espesor podrá reducirse, a queda justificado, por un código de ensayo de resistencia sobrecarga.

El espesor en el límite de los hilos de la parte roscaada no deberá ser inferior al espesor mínimo de la envolvente cilíndrica.

Figura IV.1: Normas técnicas para el cálculo y diseño de recipientes a presión.

Fuente: [32]

Anexo V: Especificaciones para tuberías de acero según ASTM A53.

Diámetro exterior especificado	Tamaño de la rosca	Diámetro exterior		M Serie Media			H Serie Pesada		
		D	R	máx.	min.	Espesor de pared	Masa por unidad de longitud de tubo negro		Espesor de pared
(mm)		(mm)	(mm)	T (mm)	Extremo liso (kg/m)	Roscado y con manguito (kg/m)	T (mm)	Extremo liso (kg/m)	Con manguito (kg/m)
10,2	1/8	10,6	9,8	2,0	0,404	0,407	2,6	0,487	0,490
13,5	1/4	14,0	13,2	2,3	0,641	0,645	2,9	0,765	0,769
17,2	3/8	17,5	16,7	2,3	0,839	0,845	2,9	1,02	1,03
21,3	1/2	21,8	21,0	2,6	1,21	1,22	3,2	1,44	1,45
26,9	3/4	27,3	26,5	2,6	1,56	1,57	3,2	1,87	1,88
33,7	1	34,2	33,3	3,2	2,41	2,43	4,0	2,93	2,95
42,4	1 1/4	42,9	42,0	3,2	3,10	3,13	4,0	3,79	3,82
48,3	1 1/2	48,8	47,9	3,2	3,56	3,60	4,0	4,37	4,41
60,3	2	60,8	59,7	3,6	5,03	5,10	4,5	6,19	6,26
76,1	2 1/2	76,6	75,3	3,6	6,42	6,54	4,5	7,93	8,05
88,9	3	89,5	88,0	4,0	8,36	8,53	5,0	10,30	10,50
114,3	4	115,0	113,1	4,5	12,2	12,5	5,4	14,5	14,8
139,7	5	140,8	138,5	5,0	16,6	17,1	5,4	17,9	18,4
165,1	6	166,5	163,9	5,0	19,8	20,4	5,4	21,3	21,9

Figura V.1: Especificaciones para tuberías de acero.

Fuente: [33]

Anexo VI: Coeficiente de Hazen-Williams para diferencia de materiales.

Tabla 1. Coeficiente de Hazen-Williams para diferentes materiales
(elaborado por los autores según valores estándares de la literatura)

Material	C	Material	C
Asbesto cemento	140	Hierro galvanizado	120
Latón	130-140	Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100	Plomo	130-140
Hierro fundido nuevo	130	Plástico (PE, PVC)	140-150
Hierro fundido, 10 años de edad	107-113	Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años de edad	89-100	Acero nuevo	140-150
Hierro fundido, 30 años de edad	75-90	Acero	130
Hierro fundido, 40 años de edad	64-83	Acero rolado	110
Concreto	120-140	Lata	130
Cobre	130-140	Madera	120
Hierro dúctil	120	Hormigón	120-140

Figura VI.1: Coeficiente de Hazen-Williams para diferencia de materiales.

Fuente: [33]

Anexo VII: Tabla de referencia de pernos para bridas según ASME B16.5.

CLASE 600 LIBRAS

NPS	Diámetro exterior de la brida	Diámetro del círculo del perno	Diámetro de los taladros de los pernos	Número de pernos	Diámetro de los pernos	Longitud de los pernos [Nota (1)]	
						Cara elevada 0.06"	RTJ
1/2	3 3/4	2 5/8	5/8	4	1/2	3	3
3/4	4 5/8	3 1/4	3/4	4	5/8	3 1/2	3 1/2
1	4 7/8	3 1/2	3/4	4	5/8	3 1/2	3 1/2
1 1/4	5 1/4	3 7/8	3/4	4	5/8	3 3/4	3 3/4
1 1/2	6 1/8	4 1/2	7/8	4	3/4	4 1/4	4 1/4
2	6 1/2	5	3/4	8	5/8	4 1/4	4 1/4
2 1/2	7 1/2	5 7/8	7/8	8	3/4	4 3/4	4 3/4
3	8 1/4	6 5/8	7/8	8	3/4	5	5
3 1/2	9	7 1/4	1	8	7/8	5 1/2	5 1/2
4	10 3/4	8 1/2	1	8	7/8	5 3/4	5 3/4
5	13	10 1/2	1 1/8	8	1	6 1/2	6 1/2
6	14	11 1/2	1 1/8	12	1	6 3/4	6 3/4
8	16 1/2	13 3/4	1 1/4	12	1 1/8	7 1/2	7 3/4
10	20	17	1 3/8	16	1 1/4	8 1/2	8 1/2
12	22	19 1/4	1 3/8	20	1 1/4	8 3/4	8 3/4
14	23 3/4	20 3/4	1 1/2	20	1 3/8	9 1/4	9 1/4
16	27	23 3/4	1 5/8	20	1 1/2	10	10
18	29 1/4	25 3/4	1 3/4	20	1 5/8	10 3/4	10 3/4
20	32	28 1/2	1 3/4	24	1 5/8	11 1/4	11 1/2
24	37	33	2	24	1 7/8	13	13 1/4

Medidas en pulgadas

Figura VI.1: Especificaciones de pernos.

Fuente: [34]

Anexo VIII: Hoja de cálculos de parámetros para un diseño de ariete hidráulico bajo un caudal mínimo.

Caudal (m³ /s)		
mínimo	normal	máximo
0,005	0,01	0,015

Q	0,005	m ³ /s
---	-------	-------------------

Diámetro de la tubería de suministro a partir del caudal y de la velocidad					
velocidad		1,5		(m/s)	
En función del caudal					
mínimo		normal		máximo	
m	pulg	m	pulg	m	pulg
0,065147029	2,56484367	0,06514703	2,56484367	0,11283796	0,00444244

Ds tubería suministro	pulg	m	mm	CALCULADA
	2,56484367	0,06514703	65,1470291	

Cálculo de la presión dinámica		
Pd	1945,625139	Pa

Ds tubería suministro	pulg	m	mm	COMERCIAL APROXIMADA
	2,23622047	0,0568	56,8	

velocidad	1,973257755	(m/s)
------------------	--------------------	--------------

Dd tubería descarga	pulg	m	mm	CALCULADA
	0,55905512	0,0142	14,2	

Dd tubería descarga	pulg	m	mm	COMERCIAL APROXIMADA
	0,66141732	0,0168	16,8	

Dimensionamiento del tubo de suministro			
altura de suministro (m)		Longitud de impulsión (m)	Ángulo (°)
2		12	9,594076331

Parámetro de optimo	$150 \leq x \leq 500$	211,2676056
---------------------	-----------------------	-------------

altura de descarga máxima	20	m
altura descarga	20	
distancia total	32	
altura de suministro	12	

gravedad (g)	9,81	m/s ²
--------------	------	------------------

aceleración (a)	1,635	
-----------------	-------	--

velocidad final	2,676517545	m/s
-----------------	-------------	-----

Caudal bombeado en un ciclo		
qb	0,000593305	m ³ /ciclo

Caudal perdido en un ciclo		
Qp	0,004406695	m ³ /ciclo

Comprobación de régimen turbulento mediante Reynolds		
Número de Reynolds	81756,30371	adimensional

Cálculo de Pérdidas hidráulicas por fricción		
Datos		
Caudal (Q)	0,005	m ³ /s
tubería estirada (ϵ)	0,0000015	m
rugosidad absoluta (ϵ_r)	2,30248E-05	
Factor de fricción (λ)	0,018061843	s/u
Longitud de tubería (L)	12	m
Diámetro de tubería (D)	0,065147029	m
Gravedad	9,81	m/s ²
h_{roz}	0,381533086	m

Cálculo de pérdidas locales				
Cantidad	Descripción	ζ	h _{loc} (c/u)	h _{loc}
1	Filtro de succión	0,1	0,01978033	0,01978033
2	Codo de 10° a 30°	0,1	0,01978033	0,03956065
1	válvula check	2	0,39560652	0,39560652
1	Ensanchamiento brusco	0,1	0,01978033	0,01978033
1	unión te	0,2	0,03956065	0,03956065
2	válvula de impulsión	7,07	1,39846906	0,69923453
h_{loc_T} (m)				1,21352301

Cálculo de Pérdidas de carga				
h _{iner}		0,32183613		m

Cálculo de la altura desarrollada por el ariete		
H _i	18,08310777	m

Cálculo de celeridad		
Datos		
módulo de compresibilidad	1,6E+11	N/m ²
módulo de elasticidad	2,1E+11	kg/m ²
espesor	0,004	m
a	414,4991298	m/s

Tiempo de cierre de la válvula.		
T	0,057901207	s

Cálculo del pulso de Joukowsky		
Δp	621350,1538	Pa

Velocidad del flujo en la entrada en la cámara		
D.en cámara	0,006	m
D de cámara	0,158	
altura de cámara	0,638	
área anular de la válvula	0,019578389	m ²
v	0,127691814	m/s

Cálculo de altura según presión máxima		
ΔH	63,36182707	m

Cálculo de altura máxima		
H máx.	65,36182707	m

Cálculo de altura mínima		
H min	-63,36182707	m

Cálculo de presión máxima		
P máx.	640788,5147	m

Cálculo de presión mínima		
P min	-621181,0911	m

Rendimiento		
--------------------	--	--

Rendimiento de D'Aubuisson.		
η_{λ}	98,28802317	%

Rendimiento de Rankine.		
η_R	95,42191868	%

Rendimiento volumétrico.		
η_V	11,86610449	%

Anexo IX: Hoja de cálculos de parámetros para un diseño de ariete hidráulico bajo un caudal máximo.

Caudal (m³ /s)		
mínimo	normal	máximo
0,005	0,01	0,015

Q	0,015	m ³ /s
---	-------	-------------------

Diámetro de la tubería de suministro a partir del caudal y de la velocidad					
velocidad		1,5		(m/s)	
En función del caudal					
mínimo		normal		máximo	
m	pulg	m	pulg	m	pulg
0,065147029	2,56484367	0,11283796	4,44243954	0,11283796	0,00444244

Ds tubería suministro	pulg	m	mm	CALCULADA
	4,44243954	0,11283796	112,837964	

Cálculo de la presión dinámica			
Pd	2093,083315		Pa

Ds tubería suministro	pulg	m	mm	COMERCIAL APROXIMADA
	3,80314961	0,0966	96,6	

velocidad	2,046668435	(m/s)
------------------	-------------	-------

Dd tubería descarga	pulg	m	mm	CALCULADA
	0,9507874	0,02415	24,15	

Dd tubería descarga	pulg	m	mm	COMERCIAL APROXIMADA
	0,85826772	0,0218	21,8	

Dimensionamiento del tubo de suministro			
altura de suministro (m)		Longitud de impulsión (m)	Ángulo (°)
2		12	9,594076331

Parámetro de optimo	$150 \leq x \leq 500$	124,2236025
---------------------	-----------------------	-------------

altura de descarga máxima	20	m
altura descarga	20	
distancia total	32	
altura de suministro	12	

gravedad (g)	9,81	m/s ²
--------------	------	------------------

aceleración (a)	1,635	
-----------------	-------	--

velocidad final	2,731089834	m/s
-----------------	-------------	-----

Caudal bombeado en un ciclo		
qb	0,001019386	m ³ /ciclo

Caudal perdido en un ciclo		
Qp	0,013980614	m ³ /ciclo

Comprobación de régimen turbulento mediante Reynolds			
Número de Reynolds		141606,0719	adimensional

Cálculo de Pérdidas hidráulicas por fricción		
Datos		
Caudal (Q)	0,015	m ³ /s
tubería estirada (ϵ)	0,0000015	m
rugosidad absoluta (ϵ_r)	1,32934E-05	
Factor de fricción (λ)	0,016125095	s/u
Longitud de tubería (L)	12	m
Diámetro de tubería (D)	0,112837964	m
Gravedad	9,81	m/s ²
h_{roz}	0,196658087	m

Cálculo de pérdidas locales				
Cantidad	Descripción	ζ	h _{loc} (c/u)	h _{loc}
1	Filtro de succión	0,1	0,01978033	0,01978033
2	Codo de 10° a 30°	0,1	0,01978033	0,03956065
1	válvula check	2	0,39560652	0,39560652
1	Ensanchamiento brusco	0,1	0,01978033	0,01978033
1	unión te	0,2	0,03956065	0,03956065
2	válvula de impulsión	7,07	1,39846906	0,69923453
h_{loc_T} (m)				1,21352301

Cálculo de Pérdidas de carga			
h _{iner}		0,33380933	m

Cálculo de la altura desarrollada por el ariete		
H _i	18,25600957	m

Cálculo de celeridad		
Datos		
módulo de compresibilidad	1,6E+11	N/m ²
módulo de elasticidad	2,1E+11	kg/m ²
espesor	0,004	m
a	323,529584	m/s

Tiempo de cierre de la válvula.		
T	0,074181779	s

Cálculo del pulso de Joukowsky		
Δp	883021,978	Pa

Velocidad del flujo en la entrada en la cámara		
D.en cámara	0,004	m
D de cámara	0,158	
altura de cámara	0,638	
área anular de la válvula	0,019594097	m ²
v	0,382768344	m/s

Cálculo de altura según presión máxima		
ΔH	90,0456619	m

Cálculo de altura máxima		
H máx.	92,0456619	m

Cálculo de altura mínima		
H min	-90,0456619	m

Cálculo de presión máxima		
P máx.	902389,1408	m

Cálculo de presión mínima		
P min	-882781,7172	m

Rendimiento		
--------------------	--	--

Rendimiento de D'Aubuisson.		
η_{λ}	62,03304325	%

Rendimiento de Rankine.		
η_R	55,23713936	%

Rendimiento volumétrico.		
η_V	6,795903892	%

PLANOS

SISTEMA COMPLETO

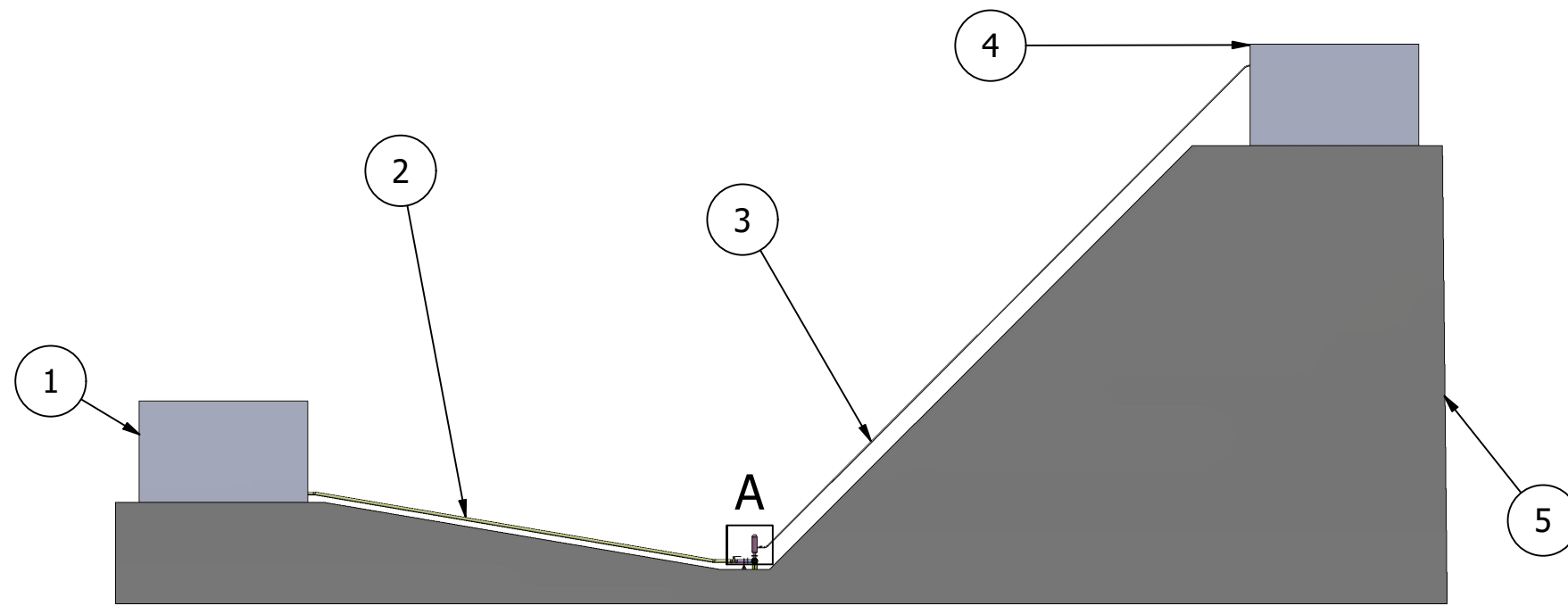
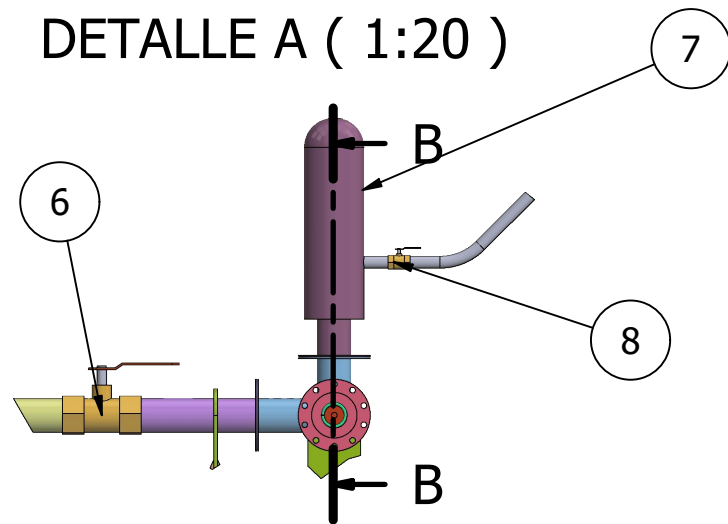
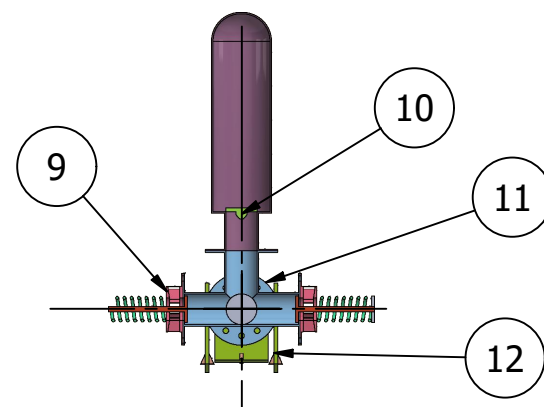


TABLA	
N° PIEZA	ELEMENTO
1	TANQUE RESERVORIO 1
2	TUBERIA DE SUMINISTRO
3	TUBERIA DE DESCARGA
4	TANQUE RESERVORIO 2
5	TERRENO
6	LLAVE DE PASO SUMINITRO
7	CAMARA DE AIRE
8	LLAVE DE PASO DESCARGA
9	VALVULA DE IMPULSION
10	VÁLVULA CHECK
11	BRIDA
12	SOPORTE

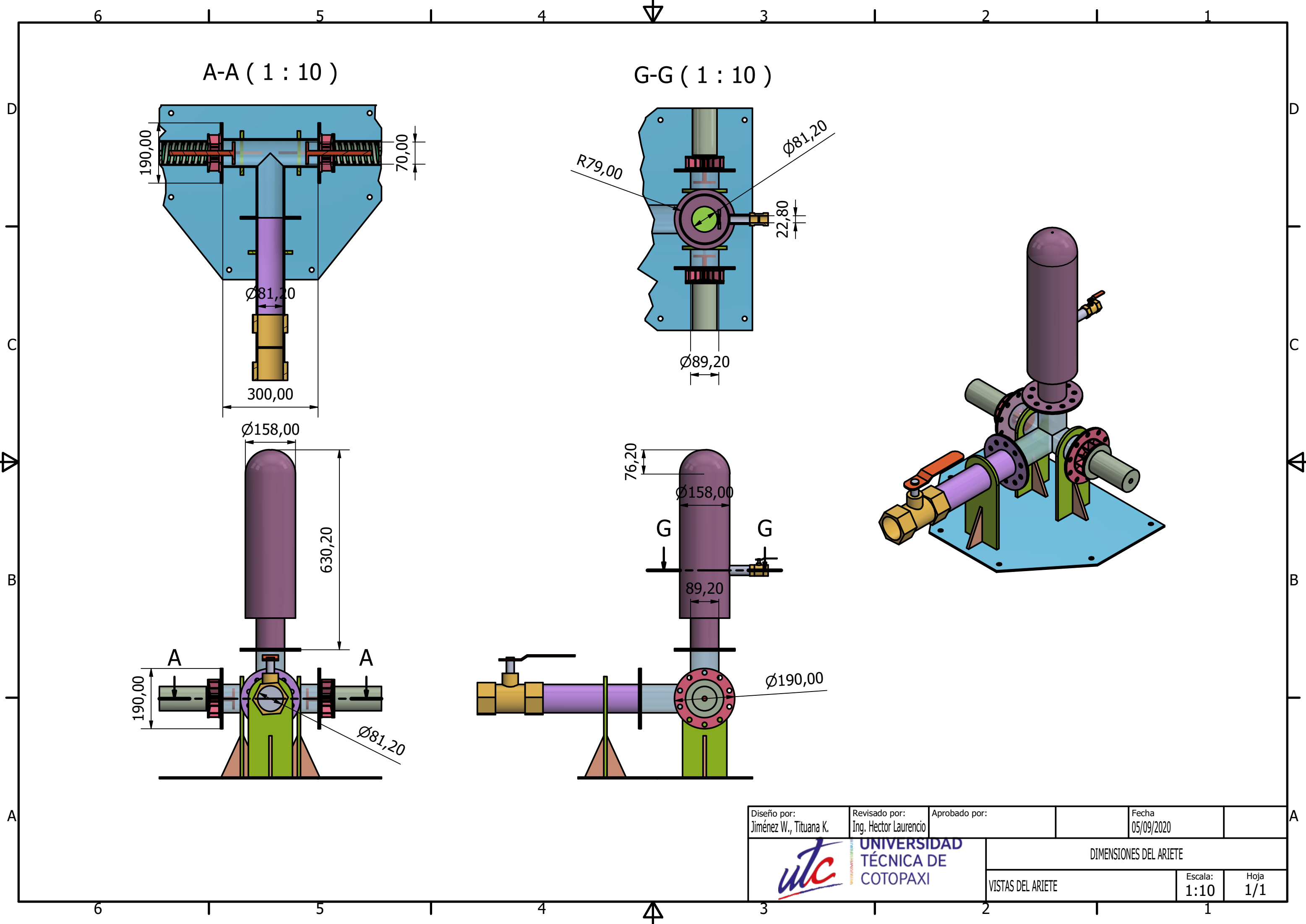
DETALLE A (1:20)



DETALLE B (1:20)



Diseño por: Jiménez Willian, Tituana Karen	Revisado por: Ing. Hector Laurencio	Aprobado por:	Fecha 05/09/2020
		PARTES DE LA INSTALACIÓN DEL ARIETE	
		PLANOS DE ARIETE	Escala: 1:200 Hoja 1/1



Diseño por: Jiménez W., Tituana K.	Revisado por: Ing. Hector Laurencio	Aprobado por:	Fecha 05/09/2020
		DIMENSIONES DEL ARIETE	
		VISTAS DEL ARIETE	Escala: 1:10 Hoja 1/1

ARIETE COMPLETO

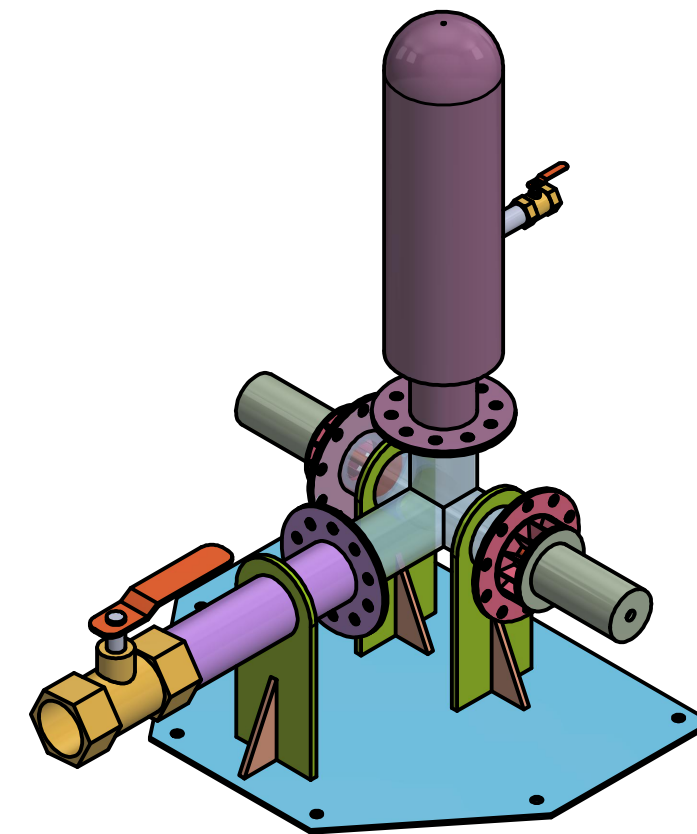
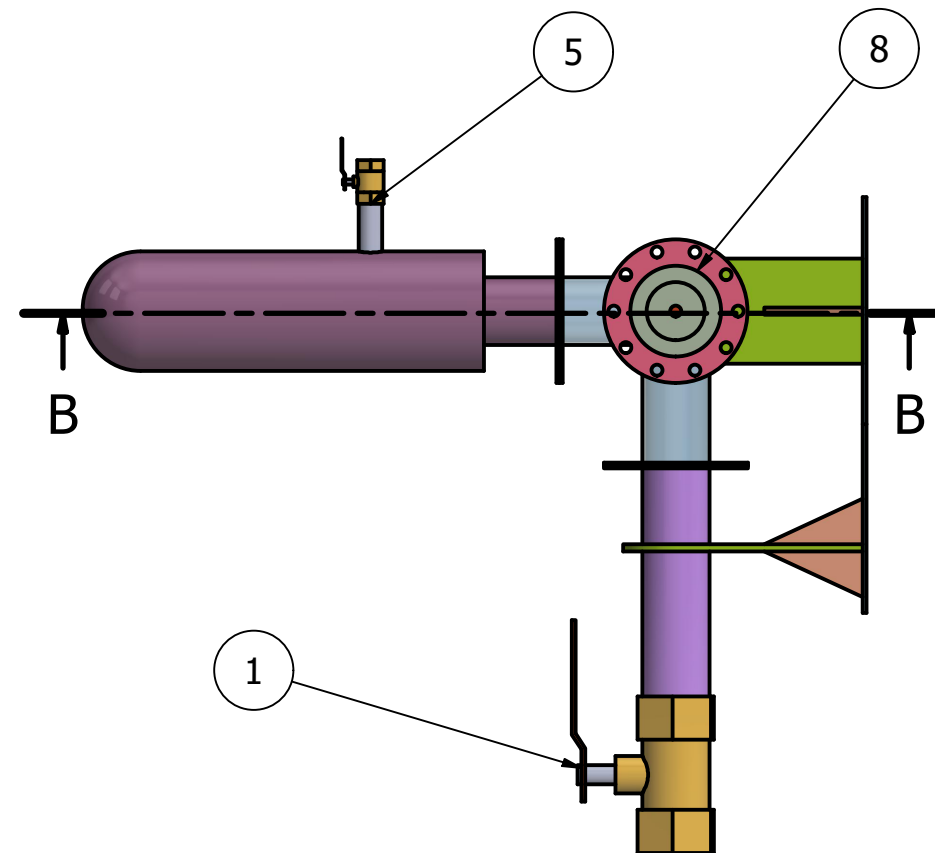
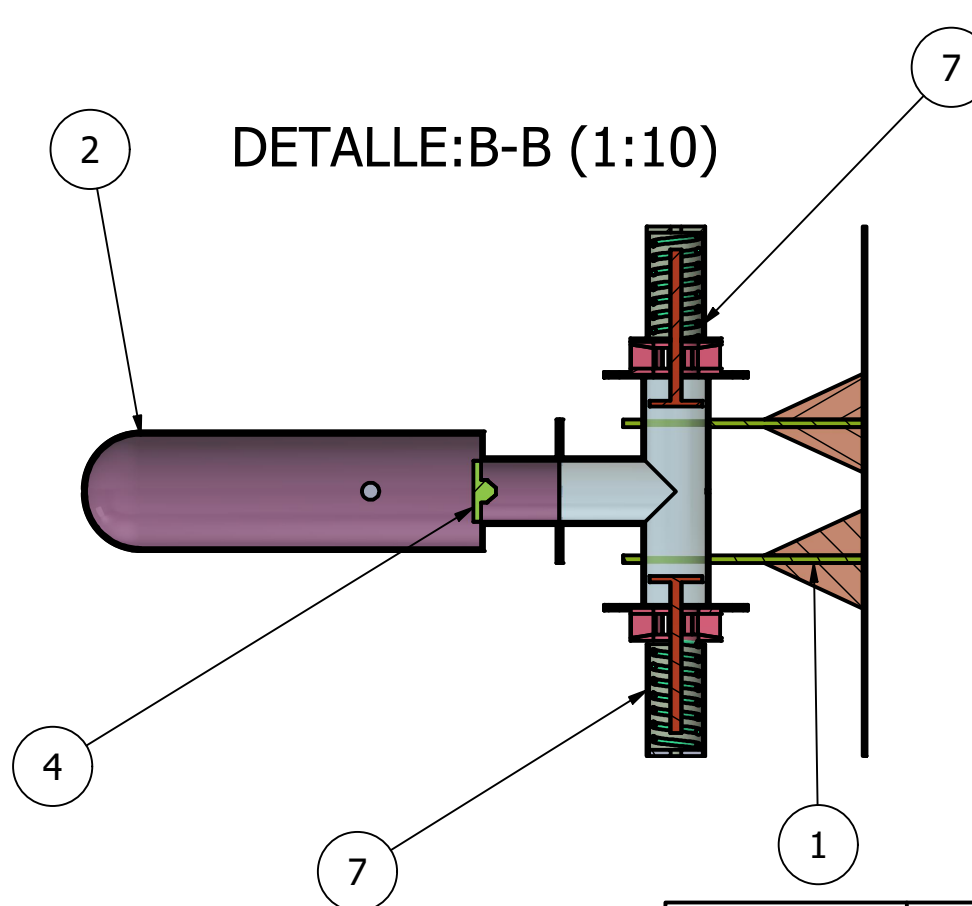


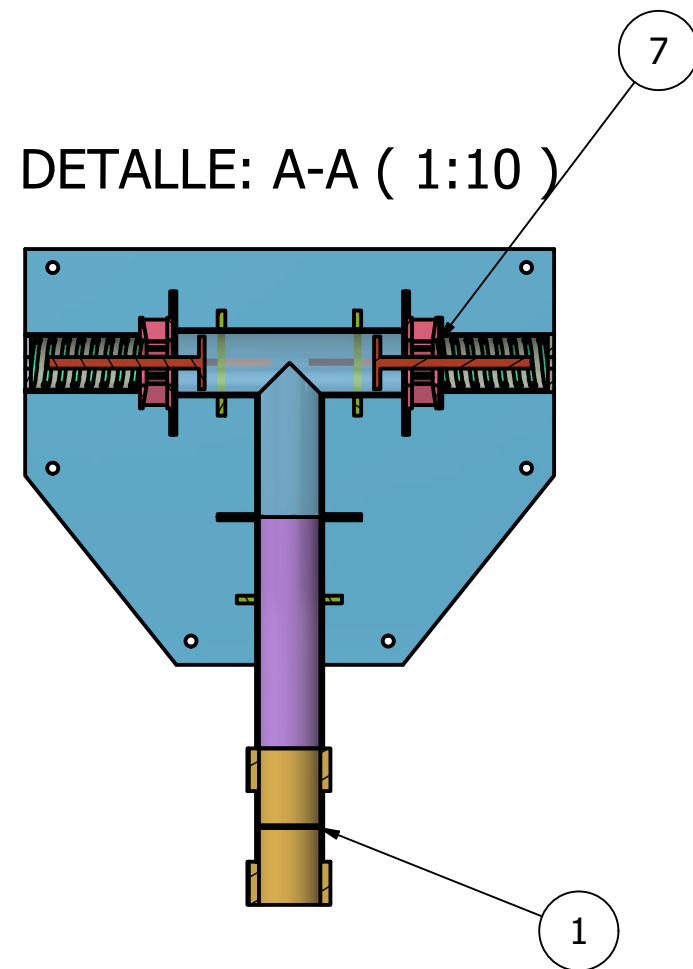
TABLA	
ELEMENTO	Nº PIEZA
1	VÁLVULA DE PASO DE SUMINISTRO
2	CÁMARA DE AIRE
3	VÁLVULA DE IMPULSIÓN
4	VÁLVULA CHECK
5	VÁLVULA DE PASO DE DESCARGA
6	SOPORTE DE TUBERÍAS
7	VISTA INTERIOR DE VÁLVULA DE IMPLUSIÓN
8	BRIDAS DE SUJECIÓN



DETALLE: B-B (1:10)



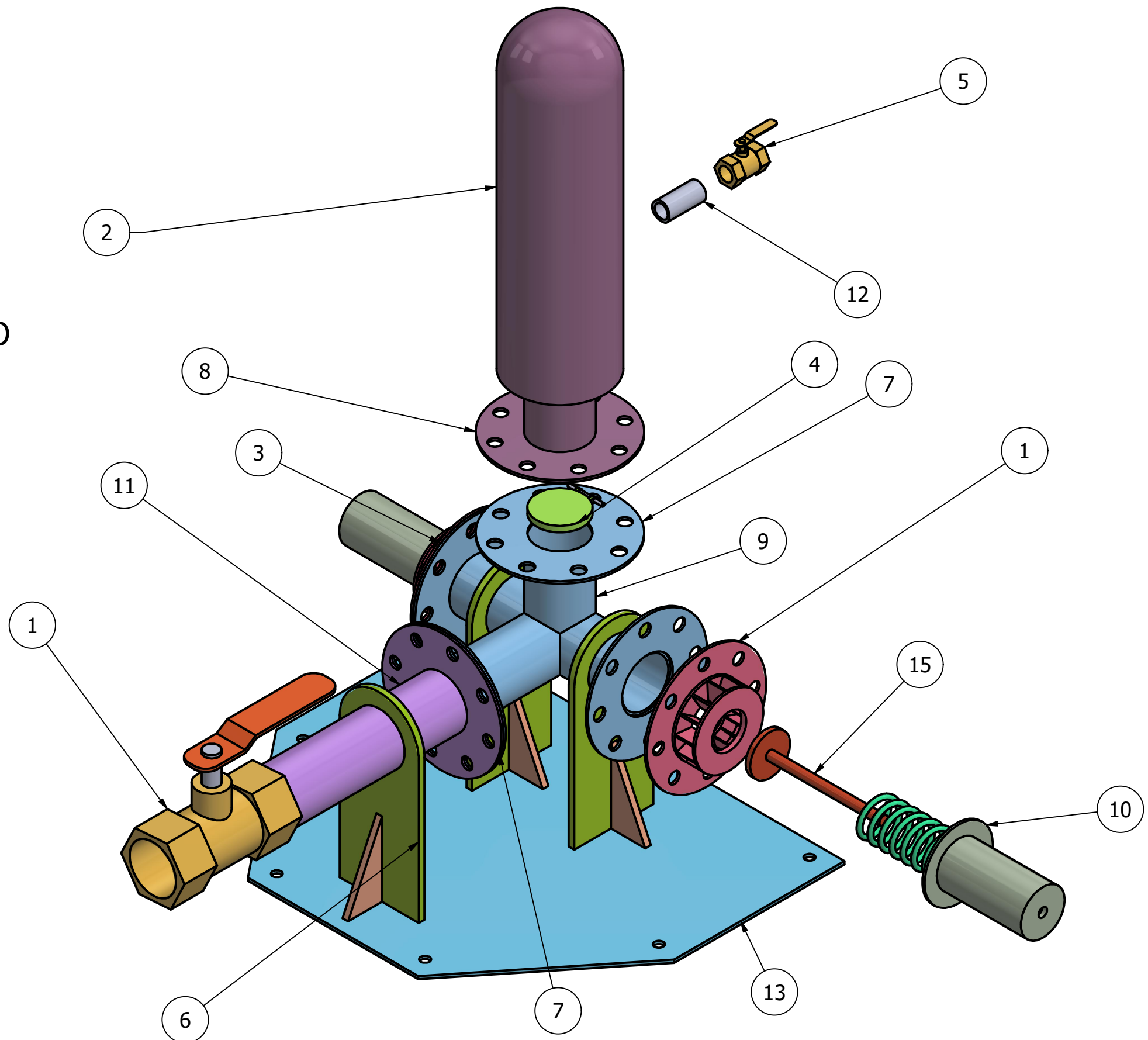
DETALLE: A-A (1:10)



Diseño por: Jiménez W., Tituana K.	Revisado por: Ing. Hector Laurencio	Aprobado por:	Fecha 05/09/2020
		DIMENSIONES DEL ARIETE	
		VISTAS DEL ARIETE	Escala: 1:10 Hoja: 1/1

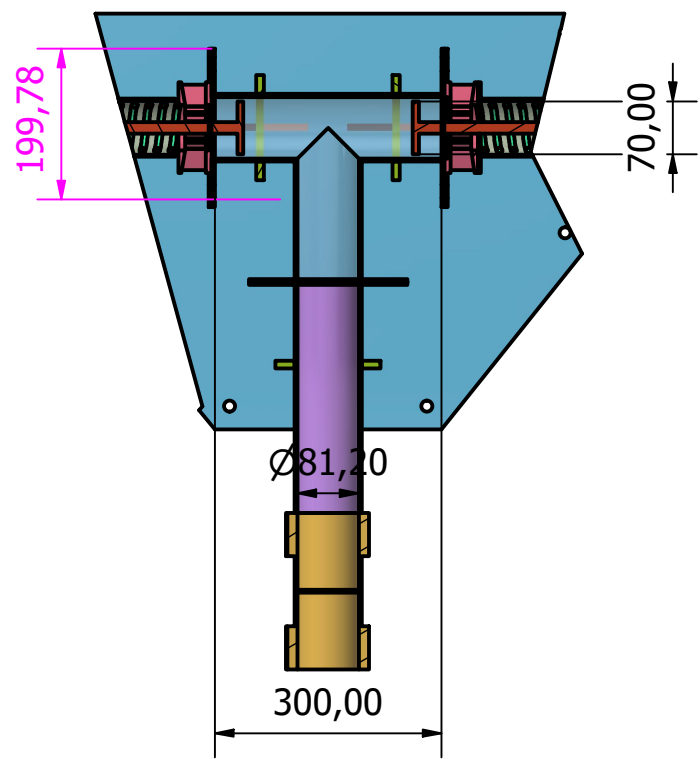
ARIETE COMPLETO

TABLA	
Nº PIEZA	ELEMENTO
VÁLVULA DE PASO DE SUMINISTRO	1
CÁMARA DE AIRE	2
VÁLVULA DE IMPULSIÓN	3
VÁLVULA CHECK	4
VÁLVULA DE PASO DE DESCARGA	5
SOPORTE DE TUBERÍAS	6
BRIDAS	7
BRIDAS DE SUJECIÓN	8
CUERPO DEL ARIETE	9
SISTEMA DE RESORTE	10
TUBERIA DE SUMINITRO	11
TUBERIA DE DESCARGA	12
BASE DEL ARIETE	13
DESFOGUE DE LA VÁLVULAE	14
EJE DE LA VÁLVULA	15

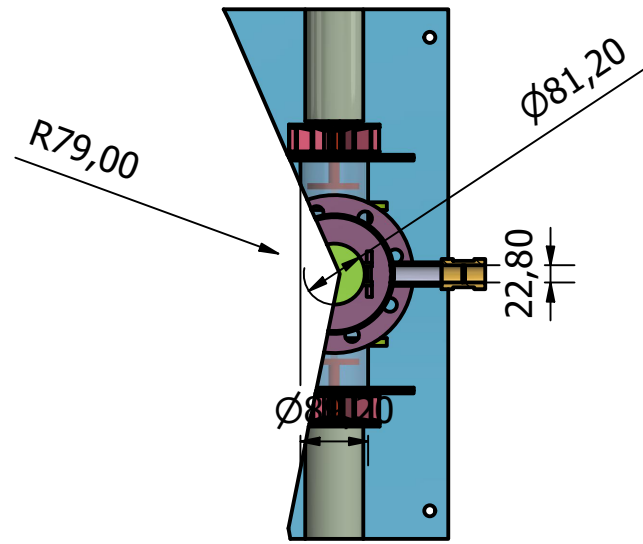


Diseño por: Jiménez W., Tituana K.	Revisado por: Ing. Hector Laurencio	Aprobado por:	Fecha 05/09/2020
		ENSAMBLE DEL ARIETE	
		ARIETE COMPLETO	Escala: 1:10 Hoja 1/1

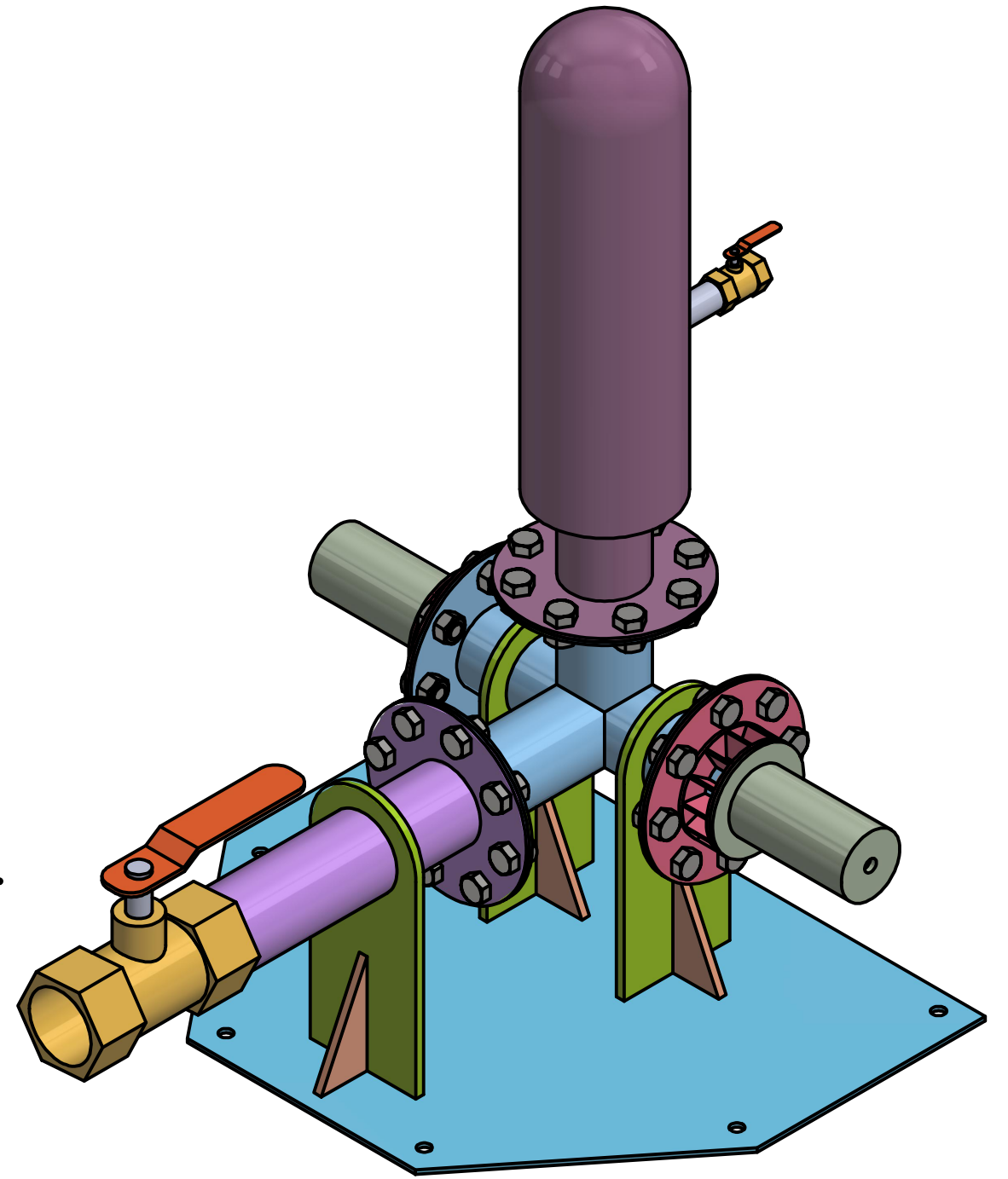
DETALLE D (1:10)



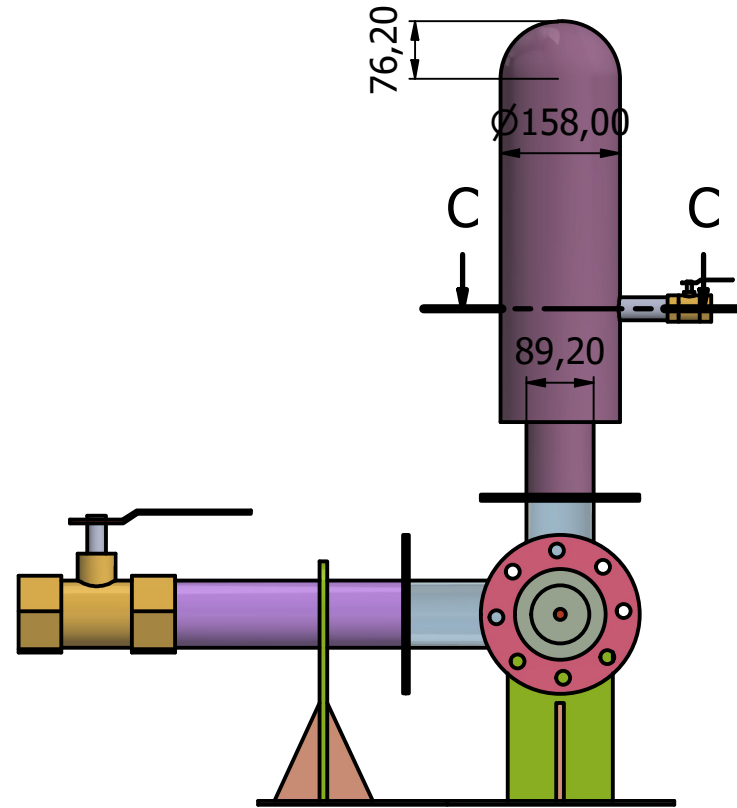
DETALLE C (1:10)



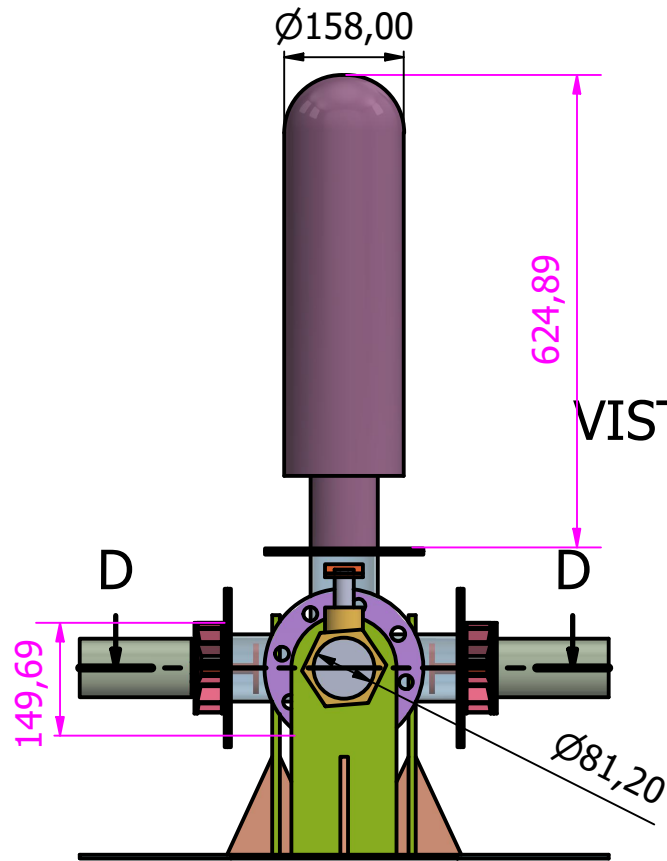
SISTEMA DE ARIETE COMPLETO



VISTA B (1:10)



VISTA A



Diseño por: Jiménez W., Tituana K.	Revisado por: Ing. Hector Laurencio	Aprobado por:	Fecha 05/09/2020
		DIMENSIONES GENERALES DE ARIETE EN TERRENO	
		PLANOS DE ARIETE	Escala: 1:200 Hoja 1/1