



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**CARRERA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**DISEÑO DE VÁLVULAS DE IMPULSO CHECK PARA BOMBA DE ARIETE  
MULTIPULSOR BÓXER DE DOS VÍAS DE CARGA HORIZONTAL.**

“Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero en  
Electromecánica”

**Autores:**

Bedón Velasco Edgar Abel

Navas Tubon Jefferson Stalin

**Tutor Académico:**

Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; Dr. C.

**LATACUNGA – ECUADOR**

**2021**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Bedón Velasco Edgar Abel y Navas Tubon Jefferson Stalin, declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica **“DISEÑO DE VÁLVULAS DE IMPULSO CHECK PARA BOMBA DE ARIETE MULTIPULSOR BÓXER 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.

---

Sr. Bedón Velasco Edgar Abel  
C.I. 050361144-4

---

Sr. Navas Tubon Jefferson Stalin  
C.I. 185013540-9



## **AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: “**DISEÑO DE VÁLVULAS DE IMPULSO CHECK PARA BOMBA DE ARIETE MULTIPULSOR BÓXER DE DOS VÍAS DE CARGA HORIZONTAL**”, de los señores Bedón Velasco Edgar Abel y Navas Tubon Jefferson Stalin de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científicos-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, Agosto, 2021

El Tutor:

---

Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; Dr. C.  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**  
C.I. 175836725-2



## 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: **Bedón Velasco Edgar Abel** y **Navas Tubon Jefferson Stalin** con el título de Proyecto de titulación: “**DISEÑO DE VÁLVULAS DE IMPULSO CHECK PARA BOMBA DE ARIETE MULTIPULSOR BÓXER DE DOS VÍAS DE CARGA HORIZONTAL**”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen 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, Agosto, 2021

Para constancia firman:

---

**Lector 1 (Presidente)**

Ing. Navarrete López Luis Miguel; M. Sc.  
CC: 180374728-4

---

**Lector 2**

Ing. Cevallos Betún Segundo Ángel; Ms. C.  
CC: 050178243-7

---

**Lector 3**

Ing. Reinoso Peñaherrera Héctor Raúl; M. Sc.  
CC: 050215089-9



## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

En calidad de las pruebas hechas en las instalaciones de la Matriz Av. Simón Rodríguez de Latacunga, certifico que mediante la Propuesta Tecnológica **“DISEÑO DE VÁLVULAS DE IMPULSO CHECK PARA BOMBA DE ARIETE MULTIPULSOR BÓXER DE DOS VÍAS DE CARGA HORIZONTAL”**, construido por los señores, Bedón Velasco Edgar Abel y Navas Tubon Jefferson Stalin, estudiantes de la carrera INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se hará la entrega del proyecto antes mencionado.

Aceptando conocer y estar conforme con los términos y condiciones de las actividades que se van a realizar dentro del diseño y la manufactura de válvulas tipo check modificas en la bomba de ariete hidráulico dos vías de carga horizontal el proyecto de los señores estudiantes.

Atentamente:

---

Sr. Bedón Velasco Edgar Abel.  
C.C. 050361144-4

---

Sr. Navas Tubon Jefferson Stalin.  
C.C. 185013540-9

---

Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; Dr. C.  
C.C. 175836725-2

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco primeramente a Dios por permitirme conservar mi salud y por todas las bendiciones que han derramado sobre mí.*

*A mis abuelitos, madre, hermanos, familiares y amigos que son un ejemplo de superación, por ser un pilar fundamental en mi vida, por inculcarme buenos valores y enseñarme a luchar para alcanzar mis sueños y metas.*

*A mi querida alma mater UTC, a mi amada carrera de Ingeniería Electromecánica que me abrió las puertas para conocer a grandes amigos con quienes compartí experiencias y momentos inolvidables.*

*A todos los distinguidos docentes de la familia Electromecánica por impartirme sus conocimientos sin egoísmos, en especial a mi tutor Ing. Héctor Laurencio por ser nuestro guía durante el proceso del desarrollo de tesis.*

**Edgar.**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco primeramente a Dios por permitirme y otorgarme un día más vida junto con quienes más amo, a mi familia por todo el apoyo incondicional en especial a mi madre al ser ese pilar fundamental por sus excelentes consejos, su paciencia y buenos valores durante mi transcurso Universitario, a los docentes quienes a lo largo de esta etapa me han guiado e impartido sus conocimientos para así lograr tan anhelado objetivo. A mi querida Universidad por abrirme las puertas y permitirme formar parte de tan prestigiosa institución, la cual me deja muchas experiencias de vida, y como olvidarme de mis compañeros de clase y amistades quienes hicieron que esta etapa sea una de las más espectaculares. Una acotación especial para mi compañero Edgar quien jamás se dio por vencido y juntos logramos cruzar la meta.*

**Jefferson.**

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo de titulación a la Virgen Inmaculada Concepción “Papahurco”, por la sabiduría entregada para poder llegar hasta estas instancias de mi formación profesional. A mis abuelitos Mamita Bacha por todo el apoyo incondicional y a Papá Abel Velasco Sandoval, que lo recuerdo con amor por inculcarme principios y valores que me sirvieron para formarme como persona, ahora desde el cielo sé que me cuida y me envía su bendición. A mi Madre Bertha Velasco, y a mis hermanos, por el total apoyo brindado durante toda mi trayectoria como estudiante, por cada consejo que me dieron para ser un buen estudiante, un buen hijo y sobre todo una buena persona.*

*A toda mi familia en general, amigos del barrio, por estar pendientes de mi desde cuando era niño, por cada consejo brindado, abrazo de fortaleza y sobre todo por apoyarme en los momentos más delicados de mi vida. A mi pequeña familia principalmente a mi princesa Lizeth que me dio las fuerzas necesarias para culminar esta etapa maravillosa de mi vida.*

**Edgar.**

## **DEDICATORIA**

*Dedico este proyecto a todos quienes integran mi familia por sus oraciones, la motivación que siempre me han brindado en cada paso. Haré una mención especial a mis hermanos y primos quienes serán los próximos profesionales en la familia, inculcarles a luchar por sus sueños que con esfuerzo y perseverancia se cumplen, a mi abuela Mariana De Jesús quien en todo momento con su afecto y cariño me impulsó a construir mis sueños desde niño. Estela Navas una mujer trabajadora que en todo momento se esfuerza por sus hijos y hoy se ve reflejado su grandiosa labor, madre te dedico este triunfo y me siento muy orgulloso de compartirlo contigo.*

**Jefferson.**

## ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN.....	III
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	IV
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
DEDICATORIA.....	VIII
DEDICATORIA.....	IX
ÍNDICE GENERAL.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVIII
RESUMEN.....	XX
ABSTRACT.....	XXI
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	XXII
<b>1 INFORMACIÓN GENERAL.....</b>	<b>1</b>
<b>2 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
2.1 El problema.....	3
2.1.1 Situación problemática.....	4
2.1.2 Formulación del problema.....	5
2.2 Revisión bibliográfica y documental.....	5
2.3 Objeto y campo de acción.....	6
2.3.1 Objeto de estudio.....	6
2.3.2 Campo de acción.....	6
2.4 Beneficiarios.....	6
2.4.1 Directos.....	6
2.4.2 Indirectos.....	6
2.5 Justificación.....	7
2.6 Hipótesis.....	7
2.7 Objetivos.....	8
2.7.1 General.....	8
2.7.2 Específicos:.....	8
2.8 Sistemas de tareas.....	8
<b>3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....</b>	<b>9</b>
3.1 Antecedentes.....	9
3.2 Sistemas para bombeo de agua.....	10
3.2.1 Bombas hidráulicas.....	10

3.2.2	Bombas volumétricas o de desplazamiento positivo.....	10
3.2.3	Bombas alternativas .....	11
3.2.4	Bombas rotatorias.....	12
3.2.5	Bombas rotodinámicas .....	13
3.2.1	Bomba de ariete Hidráulico.....	13
3.2.2	Configuración de las bombas de ariete.....	14
3.2.3	Golpe de ariete .....	15
3.2.4	Rendimiento del ariete .....	16
3.2.5	El caudal elevado (q) .....	16
3.2.6	El caudal de alimentación (Q) .....	16
3.2.7	Cuerpo del ariete hidráulico.....	17
3.2.8	Válvula de impulso .....	17
3.2.9	Válvula de entrega .....	17
3.2.10	Cámara de aire o campana .....	17
3.2.11	Válvula de aire .....	18
3.3	Parámetros para diseño de bombas .....	18
3.3.1	Locación de la bomba.....	18
3.3.2	Fuente de alimentación o reservorio.....	18
3.3.3	Tubería de suministro .....	18
3.3.4	Tubería de entrega.....	18
3.3.5	Determinación de caudales .....	19
3.4	Válvulas en bombas de ariete. ....	19
3.4.1	Partes internas de una válvula .....	19
3.4.2	Cuerpo de la válvula.....	20
3.4.3	Tapas de válvulas.....	20
3.4.4	Corrosión y erosión en las válvulas.....	20
3.5	Tipos de válvulas para bombas de ariete.....	21
3.5.1	Válvulas de apertura lenta.....	21
3.5.2	Válvulas de apertura rápida .....	21
3.5.3	Tipos de válvula de impulso.....	21
3.5.4	Válvula con resorte de platina .....	21
3.5.5	Válvula con plato perforado .....	21
3.5.6	Válvula regulada con resorte.....	22
3.5.7	Válvula con pesas encima.....	22
3.5.8	Válvula con pesas debajo .....	23
3.5.9	Válvula con pesas encima tipo Check.....	23
3.5.10	Válvula de solapa .....	24
3.5.11	Válvula tipo cabezal.....	24
3.5.12	Válvula de bisagra .....	25
3.5.13	Válvula de disco suelto .....	25
3.5.14	Válvula de tapón .....	26
3.5.15	Válvula de tipo Check .....	26

3.6	Principio de funcionamiento válvulas tipo check .....	26
3.6.1	Condiciones de funcionamiento de válvulas check.....	27
3.7	Tipos de válvulas check de retención.....	27
3.7.1	De clapeta oscilante .....	28
3.7.2	De muelle .....	28
3.7.3	Pistón.....	28
3.7.4	Retención de bola.....	29
3.8	Selección de válvulas de compuerta .....	29
3.9	Inclusión de válvulas tipo check bajo normativas. ....	31
3.10	Manufactura general de válvulas para bombas de ariete.....	33
3.10.1	Manufactura.....	33
3.10.2	Marcas comunes en la industria.....	33
3.11	Mecanismos: articulaciones mecánicas .....	34
3.11.1	Mecanismo.....	34
3.11.2	Articulaciones Mecánicas.....	35
3.11.3	Usos de articulación mecánica.....	35
3.11.4	Tipos de articulaciones mecánicas .....	35
3.11.5	Articulación cilíndrica.....	35
3.11.6	Articulación esférica.....	36
3.11.7	Rótula fija.....	36
3.11.8	Rótula deslizante.....	37
3.12	Máquinas - herramientas de manufactura.....	37
3.12.1	Proceso de Manufactura .....	37
3.12.2	Clasificación de los procesos de Manufactura .....	37
3.12.3	Máquinas convencionales.....	38
3.12.4	Herramientas para la fabricación de válvulas. ....	38
3.12.5	Torno.....	38
3.12.6	Operaciones de trabajo en el torno. ....	39
3.12.7	Amoladora.....	41
3.13	Soldadura .....	41
3.13.2	Soldadura MIG .....	42
3.13.3	Soldadura por arco eléctrico .....	42
3.13.4	Selección del tipo de tipo de soldadura .....	42
4	MATERIALES Y MÉTODOS.....	42
4.1	Definición de variables .....	43
4.2	Parámetros actuales del ariete hidráulico .....	44
4.3	Potencia de la bomba de ariete.....	45
4.4	Fuerza de arrastre sobre la válvula de impulso.....	46
4.5	Velocidad de cierre de la válvula de impulso.....	47
4.6	Volumen de agua en la tubería de entrega .....	47
4.7	Cálculo de la presión mínima .....	47
4.8	Cálculo de la presión máxima.....	47

4.9	Cálculo de celeridad .....	48
<b>TABLA 4.5. CONSTANTE K DE LOS MATERIALES.....</b>		<b>49</b>
4.10	Sobrepresión.....	49
4.11	Cálculo caudal libre.....	50
4.12	Velocidad del fluido .....	50
4.13	Fuerza que actúa sobre la válvula check.....	50
4.14	Ecuaciones de rendimiento .....	51
4.15	Estudio dinámico del mecanismo de válvula check.....	51
4.15.1	Sumatoria de fuerzas.....	51
4.15.2	Sumatoria de momentos.....	52
4.15.3	Diseño de ejes según norma ASME.....	52
4.15.4	Altura desarrollada por el ariete.....	53
4.16	Sistemas de diseño y simulación .....	53
4.16.1	Software CAD .....	53
4.17	Propiedades físicas del agua en Latacunga .....	54
4.18	Propiedades físicas del aire en Latacunga.....	54
<b>5</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>54</b>
5.1	Tablas de resultados .....	55
5.1.1	Potencia de la bomba.....	55
5.1.2	Cálculo de la presión mínima .....	55
5.1.3	Cálculo de presión máxima.....	55
5.1.4	Cálculo de la celeridad .....	56
5.1.5	Cálculo de sobrepresión .....	57
5.1.6	Cálculo caudal libre.....	57
5.1.7	Velocidad del fluido .....	57
5.1.8	Fuerza que actúa sobre la válvula check.....	57
5.2	Diagrama de cuerpo libre .....	58
5.2.1	Dimensionamiento de la tapa.....	59
5.2.2	Análisis Dinámico de la sujeción 1 .....	60
5.2.3	Análisis Dinámico de la sujeción 2 .....	61
5.2.4	Análisis Dinámico de la sujeción 3 .....	62
5.2.5	Diseño de ejes bajo norma ASME.....	63
5.3	Análisis dinámico de la válvula check.....	64
5.3.1	Válvula check cerrada.....	65
5.3.2	Válvula check abierta.....	65
5.4	Análisis mecánico.....	66
5.4.1	Análisis de tensiones .....	67
5.4.2	Análisis de Desplazamientos .....	68
5.4.3	Análisis del factor de seguridad .....	69
5.5	Análisis de movimiento .....	69
5.5.1	Mecanismo de tapa pequeña.....	70

5.5.2	Mecanismo de tapa mediana .....	71
5.5.3	Mecanismo de tapa grande .....	73
5.5.4	Mecanismo de eslabones grandes .....	74
5.5.5	Mecanismo de eslabones pequeños .....	76
5.6	Análisis comparativo .....	77
5.7	Cálculo de pérdidas .....	79
5.7.1	Pérdidas ariete hidráulico original .....	79
5.7.2	Pérdidas ariete hidráulico modificado.....	80
5.7.3	Comparación de alturas desarrolladas.....	80
5.8	Análisis de rendimiento.....	82
5.8.1	Rendimiento volumétrico ariete hidráulico original .....	82
5.8.2	Rendimiento volumétrico ariete hidráulico modificado .....	83
5.9	Presupuesto y análisis de impacto.....	85
5.9.1	Presupuesto para la manufactura de válvulas check modificadas.....	85
5.9.2	Análisis del VAN, TIR Y PRI.....	86
5.10	Análisis de impactos .....	87
5.10.1	Impacto Económico .....	87
5.10.2	Impacto tecnológico.....	88
5.10.3	Impacto Ambiental .....	88
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	89
6.1	Conclusiones.....	89
6.2	Recomendaciones.....	89
7	BIBLIOGRAFÍA .....	90
8	ANEXOS.....	93
8.1	Metodo de cálculo .....	93
8.2	Fotografías.....	97
8.3	PLanos .....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Causa-efecto.....	5
Figura 3.1. Comportamiento de la presión.....	10
Figura 3.2. Bombas alternativas.....	11
Figura 3.3. Función de la cámara de aire .....	11
Figura 3.4. Bombas de diafragma. ....	12
Figura 3.5. Bombas rotatorias. ....	12
Figura 3.6. Bombas rotodinámicas .....	13
Figura 3.7. Bombas axiales .....	13
Figura 3.8. Funcionamiento bomba de ariete .....	14
Figura 3.9. Configuración .....	15
Figura 3.10. Golpe de ariete.....	15
Figura 3.11. Cuerpo de ariete hidráulico .....	17
Figura 3.12. Válvula con soporte de platina.....	21
Figura 3.13. Válvula con plato perforado.....	22
Figura 3.14. Válvula regulada con resorte .....	22
Figura 3.15. Válvula con pesas superior .....	23
Figura 3.16. Válvulas con pesas inferior.....	23
Figura 3.17. Válvula tipo Check.....	24
Figura 3.18. Válvula de solapa. ....	24
Figura 3.19. Válvula tipo cabezal.....	25
Figura 3.20. Válvula de bisagra.....	25
Figura 3.21. Válvula de disco suelto.....	25
Figura 3.22. Válvula de tapón.....	26
Figura 3.23. Válvula Check. ....	26
Figura 3.24. Válvula de clapeta oscilante .....	28
Figura 3.25. Válvula tipo muelle .....	28
Figura 3.26. Válvula de pistón.....	29
Figura 3.27. Válvula de retención tipo bola .....	29
Figura 3.28. Historia de los mecanismos .....	34
Figura 3.29. Articulación cilíndrica .....	36
Figura 3.30. Articulación esférica .....	36

<b>Figura 3.31. Rótula fija .....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 3.32. Rótula deslizante .....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 3.33. Procesos de manufactura.....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 3.34. Máquinas herramientas.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 3.35. Torno .....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 3.36. Esquema de refrendado de torneado cilíndrico. ....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 3.37. Pieza moleteada .....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 3.38. Contrapunto para taladros .....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 3.39. Esquema funcional torneado esférico .....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 3.40. Proceso de chaflanado .....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 3.41. Velocidad angular y velocidad lineal o tangencial .....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 4.1. Funcionamiento válvula de Ariete.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 5.1. Distancias de los eslabones. ....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 5.2. Dimensiones de tapas según norma API 594 .....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 5.3. Distancias principales de una válvula check.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 5.4. Equilibrio estático de la tapa.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 5.5. Fuerzas en la unión de la tapa y eslabón 2.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 5.6. Equilibrio estático eslabón 2. ....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 5.7. Fuerzas en la unión del eslabón 2 y eslabón 3. ....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 5.8. Equilibrio estático eslabón 1. ....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 5.9. Fuerzas en la unión del eslabón 1 y eslabón 3. ....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 5.10. Análisis dinámico .....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 5.11. Válvula Check cerrada. ....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 5.12. Válvula check abierta. ....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 5.13. Partes del mecanismo válvula check. ....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 5.14. Análisis de Von Mises. ....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 5.15. Análisis de desplazamientos. ....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 5.16. Factor de seguridad de la válvula check. ....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 5.17. Simulación del mecanismo de tapa pequeña. ....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 5.18. Movimiento del mecanismo de tapa pequeña.....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 5.19. Velocidad del mecanismo de tapa pequeña. ....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 5.20. Simulación del mecanismo de tapa mediana. ....</b>	<b>72</b>

<b>Figura 5.21. Movimiento del mecanismo de tapa mediana.....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 5.22. Velocidad del mecanismo de tapa mediana. ....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 5.23. Simulación del mecanismo de tapa grande.....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 5.24. Movimiento del mecanismo de tapa grande. ....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 5.25. Velocidad del mecanismo de tapa grande.....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 5.26. Simulación del mecanismo de eslabones grandes.....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 5.27. Movimiento del mecanismo de eslabones grandes.....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 5.28. Velocidad del mecanismo de eslabones grandes.....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 5.29. Simulación del mecanismo de eslabones pequeños. ....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 5.30. Movimiento del mecanismo de eslabones pequeños.....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 5.31. Velocidad del mecanismo de eslabones pequeños. ....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 5.32. Velocidades comparativas de los mecanismos 1, 2 y 3.....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 5.33. Velocidades comparativas de los mecanismos 2, 4 y 5.....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 5.34. Altura generada por el ariete hidráulico original. ....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 5.35. Altura generada por el ariete hidráulico modificado. ....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 5.36. Rendimiento del ariete hidráulico original.....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 5.37. Instalación de ariete hidráulico modificado. ....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 5.38. Accionamiento de la válvula check.....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 5.39. Rendimiento del ariete hidráulico modificado. ....</b>	<b>84</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1: Sistemas de tareas del proyecto de Titulación .....</b>	<b>8</b>
<b>Tabla 3.1. Rendimiento de un ariete hidráulic. ....</b>	<b>16</b>
<b>Tabla 3.2. Caudales de alimentación de un ariete. ....</b>	<b>16</b>
<b>Tabla 3.3. Normas para válvulas.....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 3.4. Marcas de válvulas .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 3.5. Tipos de soldadura.....</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 4.1. Definición de las variables del sistema.....</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 4.2. Definición de las variables de salida del sistema.....</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 4.3. Datos actuales del ariete hidráulico. ....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 4.4. Número de Reynolds y Joukowsky. ....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 4.5. Constante k de los materiales [30].....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 4.6. Rendimiento de un ariete hidráulico .....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 4.7. Propiedades del agua en la ciudad de Latacunga. ....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 4.8. Propiedades del aire en la ciudad de Latacunga. ....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 5.1. Potencia de la bomba.....</b>	<b>55</b>
<b>Tabla 5.2. Cálculo de volumen de agua en la tubería de entrega.....</b>	<b>55</b>
<b>Tabla 5.3. Presión mínima. ....</b>	<b>55</b>
<b>Tabla 5.4. Volumen de aire 1. ....</b>	<b>55</b>
<b>Tabla 5.5. Valores por ciclos.....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 5.6. Presión máxima.....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 5.7. Constante de material utilizado.....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 5.8. Celeridad. ....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 5.9. Resultado de sobrepresión .....</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 5.10. Resultado de sobrepresión .....</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 5.11. Resultado de sobrepresión .....</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 5.12. Fuerzas sobre las tapas.....</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 5.13. Fuerzas que intervienen en la sujeción 1. ....</b>	<b>61</b>
<b>Tabla 5.14. Fuerzas que intervienen en la sujeción 2. ....</b>	<b>62</b>
<b>Tabla 5.15. Fuerzas que intervienen en la sujeción 3. ....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 5.16. Parámetros para el diseño de ejes de la sujeción 3. ....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 5.17. Parámetros para el diseño de ejes de la sujeción 3. ....</b>	<b>64</b>

<b>Tabla 5.18. Parámetros para el diseño de ejes de la sujeción 3.</b> .....	<b>64</b>
<b>Tabla 5.19. Diámetros mínimos de ejes según norma ASME.</b> .....	<b>64</b>
<b>Tabla 5.20. Propiedades del acero ASTM A36.</b> .....	<b>66</b>
<b>Tabla 5.21. Propiedades físicas de la válvula check.</b> .....	<b>67</b>
<b>Tabla 5.22. Pérdidas locales del ariete hidráulico original.</b> .....	<b>79</b>
<b>Tabla 5.23. Pérdidas de carga</b> .....	<b>79</b>
<b>Tabla 5.24. Pérdidas locales ariete hidráulico.</b> .....	<b>79</b>
<b>Tabla 5.25. Pérdidas locales ariete hidráulico modificado.</b> .....	<b>80</b>
<b>Tabla 5.26. Altura de descarga.</b> .....	<b>81</b>
<b>Tabla 5.27. Rendimiento volumétrico ariete hidráulico original.</b> .....	<b>82</b>
<b>Tabla 5.28. Rendimiento volumétrico ariete hidráulico modificado.</b> .....	<b>84</b>
<b>Tabla 5.29. Presupuesto para la elaboración de la propuesta Tecnológica.</b> .....	<b>85</b>
<b>Tabla 5.30. Costos Indirectos</b> .....	<b>85</b>
<b>Tabla 5.31. Costos de Mano de Obra.</b> .....	<b>86</b>
<b>Tabla 5.32. Costos de producción</b> .....	<b>86</b>
<b>Tabla 5.33. Cálculo VAN del ariete hidráulico modificado.</b> .....	<b>87</b>
<b>Tabla 5.34. Cálculo TIR.</b> .....	<b>87</b>

## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

**TITULO:** “DISEÑO DE VÁLVULAS DE IMPULSO CHECK PARA BOMBA DE ARIETE MULTIPULSOR BÓXER DE DOS VÍAS DE CARGA HORIZONTAL”

**Autores:**

Bedón Velasco Edgar Abel

Navas Tubon Jefferson Stalin

### RESUMEN

La presente tesis está enfocada a producir cambios en las válvulas de muelle acopladas en la bomba de ariete hidráulico multipulsor bóxer de dos vías de carga horizontal a partir del bajo rendimiento volumétrico, hidráulico y mecánico, se procede a un análisis de componentes, variables y funcionamiento general, manteniendo en un mayor énfasis en las válvulas de impulsión, se designa las metodologías a partir del principio de funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico el cual se deduce en base al golpe de ariete originado por las válvulas de impulsión, la alternancia del fluido en movimiento y la determinación de energías para el accionamiento de bombeo, se implementa las metodologías de diseño mediante el software ANSYS y dimensionamiento de válvulas tipo check modificadas con un sistema de apertura ajustable, para mejorar los parámetros ya antes mencionados. Mediante la designación de variables obtenemos las ecuaciones estipuladas para los parámetros asignados, basados en el cálculo de la fuerza que proporciona el caudal dentro de la tubería siendo esta de (21,51 N) cuando golpea la cara interna de la tapa dimensionada a base de la norma API 594 y una selección de material ASTM A36, esta fuerza nos permite la simulación de un mecanismo externo ajustable analizada mediante un diagrama de cuerpo libre, al asimilar casos de prueba para verificar la mejor dimensión de eslabones por comparación de velocidades optando por la de mayor rendimiento siendo así la velocidad máxima de cierre y apertura de la válvula check es de 700 mm/s en ciclos de 0,2 segundos, el diámetro de tapa de 81mm presenta un periodo de cierre y apertura igual a 0.3 segundos. Las articulaciones identificadas como reacciones en el diagrama de cuerpo libre producen un movimiento periódico oscilatorio de la tapa generando una diferencia de rendimiento de 0,94 con respecto al anterior diseño para un caudal de entrada de  $0,005 \text{ m}^3/\text{s}$  se procede a la manufactura de este mecanismo luego de un análisis de tensiones, desplazamiento y factor de seguridad los cuales abarcan resultados favorables para su validación.

**Palabras clave:** Diseño, mecanismo, rendimientos, simulación, válvulas de impulsión.

## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

**TITLE:** “TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI TITLE: DESIGN OF IMPULSE CHECK VALVES FOR HORIZONTAL LOAD TWO-WAY BOXER MULTIPULSOR RAM PUMP”

**Autores:**

Bedón Velasco Edgar Abel

Navas Tubon Jefferson Stalin

### ABSTRACT

The present thesis is focused on producing changes in the spring valves coupled to the two-way horizontally loaded boxer multipulsor hydraulic ram pump, due to the low volumetric, hydraulic and mechanical performance, we proceed to an analysis of components, variables and general operation, keeping in a greater emphasis on the impulsion valves, methodologies are designated from the principle of operation of the hydraulic ram pump which is deduced based on the water hammer caused by the discharge valves, the alternation of the fluid in motion and the determination of energies for the pumping drive, design methodologies are implemented using ANSYS software and sizing of check valves modified with an adjustable opening system, to improve the aforementioned parameters. By means of the designation of variables we obtain the equations stipulated for the assigned parameters, based on the calculation of the force that provides the flow inside the pipe being this of (21.51 N) when it hits the internal face of the cover sized based on the API 594 standard and a selection of ASTM A36 material, this force allows us the simulation of an adjustable external mechanism analyzed by means of a free body diagram, The maximum closing and opening speed of the check valve is 700 mm/s in cycles of 0.2 seconds, the 81 mm diameter cover has a closing and opening period equal to 0.3 seconds, and the maximum closing and opening speed of the check valve is 700 mm/s in cycles of 0.2 seconds. 3 seconds. The joints identified as reactions in the free body diagram produce a periodic oscillatory movement of the cover generating a performance difference of 0.94 with respect to the previous design for an inlet flow rate of  $0.005 \text{ m}^3/\text{s}$ , we proceed to the manufacture of this mechanism after an analysis of stresses, displacement and safety factor which include favorable results for its validation.

**Keywords:** Design, mechanism, performances, simulation, impulse valves.

## AVAL DE TRADUCCIÓN



### *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 al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: “**DISEÑO DE VÁLVULAS DE IMPULSO CHECK PARA BOMBA DE ARIETE MULTIPULSOR BÓXER DE DOS VÍAS DE CARGA HORIZONTAL**” presentado por: **Bedón Velasco Edgar Abel** y **Navas Tubon Jefferson Stalin**, egresados de la Carrera de: **Ingeniería Electromecánica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, 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 aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Agosto del 2021

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'V. Sandoval Vizuete', written over a horizontal line.

-----  
**Msc. Vladimir Sandoval Vizuete**  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC**  
**CI:0502104219**



-----  
**MARCO PARRA**  
**BELTRAN**  
**SEMBLANTES**



**CENTRO**  
**DE IDIOMAS**

## **1 INFORMACIÓN GENERAL**

**Título:** DISEÑO DE VÁLVULAS DE IMPULSO CHECK PARA BOMBA DE ARIETE MULTIPULSOR BÓXER DE DOS VÍAS DE CARGA HORIZONTAL.

**Tipo de Proyecto:** Proyecto Tecnológico

**Fecha de inicio:** Mayo del 2021

**Fecha de finalización:** Agosto del 2021

**Lugar de ejecución:** Región Sierra, Provincia Cotopaxi, Cantón Latacunga, San Felipe – Laboratorios - Universidad Técnica de Cotopaxi.

**Facultad que auspicia:** Ciencias de la Ingeniería y aplicadas CIYA.

**Carrera que auspicia:** Ingeniería Electromecánica

**Proyecto de investigación vinculado:** Proyecto Formativo

### **Equipo de Trabajo:**

- Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; Dr. C.
- Navas Tubon Jefferson Stalin
- Bedón Velasco Edgar Abel

### **Área de 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 campos secundarios los siguientes códigos #3313 (Tecnología e Ingeniería Mecánicas) y # 3316. (Tecnología de Productos Metálicos), de tal forma que los subcampos detallados se especifican en la siguiente tabla:

ÁREA CONOCIMIENTO	SUBÁREA CONOCIMIENTO	SUBÁREA ESPECÍFICA CONOCIMIENTO
Campo Amplio  330000. Ciencias de la tecnología	Campo específico  3313. Tecnología E Ingeniería Mecánicas	<p style="text-align: center;">Campo Detallado</p> 3313.14 Máquinas-Herramienta y Accesorios.  3313.25 Bombas y Equipos Para Manipulación de Líquidos.
	Campo específico  3316. Tecnología de Productos Metálicos	<p style="text-align: center;">Campo Detallado</p> 3316.07 Productos Torneados y Mecanizados.  3316.08 Servicios de Fabricación de Productos Metálicos.  3316.09 Tubos, Válvulas y Accesorios de Montaje (Ver 3328.20).

**Línea de investigación:**

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Procesos Industriales

**Sublíneas 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.

**PROPUESTO POR:**

- Navas Tubon Jefferson Stalin
- Bedón Velasco Edgar Abel

## **DIRECTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA:**

- Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso; Dr. C.

## **TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA: Diseño**

## **2 INTRODUCCIÓN**

El planeta tierra está constituido en un 70% de recurso hídrico siendo fundamental para la vida y desarrollo de la agroindustria. Desde sus inicios el ser humano ha tenido la necesidad de utilizar los diferentes tipos de energía de una forma adecuada, siendo la energía hidráulica una de las más aprovechadas a nivel industrial, agrícola y en los diversos procesos productivos. Hoy en día una gran parte de la industria manipula maquinaria con energía hidráulica, sin embargo, esta fuente de energía tiene un problema con respecto a la transportación del agua, en Jerusalén desarrollaron los primeros sistemas de acueductos subterráneos; los mismos que eran utilizados para transportar agua hacia los cultivos.

El ariete hidráulico fue inventado en 1796 por Joseph Michel Montgolfier y se trata de un dispositivo barato que necesita poco mantenimiento para desempeñar un adecuado funcionamiento, el mantenimiento de este tipo de bombas radica específicamente en el rendimiento y consistencia de su sistema de acople tanto de válvulas como de las tuberías. Las válvulas utilizadas en un ariete hidráulico están encargadas de controlar el flujo de agua dentro de las tuberías permitiendo ejercer un golpe de ariete adecuado lo que lo hace especialmente apto para el uso en zonas montañosas, como los apriscos, o en aldeas que se encuentren elevadas con respecto a los suministros de agua [1].

### **2.1 El problema**

En la actualidad las energías renovables son las más utilizadas a nivel global en distintos procesos industriales, de tal forma que se clasifica a la energía hídrica como una de las principales potencias energéticas, se hace mención al aprovechamiento de la fuerza abrupta del agua para generar dicha energía, existen los diversos elementos, prototipos y maquinarias las cuales ejercen el proceso de proporcionar energía, se hace énfasis en un análisis del sector rural de Cotopaxi la mayor parte de la población es de escasos recursos debido a que el desarrollo económico está basado en la agricultura y ganadería, presentando dificultad para el riego en sus cultivos 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, se menciona el trabajo del ariete el cual aprovecha la energía hidráulica potencial gravitatoria del agua para la elevación de una porción de la misma, de tal forma que su correcta eficiencia depende de diferentes factores que radican principalmente en la consistencia y efectividad de sus válvulas.

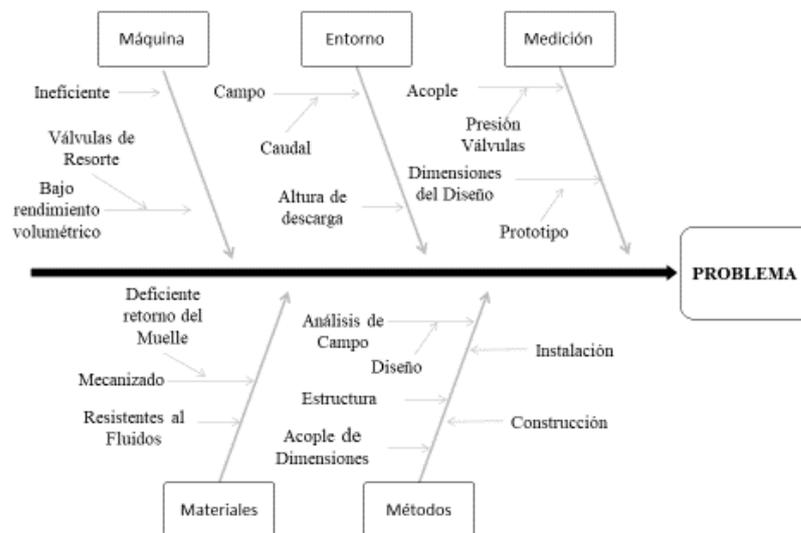
El ariete hidráulico estructurado presenta un proceso de golpe de ariete considerado un porcentaje muy bajo, de tal forma que la presión que se ejerce sobre las válvulas de muelle no abastece la sobrepresión requerida, el sistema que se propone realizar se ejecutará con válvulas de compuerta tipo check modificadas, las cuales aumentaran el golpe de ariete y por ende el rendimiento volumétrico de la bomba hidráulica. Entonces, este proyecto pretende realizar un diseño adecuado de unas válvulas de impulso tipo check de compuerta modificada y determinar su efecto sobre la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico.

### **2.1.1 Situación problemática**

Las bombas de ariete hidráulico se ha utilizado por más de dos siglos en muchas partes del mundo debido a su sencillez, fiabilidad y componentes que conforman para su eficiente funcionamiento, posee muchas cualidades como la utilización de energía renovable, la energía hidráulica y no es necesario algún tipo de combustible para su funcionamiento, la bomba de ariete está compuesta por distintos elementos los cuales hacen que su rendimiento sea eficiente dependiendo del caudal y el acople adecuado al entorno. 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 [2].

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, la eficiencia con la que trabajan el sistema de válvulas independientemente de su estructura y la generación de mayor caudal elevado ya que este parámetro de funcionamiento actúa de forma directamente proporcional a la eficiencia de la bomba, muchos de estos diseños son opacados por factores de mecanizado en el cual influye la consistencia de sus elementos siendo un punto principal las válvulas que controlan el golpe de ariete. En el Ecuador existen algunos estudios sobre sistemas de bombeo con Ariete Hidráulico y su mecanización para el

desarrollo rural integral, sin embargo, no se ha estudiado cómo aprovechar eficientemente el efecto del golpe de ariete esto dependiendo del aparcado de válvulas las cuales han estado ligadas constantemente a deformaciones y bajos rendimientos cuando su mecanización no cumple con los parámetros requeridos para que el ariete funcione correctamente, 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. 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, permitiendo de tal manera un estudio de optimización del mismo basado en el análisis de las válvulas que conforman su mecanismo.



**Figura 2.1.** Causa-efecto  
**Fuente:** Los postulantes

### 2.1.2 Formulación del problema

Bajo rendimiento volumétrico, hidráulico y mecánico en válvulas de impulso en el ariete hidráulico multipulsor bóxer de dos vías de carga horizontal.

## 2.2 Revisión bibliográfica y documental

En base a la redacción del tema propuesto se realiza la revisión y análisis de la documentación establecida anteriormente por autores que ejecutaron el diseño y la manufactura del ariete multipulsor bóxer de dos vías de carga horizontal. Establecemos que 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, de tal manera que se ejecuta 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.

Esta interpretación se expone a la simulación del diseño mediante software que validen su funcionamiento, mediante este método se deduce que 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.

Los análisis de variables que se efectúan de manera general en el ariete nos permiten la ejecución de manufacturar conforme señala las condiciones de funcionamiento expuestas por el diseño establecido.

## **2.3 Objeto y campo de acción**

### **2.3.1 Objeto de estudio**

Válvulas de impulso tipo check modificadas de compuerta para bomba de ariete hidráulico multipulsor boxer con dos vías de carga horizontal.

### **2.3.2 Campo de acción**

Tecnología e Ingeniería mecánicas basado en el estudio y diseño de la correcta mecanización y construcción de válvulas para bombas y equipos con manipulación de líquidos.

## **2.4 Beneficiarios**

### **2.4.1 Directos**

Laboratorios de pruebas facultad CIYA, Universidad Técnica de Cotopaxi

### **2.4.2 Indirectos**

Sectores Agroindustriales, zonas que aprovechan la energía hidráulica para el riego en sus productos, productores externos en base a pruebas de eficiencia de bombas de ariete hidráulico.

## **2.5 Justificación**

Realizando un minucioso análisis sobre el tema abordado es importante recalcar ciertos factores y tomar en cuenta que el estudio de bombas de ariete es realmente bajo, lo cual impide la evolución tecnológica en el ámbito de energías alternativas. En consecuencia, se presenta el siguiente proyecto consistente en el diseño de válvulas modificadas para un ariete hidráulico y su efecto sobre la dificultad que tienen las válvulas de muelle para poder ejecutar la función de presión y por ende el bajo rendimiento volumétrico que abastece a la cámara de reservorio, de este modo se analiza el proceso de diseño de válvulas modificadas tipo check con las que se pueda aplicar la mayoría de los factores en busca de optimizar los sistemas de bombeo a través del ariete el cual pretende aumentar la eficacia de las válvulas modificándolas a un sistema de articulaciones basadas en compuertas tipo check con carga. Cabe recalcar que existen flujos transitorios en el interior del ariete que pueden ser provocados de diferentes maneras, por ejemplo: por el operador del sistema, por un acontecimiento externo del agua, por la mala selección de una componente como las válvulas, por problemas que se generan de manera inadvertida y de forma lenta, entre otros sin fin de eventos que pueden ocurrir. Probablemente, la situación de peligro más común es la parada incontrolada de un grupo de bombeo debido a un fallo que generan las válvulas al no cumplir con las condiciones requeridas por el sistema.

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 las cuales se encargaran de evitar un posible retorno de agua como sucedía con las de muelle, ejecutando de esta forma una presión adecuada y al abrir su compuerta expulsar con eficiencia el componente hídrico de tal forma que el sistema optimizará un eficiente funcionamiento del ariete hidráulico.

## **2.6 Hipótesis**

Mediante el uso de válvulas de impulso tipo check modificadas en la bomba de ariete hidráulico multipulsor boxer de dos vías de carga horizontal, se mejorará la operatividad de impulso de agua, de tal forma que el ariete pudiese obtener un mayor rendimiento volumétrico, aprovechando el caudal requerido para la sobrepresión que ejercen el sistema de válvulas.

## 2.7 Objetivos

### 2.7.1 General

Diseñar las válvulas de impulso check mediante la simulación de un sistema de apertura ajustable, para la mejorar de rendimiento volumétrico de la bomba de ariete hidráulico multipulsor boxer de dos vías de carga horizontal.

### 2.7.2 Específicos:

- Analizar el funcionamiento de las válvulas existentes en la bomba de ariete multipulsor boxer de dos vías de carga horizontal.
- Realizar un análisis dinámico del mecanismo de cuatro barras para la válvula tipo check acoplada a la bomba de ariete.
- Simular el desplazamiento, tensión y factor de seguridad del mecanismo de válvula check.

## 2.8 Sistemas de tareas

Tabla 1: Sistemas de tareas del proyecto de Titulación

Objetivos	Actividades	Resultados de la actividad	Medio de Verificación
Analizar el funcionamiento de las válvulas existentes en la bomba de ariete multipulsor bóxer de dos vías de carga horizontal.	-Estudio del principio de funcionamiento de la bomba de ariete multipulsor boxer de dos vías de carga horizontal., ventajas, desventajas, rendimiento, funcionalidad y diseño de las válvulas propias de la bomba, mediante la consulta en fuentes bibliográficas y virtuales.	-Establecer las características especiales a mejorar en las válvulas de impulso de la bomba de ariete multipulsor boxer de dos vías de carga horizontal.	-Fichas bibliográficas Investigación experimental.
Realizar un análisis dinámico del mecanismo	-Establecer los métodos de cálculo considerando la modificación de	Especificaciones de funcionamiento.	Fichas bibliográficas.

de cuatro barras para la válvula tipo check acoplada a la bomba de ariete.	válvulas de impulso de apertura tipo check. -Dimensionamiento de las válvulas de impulso tipo check para su correcto diseño. -Análisis dinámico del mecanismo de la válvula.	Sistema de apertura ajustable. Dimensionamiento de las válvulas	Tablas y cálculos de las válvulas de impulso tipo check Cálculos y dimensiones de las bridas donde se ubican las válvulas modificadas de impulso check. Calculo de fuerzas y momentos.
Simular el desplazamiento, tensión y factor de seguridad del mecanismo de válvula check.	-Simulación de los mecanismos en un software CAD modificando sus longitudes. -Pruebas del funcionamiento modificando el tamaño de la tapa.	-Normas Internacionales de manufactura de válvulas. -Correcto funcionamiento del sistema de articulaciones mecánicas de la compuerta oscilante tipo check modificada.	-Planos de la válvula modificada tipo check. -Graficas de las simulaciones. -Estadísticas de la tensión, desplazamiento y factor de seguridad.

**Fuente:** Los postulantes

### 3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 3.1 Antecedentes

En este presente capítulo se detalla minuciosamente los conceptos principales sobre el funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico de dos vías con carga horizontal, de tal forma que se analiza sus componentes, estructura, sistema y principio de funcionamiento, realizando un mayor énfasis en sus válvulas de empuje según la presión ejercida y requerida por cada una de estas conforme se presenta el golpe de ariete, siendo el proceso de apertura para modificar el diseño de las válvulas tipo check y obtener un rendimiento volumétrico adecuado a la exigencia de la bomba de ariete, sintetizando de manera puntual el desarrollo de nuestro proyecto.

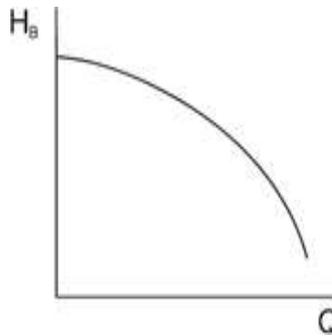
## 3.2 Sistemas para bombeo de agua

Un sistema dedicado al bombeo de un fluido tiene una serie de elementos como: tuberías, recipientes, válvulas, medidores, codos, etc; que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos.

Un sistema de ariete hidráulico es utilizado como una fuente de energía alternativa hidráulica, siendo el agua una fuente renovable de energía y al implementar este sistema de bombeo se produce una energía limpia, sin desechos tóxicos ni contaminantes [1].

### 3.2.1 Bombas hidráulicas.

Las bombas hidráulicas son utilizadas para incrementar la presión de un fluido dentro de tuberías o mangueras, para lo cual se debe añadir energía al sistema hidráulico y vencer las pérdidas existentes en el sistema y la diferencia de altura entre dos puntos.



**Figura 3.1.** Comportamiento de la presión [5].

Este tipo de bombas pueden clasificarse de diferentes maneras, en este documento se analizará la clasificación por su funcionamiento, entonces existen bombas volumétricas o de desplazamiento positivo y en bombas rotodinámicas.

### 3.2.2 Bombas volumétricas o de desplazamiento positivo

Las bombas volumétricas o también conocidas como de desplazamiento positivo agregan energía periódicamente mediante la aplicación de fuerza a unas aspas u otros elementos móviles para desplazar una cantidad deseada de volumen de fluido, lo que resulta en un incremento directo en la presión. Según sea el mecanismo de impulsión del líquido, se dividen en: alternativas y rotativas.

### 3.2.3 Bombas alternativas

Este tipo de bombas alternativas pueden ser de tipos: de émbolo o pistón y de diafragma. Las bombas que utilizan un émbolo o pistón para su funcionamiento constan de un cilindro de mayor o menor diámetro que se mueve por la acción de una biela, este mecanismo se encarga de comprimir el líquido en la cámara donde se encuentra. También existen válvulas de retención tanto en la tubería de admisión como de descarga, lo que genera un caudal fluctuante.

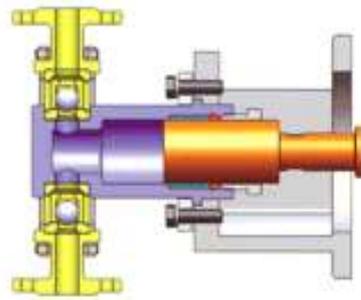


Figura 3.2. Bombas alternativas [5].

Muchas veces se instala una cámara de aire a la salida de este tipo de bomba para evitar las fluctuaciones excesivas que debido a los efectos de compresión y expansión del aire de su interior amortigua las oscilaciones del caudal. Otra forma muy frecuente consiste en utilizar émbolos que actúan por las dos caras (acción doble), de forma que cuando aspira, por un lado, está expulsando por el otro, se aprecia el efecto conseguido sobre el caudal.

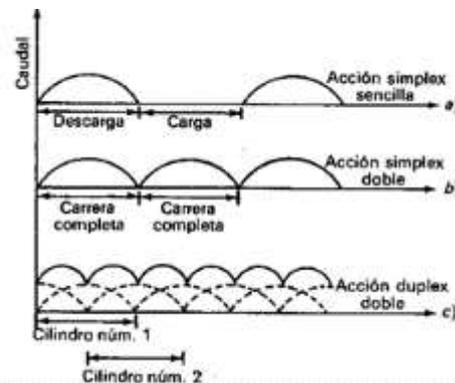


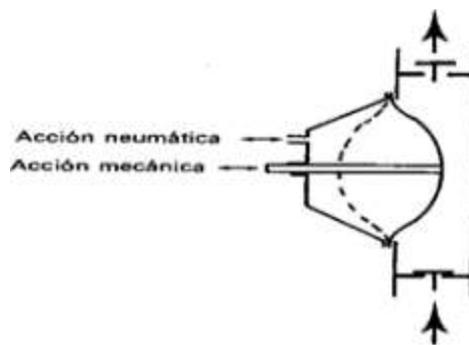
Figura 3.3. Función de la cámara de aire [5].

Para la impulsión de líquidos muy viscosos se deben utilizar este tipo de bombas ya sea con pistón o émbolo, debido al elevado esfuerzo cortante que se crea sobre las paredes del cilindro al paso del émbolo, lo que favorece la estanqueidad del conjunto; sin embargo, no se pueden

utilizar para bombear líquidos que contengan sólidos abrasivos, debido al daño que ocasionarían sobre las superficies pulidas del interior.

El rendimiento volumétrico de estas bombas es superior al 90%. El rendimiento mecánico oscila entre 40% y 50% para las bombas pequeñas, y 70%-90%, para las bombas grandes.

Las bombas de diafragma tienen un funcionamiento similar a las bombas de émbolo, pero con la diferencia que internamente están constituidas por una membrana flexible de materiales como caucho, metal o plástico. Su accionamiento puede ser mecánico o neumático [5].

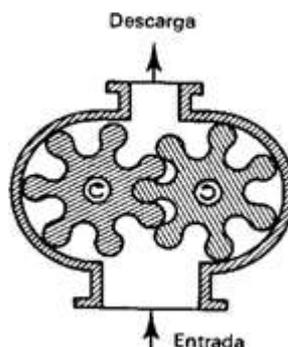


**Figura 3.4.** Bombas de diafragma [5].

### 3.2.4 Bombas rotatorias

Las bombas rotatorias como su nombre lo indica produce la rotación de un fluido a través de la acción de una o más piezas móviles en el interior de una cámara, desde una zona de baja presión hasta otra zona de alta presión donde está la salida. Una de las ventajas de este tipo de bomba es que no necesita válvulas de retención en las tuberías de carga y tampoco en la de descarga.

Según el órgano propulsor que mueve el fluido pueden ser: de ruedas dentadas, de lóbulos, de ruedas excéntricas, de paletas, de tornillo, de hélice salomónica y peristálticas [6].

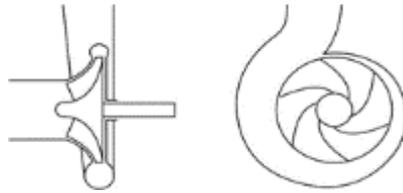


**Figura 3.5.** Bombas rotatorias [6].

### 3.2.5 Bombas rotodinámicas

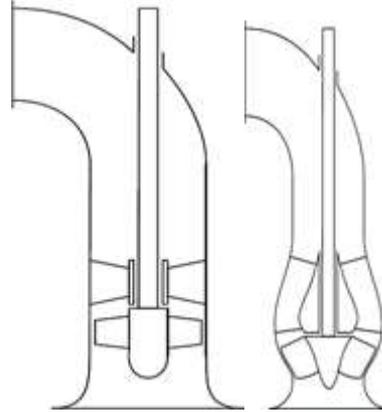
Las bombas rotodinámicas tienen la característica de incrementar la energía cinética de un fluido por medio de la deflexión y el efecto centrífugo que provocan los álabes del rodete, recuperando esta energía posteriormente en forma de presión. Dentro de este tipo de bombas se pueden distinguir los siguientes tipos: bombas radiales, axiales y mixtas.

Las radiales se les conoce comercialmente como bombas centrífugas y son aquellas que tienen un rodete impulsor y obliga al fluido a seguir una trayectoria perpendicular al eje [7].



**Figura 3.6.** Bombas rotodinámicas [7].

Las bombas axiales, son aquellas bombas cuyo fluido pasa por los canales de los álabes siguiendo una trayectoria contenida en un cilindro. Se emplea para mover grandes caudales con pequeñas alturas de elevación.



**Figura 3.7.** Bombas axiales [6].

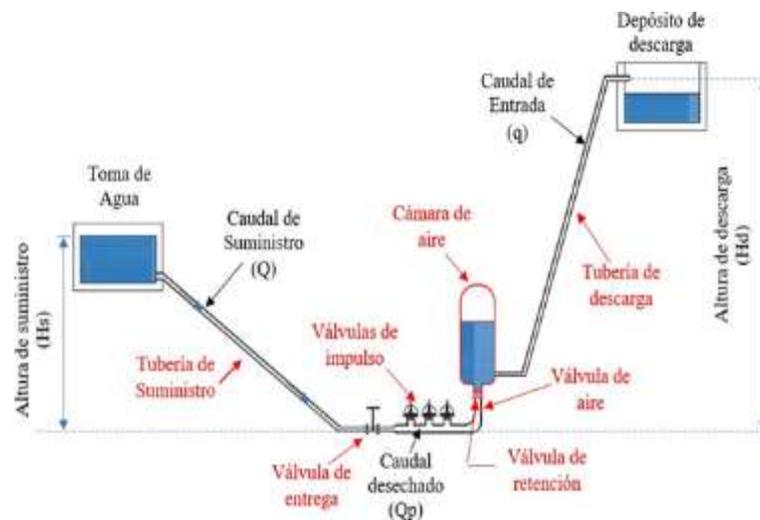
### 3.2.1 Bomba de ariete Hidráulico

Las bombas del tipo ariete hidráulico fueron inventados por John Whitehurst en el año de 1775 y patentado en 1796 por Joseph Montgolfier. Este tipo de mecanismo hidráulico es un sistema de impulsión que se caracteriza por aprovechar la energía potencial de un salto o desnivel de agua para elevar parte de su caudal a una altura superior, sin necesidad de ningún tipo de energía externa ni de combustible [3]. Este tipo de bomba proporciona una manera sencilla para subir

fluidos sin necesidad de otro tipo de energías, siendo adecuada para lugares en los que no hay acceso a algún tipo de motor o a la energía eléctrica en sí.

El funcionamiento de una bomba de ariete hidráulico consiste en obtener agua desde una toma ubicada en un sitio más alto que la bomba, el agua desciende por acción de la gravedad a un caudal determinado, una cantidad de caudal se desecha por las pérdidas ocasionadas por el material de las tuberías y una vez que el agua llega al ariete cierra las válvulas de impulso.

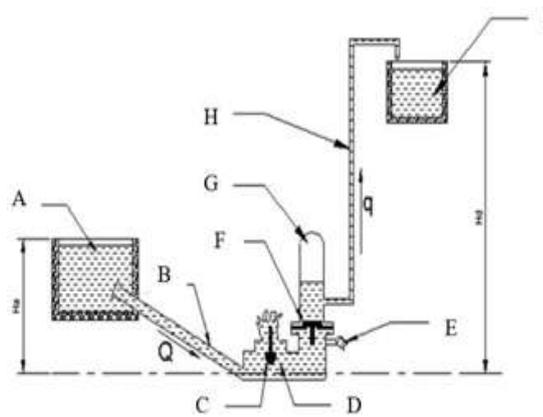
El cierre brusco de estas válvulas produce el efecto conocido como golpe de ariete, efecto que provoca una sobrepresión en la tubería de carga y genera la apertura de las válvulas tipo check y permite el paso de cierta cantidad de agua hacia el interior de la cámara de aire, comprimiéndolo para luego ser descargado por la tubería de salida con un diámetro menor al de la carga. De esta manera se crean las condiciones para que el proceso se convierta en cíclico. El aire comprimido continúa impulsando el líquido almacenado en ella por la tubería de descarga, logrando así una entrega de agua casi uniforme hacia el depósito de descarga [2].



**Figura 3.8.** Funcionamiento bomba de ariete [1].

### 3.2.2 Configuración de las bombas de ariete

Existen diferentes configuraciones para los arietes hidráulicos que dependen netamente del diseño, terreno, altura de bombeo, caudal de suministro, entre otros factores, sin embargo, el principio del funcionamiento sigue siendo el mismo [4].



**Figura 3.9.** Configuración [4].

*Hd*: Altura disponible entre la toma de agua y el punto más bajo del ariete.

*Hc*: Altura a la cual se eleva el agua, tomando como referencia el ariete.

A: Toma de agua o tanque de captación.

B: Tubería de alimentación o suministro.

C: Válvula de impulsión.

D: Caja de válvulas.

E: Válvula de aire.

F: Válvula de retención.

G: Cámara de aire.

H: Tubería de descarga.

I: Depósito de descarga.

### 3.2.3 Golpe de ariete

El fenómeno físico del golpe de ariete se genera a partir del redireccionamiento del fluido cuando se cierra súbitamente una válvula a lo largo de una sección de tubería.



**Figura 3.10.** Golpe de ariete [8].

Indicadores del efecto del golpe de ariete en las tuberías son el ruido y la sobrepresión que se produce al transmitir la energía cinética originada por el choque del fluido que retorna y el fluido que mantiene su dirección original.

Los fluidos que van en dirección contraria generan una onda de choque con velocidad aproximada a la del sonido que parten desde la válvula. Dicha onda detiene el fluido a su paso y convierte la velocidad inicial del fluido en un aumento gradual de presión [9].

### 3.2.4 Rendimiento del ariete

El rendimiento del ariete hidráulico representa el porcentaje de agua que se puede bombear en relación al 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 siguiente tabla puede verse cómo varía el rendimiento energético.

**Tabla 3.1.** Rendimiento de un ariete hidráulico [9].

<b>H/h</b>	=	2	3	4	6	8	10	12
<b>R</b>	=	0,85	0,81	0,76	0,67	0,57	0,43	0,23

### 3.2.5 El caudal elevado (q)

Depende del rendimiento (R), el caudal de alimentación (Q), el desnivel de trabajo (h) y la altura de elevación (H).

### 3.2.6 El caudal de alimentación (Q)

El ángulo de inclinación del tubo de alimentación (a) debe estar entre los 10° y los 45° con la horizontal. El caudal de alimentación del ariete dependerá del diámetro de dicho tubo de acometida. En la siguiente tabla se pueden ver relacionados estos parámetros, para tubería de hierro galvanizado, que es la más recomendable para alimentar arietes hidráulicos [10].

**Tabla 3.2.** Caudales de alimentación de un ariete [9].

<b>Caudal de alimentación</b>	<b>(Q) Lit/min</b>	<b>30</b>	<b>60</b>	<b>90</b>	<b>120</b>	<b>250</b>	<b>500</b>
<b>Diámetro del tubo</b>	<b>Pulgadas/mm</b>	<b>1¼"/35</b>	<b>1½"/41</b>	<b>2"/52</b>	<b>2½"/70</b>	<b>3"/80</b>	<b>5"/125</b>

### 3.2.7 Cuerpo del ariete hidráulico.

Los elementos más importantes del cuerpo de ariete hidráulico constan de una caja de válvulas que pueden estar formadas por varias tuberías y algunas conexiones en codo, una cámara de aire encargada de almacenar agua a presión, tuberías de salida y varias válvulas check, como se muestra en la siguiente figura [11].



**Figura 3.11.** Cuerpo de ariete hidráulico [11].

### 3.2.8 Válvula de impulso

La válvula de impulso es la más importante dentro de una bomba de ariete hidráulico, ya que una correcta selección y buen diseño de esta, garantizará la máxima eficiencia en el funcionamiento del dispositivo. Estas válvulas constituyen 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].

### 3.2.9 Válvula de entrega

Esta válvula es la encargada del paso del agua desde la caja de válvulas hasta la cámara de aire, también impide el 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].

### 3.2.10 Cámara de aire o campana

Es el dispositivo que regula el flujo de agua hacia la tubería de descarga, absorbe la sobrepresión 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.

### **3.2.11 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 [13].

## **3.3 Parámetros para diseño de bombas**

### **3.3.1 Locación de la bomba**

El lugar de instalación de la bomba de ariete hidráulico es muy importante debido a factores determinantes para el diseño de esta, debido a las necesidades en el caso específico para su funcionamiento.

### **3.3.2 Fuente de alimentación o reservorio**

La fuente de alimentación o agua debe ser continua por lo general se utiliza un río, 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 y la potencia generada por la misma, también determinará la altura máxima de salida que estará alrededor de 2 a 6 metros con respecto a la altura de entrada.

### **3.3.3 Tubería de suministro**

La tubería de suministro permitirá la entrada de agua al cuerpo de la bomba desde el tanque de suministro con la ganancia adicional de velocidad y resistir el efecto de martillo del impacto producido 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.

### **3.3.4 Tubería de entrega**

La tubería de entrega tiene la principal función de conducir al fluido hasta su descarga, puede componerse de elementos de acople como uniones, codos, neplos, etc. Además, se pueden unir varias tuberías para armar un tren de tubos que cumplan con la distancia establecida. El

diámetro de la tubería de entrega normalmente se calcula como la mitad del diámetro de la tubería de suministro.

### **3.3.5 Determinación de caudales**

La medición del caudal disponible ( $Q_d$ ) en la fuente de agua es muy importante especialmente en el período más seco del año, se recomienda aumentar la exactitud de esta medición cuando el caudal sea menor a 5 l/min. El caudal encontrado determinará el tamaño máximo del ariete que se puede instalar en esa zona. Sin embargo, se debe considerar también el caudal requerido ( $Q_r$ ) para los diferentes propósitos tanto en el ámbito agrícola como personal [3].

## **3.4 Válvulas en bombas de ariete.**

Una válvula se puede definir como un elemento mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación de líquidos o gases mediante piezas móviles que abren o cierran, de forma parcial o total, el paso del fluido. Las válvulas hay que entenderlas dentro del contexto de una instalación con tuberías, accesorios de unión y bombas. Una buena válvula debe diseñarse de manera que sus deformaciones debidas a las variaciones de temperatura y de presión, y las dilataciones de las tuberías conectadas, no deformen el asiento; su vástago y el collarín de los prensaestopas deben permitir poner con facilidad y con rapidez la empaquetadura, y los discos y los asientos deben estar diseñados y hechos con materiales que permitan que la válvula siga cerrando bien durante un periodo razonable de servicio activo. Controlar la presión: limitan la presión del circuito para protegerlo o para reducir la fuerza o el par ejercido por el cilindro o un motor rotativo; limitan la presión en una rama de un circuito a un valor inferior a la presión de trabajo del circuito principal; controlan la sucesión de operaciones entre dos ramas de un circuito [14].

### **3.4.1 Partes internas de una válvula**

Como partes internas se consideran las piezas metálicas internas desmontables que están en contacto directo con el fluido. Estas piezas son:

- El vástago
- La empaquetadora
- El collarín de lubricación en la empaquetadora
- Los anillos de guía del vástago
- El obturador

- Los asientos

Hay que señalar que el obturador y el asiento constituyen el corazón de la válvula al controlar el caudal gracias al orificio de paso variable que forman al variar su posición relativa, y que además tienen la misión de cerrar el paso del fluido.

### **3.4.2 Cuerpo de la válvula**

El cuerpo de la válvula debe resistir la temperatura y la presión del fluido sin pérdidas, tener un tamaño adecuado para el caudal que debe controlar y ser resistente a la erosión o a la corrosión producidas por el fluido. El cuerpo y las conexiones a la tubería están normalizados de acuerdo con las presiones y temperaturas de trabajo en las normas DIN y ANSI, entre otras. El cuerpo suele ser de hierro, acero y acero inoxidable y en casos especiales los materiales pueden ser de monel, hastelloy B o C, etc.

### **3.4.3 Tapas de válvulas**

La tapa de la válvula tiene por objetivo unir el cuerpo al accionador. Para que el fluido no se escape a través de la tapa es necesario disponer una caja de empaquetadura entre la tapa y el vástago. La empaquetadura ideal debe ser elástica, tener un bajo coeficiente de rozamiento, ser químicamente inerte y ser un aislante eléctrico, con el fin de no formar un puente galvánico con el vástago que dé lugar a una corrosión de partes de la válvula. La empaquetadora normal no proporciona un sello perfecto para el fluido.

### **3.4.4 Corrosión y erosión en las válvulas**

No hay actualmente ningún material que resista la corrosión de todos los fluidos, por lo cual en muchos casos es necesario utilizar materiales combinados cuya selección dependerá del medio específico donde deban trabajar. Cuando el material es caro o no adecuado, pueden utilizarse materiales de revestimiento, tales como plásticos, elastómeros, flúor, carbonos, vidrio, plomo y tantalio.

La erosión se produce cuando partículas en el seno del fluido chocan contra la superficie del material de la válvula. La posible presencia del fenómeno de erosión obliga a seleccionar el tipo y material del cuerpo y del obturador a fin de resistir, en particular en condiciones extremas de presión diferencial y de temperatura [15].

### **3.5 Tipos de válvulas para bombas de ariete.**

#### **3.5.1 Válvulas de apertura lenta**

Compuestas en general por un vástago de tornillo, el cual debe ser girado varias veces para abrir totalmente la compuerta. Permiten un tiempo de llenado de la cañería. Las válvulas de apertura lenta más usadas son esclusa, globo, Saunders, de aguja y de diafragma [16].

#### **3.5.2 Válvulas de apertura rápida**

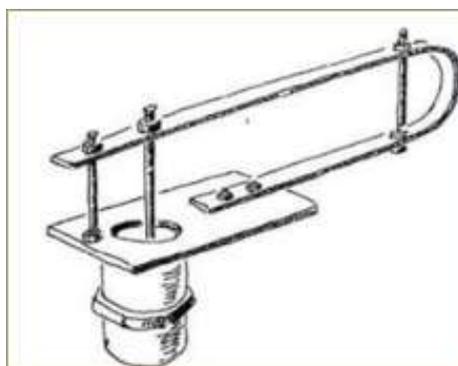
Son aquellas en las que un solo golpe produce el cambio total de su sentido. Generalmente casi todas estas válvulas pasan de totalmente cerradas a totalmente abiertas en 1/4 de vuelta (90). Las válvulas de apertura rápida más conocidas son macho tapón lubricado, de mariposa, de bola y de retención.

#### **3.5.3 Tipos de válvula de impulso**

Las válvulas de impulso son las más importantes de una bomba de ariete hidráulico ya que permite regular la cantidad de agua que puede ingresar en la cámara de aire, esta cantidad se puede lograr únicamente variando el golpe de la válvula.

#### **3.5.4 Válvula con resorte de platina**

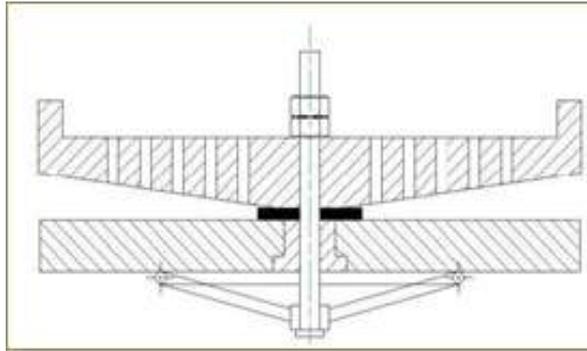
Este tipo de válvula se puede considerar de construcción artesanal ya que consta de materiales de fácil adquisición en el mercado como son tubos, planchas, platinas y pernos. A continuación, se muestra una imagen de esta válvula.



**Figura 3.12.** Válvula con soporte de platina [14].

#### **3.5.5 Válvula con plato perforado**

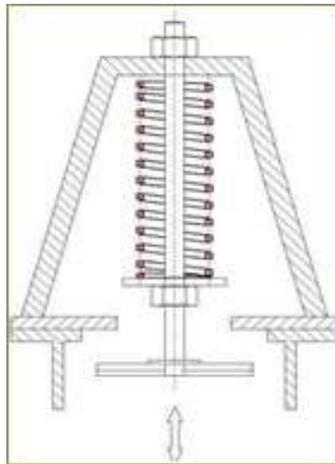
La válvula de plato perforado consiste en un plato perforado con una geometría variable de un material con alta flexibilidad, resistente al desgaste y con una alta tolerancia a la fatiga.



**Figura 3.13.** Válvula con plato perforado [14].

### 3.5.6 Válvula regulada con resorte

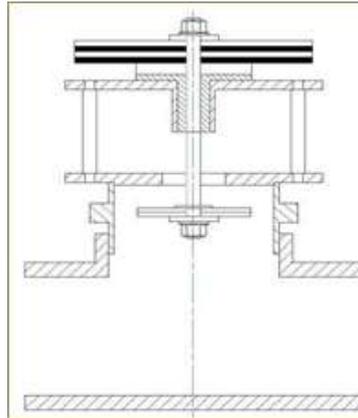
Este tipo de válvula regulada con un resorte es de alta complejidad, ya que requiere cálculos matemáticos muy precisos y una adecuada selección del coeficiente de Hooke para el resorte, además se debe determinar las fuerzas a las que estará sometida la válvula para obtener un correcto funcionamiento de la misma.



**Figura 3.14.** Válvula regulada con resorte [14].

### 3.5.7 Válvula con pesas encima

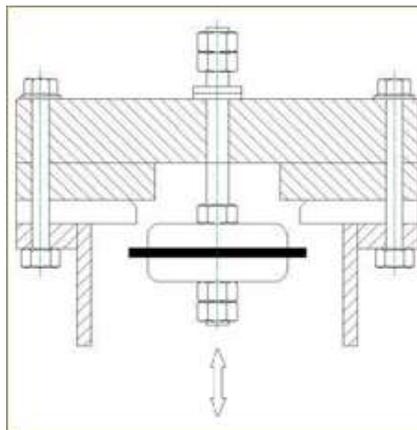
La válvula con pesas cuenta con una regulación de la carrera y la velocidad de cierre modificando únicamente el conjunto de pesas, la construcción de esta válvula es robusta. Pero la principal desventaja de esta válvula es que solo puede trabajar de forma vertical para que la gravedad actúe sobre las pesas.



**Figura 3.15.** Válvula con pesas superior [14].

### 3.5.8 Válvula con pesas debajo

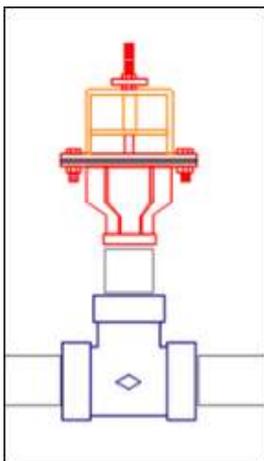
Al igual que las válvulas con pesas encima este tipo de válvulas tiene el mismo funcionamiento con la diferencia que las pesas están ubicadas en la parte inferior de la válvula. Es de construcción robusta y configuración sólida, como ventaja de esta válvula se puede considerar su capacidad para variar su carrera y la velocidad de accionamiento. Se debe instalar de forma vertical.



**Figura 3.16.** Válvulas con pesas inferior [14].

### 3.5.9 Válvula con pesas encima tipo Check

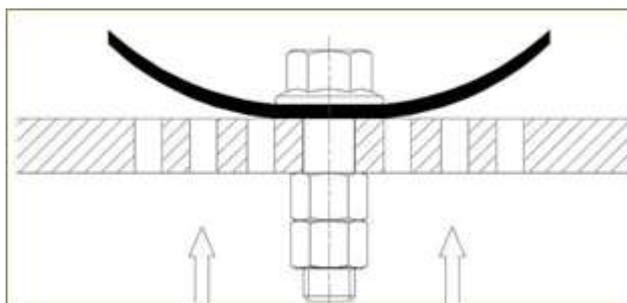
El diseño de este tipo de válvulas será considerado para el desarrollo del presente proyecto de tesis, el funcionamiento de la válvula tipo check tiene una similitud con la válvula con pesas encima; su construcción es robusta y le permite soportar un trabajo continuo. La principal desventaja que tiene este tipo de válvulas es que solo se puede instalar de forma vertical.



**Figura 3.17.** Válvula tipo Check [14].

### 3.5.10 Válvula de solapa

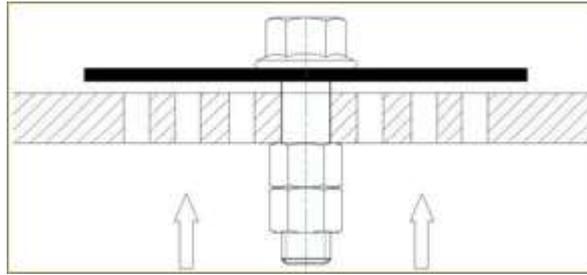
La válvula de solapa está compuesta de una tapa de goma sencilla fijada en el centro contra una placa plana perforada. El movimiento está restringido por el tipo y espesor del caucho utilizado. La cantidad de flujo que atraviesa el agujero en la placa de entrega está limitada por la resistencia del caucho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



**Figura 3.18.** Válvula de solapa [14].

### 3.5.11 Válvula tipo cabezal

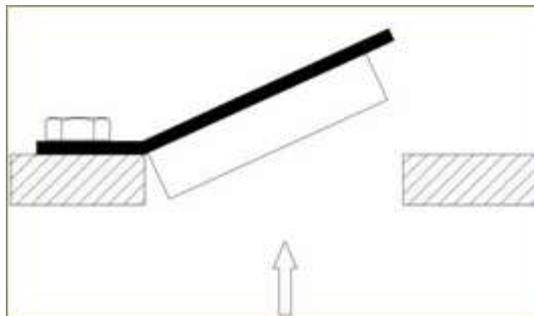
La válvula tipo cabezal utiliza un obturador de caucho muy rígido que sube y baja con un eje central. Este tipo de válvulas es muy utilizado en bombas de cabeza alta, aunque puede tener problemas de sellado en las bombas de cabeza baja. Una de las ventajas de esta válvula es que permite agujeros de gran diámetro en la placa de entrega. El agujero en la placa de entrega y el perno necesitan cuidado en el dimensionamiento para asegurar la facilidad del movimiento.



**Figura 3.19.** Válvula tipo cabezal [14].

### 3.5.12 Válvula de bisagra

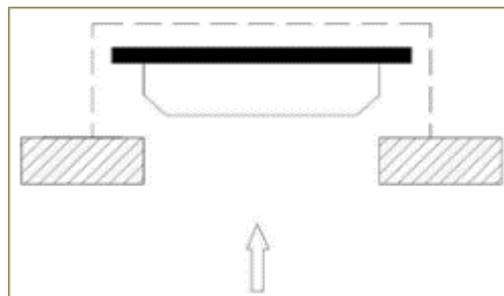
Esta válvula permite tener un agujero grande en la placa de entrega, minimizando la resistencia al flujo. Los materiales utilizados para la bisagra y el método de fijación son cruciales y con frecuencia causan problemas. La posibilidad de reflujo debido al cierre lento puede ser un problema.



**Figura 3.20.** Válvula de bisagra [14].

### 3.5.13 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. Es más difícil de fabricar, pero tiene las mismas características que la válvula de tipo cabezal



**Figura 3.21.** Válvula de disco suelto.

**Fuente:** [14]

### 3.5.14 Válvula de tapón

La válvula de tapón es una válvula de impulsos efectivamente invertida con la presión diferencial que tiene que superar el peso de la válvula con el fin de levantarla. 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.

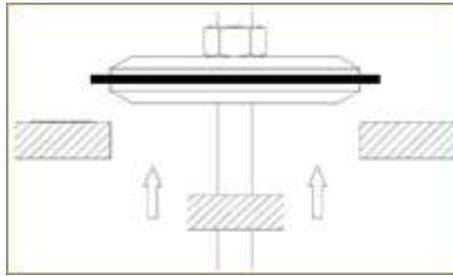


Figura 3.22. Válvula de tapón [14].

### 3.5.15 Válvula de tipo Check

Esta válvula tiene el mismo funcionamiento que la válvula de tipo tapón, con la diferencia que esta válvula tiene un cuerpo que protege a su sistema de funcionamiento. Se puede añadir un resorte si es necesario dictaminando que el mismo podría facilitar un cierre rápido, pero esto se suma a la presión requerida para abrir la tapa [14].

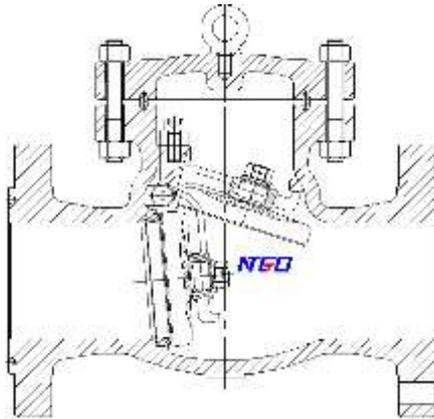


Figura 3.23. Válvula Check [14].

## 3.6 Principio de funcionamiento válvulas tipo check

Las válvulas check son sensibles al flujo y dependen de la corriente o presión de los fluidos. El disco interno permite el paso lo que hace que la válvula se abra, después, el mismo disco, comienza a cerrar la válvula mientras el flujo de agua se va reduciendo o retrocediendo,

dependiendo del diseño. La construcción de estos sistemas es simple, normalmente sus piezas son el cuerpo, asiento, disco y cubierta; ya dependiendo de otros diseños pueden incluir piezas como un pasador de la bisagra, brazo del disco, elastómero, cojinetes, entre otros.

El sellado interno de disco de la válvula y los asientos se apoyan en el retorno de los fluidos mientras se oponen a la fuerza mecánica usada en estos dispositivos. Gracias a esto, los elastómeros pueden ser considerados para manejar un medio de gas o aire, donde, compuestos químicos compatibles y la presión baja sellan.

### **3.6.1 Condiciones de funcionamiento de válvulas check**

De todos los factores que son importantes considerar para elegir el dispositivo más adecuado, los que más destacan son: la compatibilidad con el medio al cual estará expuesta (agua, gas, vapor, etc.); la clasificación de la válvula (ANSI); la medida de la línea; datos importantes del lugar en donde se instalará (flujo, diseño, condiciones generales); si es una instalación horizontal, vertical, inclinada; el fin de la conexiones; el tamaño de sitio donde se colocará, todo eso cobra mayor importancia si es un reemplazo para evitar modificaciones generales o grandes de todo el sistema; si es necesario contar con alguna fuga de escape y especificaciones especiales como la pureza del aire o de los fluidos, NSF, NACE, Ce Mark [17].

La válvula antirretorno tiene por objetivo lograr un flow arrow hacia la dirección por dónde va el flujo. De esta manera, el dispositivo puede funcionar de manera correcta.

Por lo tanto, es indispensable que antes de la instalación de una válvula check se tenga información precisa sobre el flow arrow para poder determinar su posición y sentido de funcionamiento. Esta información se encuentra en el cuerpo del dispositivo o en una etiqueta específica. Hay que tener en cuenta que instalar una válvula antirretorno en un punto crítico del sistema ayuda a la prevención del golpe de ariete.

### **3.7 Tipos de válvulas check de retención**

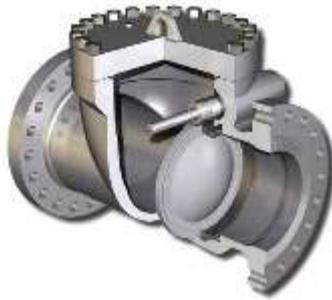
A la hora de instalar una válvula antirretorno, es necesario tener en cuenta las características de los diferentes tipos de estos dispositivos que se pueden encontrar en el mercado.

Existen muchos tipos de válvulas check hoy en día, las más populares son: de bola; de doble plato o doble puerta; asistido por resorte en línea o boquilla; de pistón o ascensor y de

oscilación. Cada una es especial para diferente situación o instalación, es buena idea preguntar a especialistas o asesores en la materia cual es la más recomendada para el sistema que queremos instalar:

### 3.7.1 De clapeta oscilante

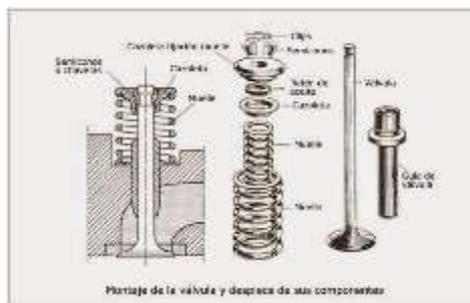
El obturador (en este caso la clapeta) tiene una “bisagra” que le permite oscilar libremente, cuando el agua intenta circular en sentido contrario cierra el obturador, por lo tanto, deben instalarse en horizontal para cerrar el paso del fluido cuando va en dirección no deseada.



**Figura 3.24.** Válvula de clapeta oscilante [17].

### 3.7.2 De muelle

Que no requieren de gravedad y, en cambio, disponen de un muelle que tiende a cerrar el obturador en caso de que no circule el fluido en el sentido adecuado.



**Figura 3.25.** Válvula tipo muelle [17].

### 3.7.3 Pistón

En las que un émbolo con un obturador se apoya sobre el anillo de cierre. El flujo de líquido levanta el émbolo y, cuando cambia de dirección, hace que se asiente sobre el anillo. Estas válvulas también tienen el émbolo accionado por un resorte, dado que son válvulas empleadas

en redes de abastecimiento o en industria se recomienda instalarlas en horizontal, el cuerpo de estas válvulas es similar a las válvulas de globo.



**Figura 3.26.** Válvula de pistón [17].

#### **3.7.4 Retención de bola**

En este tipo de válvulas, una bola se asienta sobre el anillo de cierre y se levanta cuando se extrae agua. Cuando acaba el proceso, la misma bola vuelve por acción de la gravedad a la posición de cierre [18].



**Figura 3.27.** Válvula de retención tipo bola [18].

### **3.8 Selección de válvulas de compuerta**

Algunos de los puntos que deben considerarse son la compatibilidad de fluidos, las características del caudal, la pérdida de carga, las condiciones del golpe de ariete y el coste total de la instalación. Para un rendimiento óptimo, es importante elegir la válvula respetando las características de cada instalación específica.

- **Fluido:** todas las válvulas de retención están diseñadas para trabajar con agua y aguas residuales tratadas, pero si se instalan para aguas residuales sin tratar pueden causar algunos problemas. Al seleccionar una válvula para estos fluidos, se debe considerar

que la presencia de sólidos puede afectar potencialmente el funcionamiento de la válvula.

- **Características del caudal:** si una válvula de retención se cierra muy rápido, puede evitar el retorno del flujo y el golpe de ariete. Sin embargo, el cierre rápido no protegerá contra las ondas de presión causadas por el arranque y apagado de las bombas. Si la válvula se abre (y se cierra) rápidamente, el flujo cambiará repentinamente, y muy probablemente, se producirán sobretensiones.
- **Pérdida de carga:** la pérdida de carga varía con la velocidad del fluido y se ve afectada por las condiciones de flujo del sistema y la superficie interna de la válvula. La geometría del cuerpo de la válvula y el diseño del sistema de cierre determinan el área de paso a través de la válvula y esto afecta también a la pérdida de carga.
- La pérdida de carga total es una combinación entre la pérdida de carga estática (causada por la diferencia de alturas) y la pérdida de carga por fricción (causada por el interior de las tuberías y válvulas). Hay una serie de fórmulas para el cálculo de la pérdida de carga y la clasificación de este tipo de válvulas. La más común es probablemente el coeficiente del caudal de agua que pasa por la válvula para una cierta pérdida de carga durante un determinado periodo de tiempo. Sin embargo, para las comparaciones, el coeficiente de resistencia  $K_v$  se considera la mejor opción.
- **Coste total de la instalación:** el coste de una válvula de retención puede consistir en algo más que el precio de compra. Para algunas instalaciones, los costes más importantes pueden ser la compra e instalación, pero en otros casos los costes de mantenimiento o energía pueden ser los más relevantes. Al considerar el factor económico como un criterio de selección para la válvula de retención, se deben tener en cuenta los costes totales a lo largo de la vida útil de la válvula. En general, cuanto más simple es la construcción de la válvula, menores son los requisitos de mantenimiento.
- **Condiciones para el golpe de ariete:** el cierre de la válvula de retención da como resultado un aumento de las ondas de presión en el sistema. El primer paso del proceso es cuando las bombas se detienen y el flujo se invierte, esto puede causar cierto retorno de flujo a través de la válvula antes de que llegue a una posición completamente cerrada [18].

### **3.9 Inclusión de válvulas tipo check bajo normativas.**

La elección de las válvulas está avalada por su inclusión en catálogos o certificación del fabricante donde figure el diseño, características constructivas y su funcionamiento, material de sus elementos y números de serie.

En la industria de las válvulas industriales, es necesario estandarizar ciertas características de las mismas, es por eso que diversas organizaciones internacionales emiten normas para que sean acatadas por los fabricantes alrededor del mundo, las principales son las siguientes:

1. American Society of Mechanical Engineers (ASME)
2. American National Standards Institute (ANSI)
3. Manufacturers Standardization Society (MSS)
4. American Petroleum Institute (API)
5. American Society of Testing Materials (ASTM)
6. American Water Works Association (AWWA)

ASME/ANSI B16.34 Estándar para válvulas y accesorios en bronce, cobre y acero.

ANSI/API 600 Estándar para válvulas y accesorios en el Campo Petrolero y Gas Combustible.

FM/UL Estándar para válvulas y accesorios en el Campo Petrolero y Gas Combustible.

API 603 Estándar para válvulas y accesorios en Líneas de Red Contra Incendio

ASTM D1785 Estándar para tubería PVC clase 40, 80, y 120, el espesor en función de la presión nominal.

#### **Normas emitidas por API (American Petroleum Institute: Instituto Americano del Petróleo)**

- API 594: Válvulas check: Bridadas, Lug, Wafer y extremos soldables. Cubre diseño, materiales, dimensiones cara a cara, presiones de trabajo y examinación, inspección y requerimientos de prueba.

- API 598: Inspección y prueba de válvulas: Inspección, examinación suplementaria y requerimientos de presión para pruebas para válvulas de asientos blandos y de asientos de metal, compuerta, macho, globo, bola, check y mariposa.
- API 600: Válvulas de acero de bonete atornillado para la industria del petróleo y del gas.
- API 602: Válvulas de compuerta compactas de acero: Bridadas, roscadas, soldables, y con cuerpo extendido. Medidas 4” y menores.
- API 609: Válvulas de Mariposa. Bridadas, Lug y Wafer. Diseño, materiales, dimensiones cara a cara, presiones de trabajo, examinación, inspección y prueba. • API 6D: Válvulas para líneas de conducción. Especifica requerimientos y proporciona recomendaciones para diseño, fabricación, prueba y documentación de válvulas de bola, retención, compuerta y macho [19].

**Normas emitidas por la ANSI (American National Standards Institute: Instituto Nacional Americano de Estandarización)**

- ASME/ANSI B16.5: Relación presión-temperatura para bridas de acero, materiales, dimensiones, tolerancia, marcaje y prueba.
- ASME/ANSI B16.10: Dimensiones cara a cara, para válvulas bridadas y con extremos soldables.
- ASME/ANSI B16.34: Criterios básicos para el diseño de válvulas. Dimensiones y tolerancias para fundir, forjar y fabricar válvulas. Relación presión-temperatura [20].

**Normas emitidas por la MSS (Manufacturers Standardization Society: Sociedad de Fabricantes para la Estandarización)**

- MSS-SP-6: Acabados para caras de contacto de bridas de válvulas, tubería y conexiones.
- MSS-SP-25: Sistemas de marcado para válvulas, conexiones, y bridas.
- MSS-SP-55: Inspección para fundición. Determina la calidad de la superficie de las partes fundidas.
- MSS-SP-91: Guía para la operación manual de válvulas [21].

**Norma Técnica Ecuatoriana INEN (Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización)**

- NTE INEN: 2574; 2011 Esta norma establece los requisitos que deben cumplir las válvulas de cuerpo de hierro con elementos de bronce incluidos las válvulas de

compuerta de vástago no ascendente con diámetros nominales NPS de 50 mm 1200 mm y válvulas de compuerta con vástago ascendente OS&Y con diámetros nominales desde NPS 50 mm 600 mm, ya sea de compuerta de doble disco con bases paralelas o inclinadas, o bien de compuerta de cuña sólida y los métodos de ensayo [22].

Se entenderá por válvula de retención el dispositivo de apertura o cierre automático al cesar el flujo de agua. El cierre es causado por la fuerza de la gravedad o un resorte.

**Tabla 3.3.** Normas para válvulas [22].

TIPO	CLAPETA
Norma de fabricación	ANSI/AWWA C508 pueden ser similares según el país de origen
Presión nominal	Conforme estipulado el rubro correspondiente
Cuerpo	Hierro dúctil ASTM A-536 Grados 65-45- 12
Obturador	Hierro dúctil ASTM A-536 Grados 65-45- 12
Asiento	Acero inoxidable AISI 304
Extremos bridados	Según ISO 7005-2

### 3.10 Manufactura general de válvulas para bombas de ariete

#### 3.10.1 Manufactura

Una manufactura es un producto elaborado de forma manual o con ayuda de una máquina. Por lo general el término se refiere al resultado de un proceso industrial que permite transformar una materia prima en un artículo ya elaborado o terminado. Para la producción de una manufactura, lo habitual es que sea necesario realizar una serie de pasos. Todo comienza con la obtención de la materia prima de su medio natural y concluye cuando el producto queda listo para su comercialización y/o uso [23].

#### 3.10.2 Marcas comunes en la industria

Se han definido como marcas finas y de competencia, gracias a los materiales usados, calidad, representación y garantía.

**Tabla 3.4.** Marcas de válvulas [23].

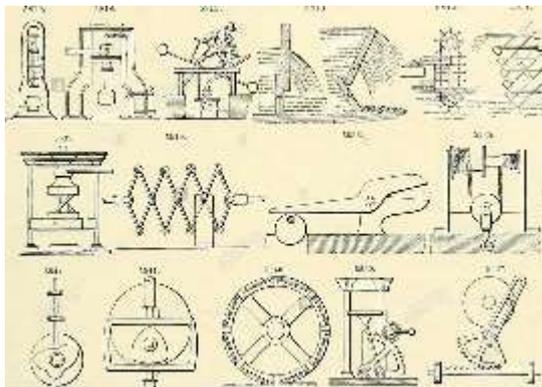
<b>Marcas Generales de Válvulas</b>				
PACIFIC	EDWARDS	PAVCO	AKITA	IAT
PEGLER	WALWORTH	POWEL	AVCO	JHON VALVE
CENTERLINE	VELAN	QKC	BONNEY	LUNKEN
DOUBLE LIN	CRANE	SKVAL	FORGE	HEIMER
GERFOR	CLOW	SPEARS	LZF	xOMOX
HEATON	DEZURIK	ALCO	MIPEL	KITZ
KENNEDY	DURCO	APOLO	MUELLER	HILTON

### 3.11 Mecanismos: articulaciones mecánicas

#### 3.11.1 Mecanismo

Un mecanismo es un conjunto de elementos rígidos, móviles entre sí mediante diferentes tipos de uniones, llamadas pares cinemáticos (pernos, uniones de contacto, pasadores, etc.), cuyo propósito es la transmisión de movimientos y fuerzas. Son las abstracciones teóricas del funcionamiento de las máquinas y de su estudio se ocupa la Teoría de mecanismos.

Los mecanismos transforman el movimiento producido por una fuerza motriz en un elemento conducido. Estos elementos mecánicos suelen ir montados sobre los ejes de transmisión, que son piezas cilíndricas sobre las cuales se colocan los mecanismos.



**Figura 3.28.** Historia de los mecanismos [9].

### **3.11.2 Articulaciones Mecánicas**

La articulación mecánica es un mecanismo por el que diferentes objetos se conectan entre sí, con objeto de compartir la fuerza o el movimiento que generan. Las conexiones entre ambos objetos se colocan para proporcionar por ejemplo un movimiento ideal de rotación pura o de deslizamiento.

El mecanismo de la articulación mecánica puede ser construido a partir de cadenas abiertas, cadenas cerradas, o una combinación de cadenas abiertas y cerradas. Cada eslabón de una cadena está conectado por una articulación de uno o más enlaces.

Las articulaciones mecánicas generalmente están diseñadas para transformar una fuerza de entrada y darle, mediante el movimiento, una nueva fuerza de salida que es lo que se desea conseguir. La proporción de la fuerza de salida a la fuerza de entrada se conoce como la ventaja mecánica de la articulación mecánica, mientras que la relación de la velocidad de entrada a la velocidad de salida se conoce como la relación de velocidad [24].

### **3.11.3 Usos de articulación mecánica**

En los mecanismos existen numerosos casos en los cuales es necesario transmitir un movimiento entre dos ejes que se encuentran formando un ángulo entre sí. El caso más sencillo es cuando el ángulo siempre está en el mismo plano, como en una bisagra, en que solo se produce un giro. Sin embargo, cuando son dos ejes entre los cuales se transmite un movimiento de rotación y que formen un ángulo, o no son continuos, esto solamente puede realizarse con una articulación mecánica.

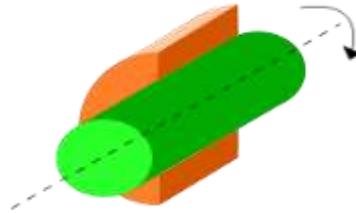
### **3.11.4 Tipos de articulaciones mecánicas**

Cuando dos sólidos están unidos mediante articulación el conjunto cinemáticamente el número de grados de libertad suprimidos por la articulación es como mínimo igual a la dimensionalidad del espacio. Es decir, en una estructura o mecanismo plano cada articulación suprime dos grados de libertad traslacionales. Mientras en una estructura tridimensional una articulación reduce al menos tres grados de libertad traslacionales y dependiendo del tipo de articulación alguno de los grados de orientación.

### **3.11.5 Articulación cilíndrica.**

Una articulación cilíndrica en tres dimensiones, que puede realizarse mediante un pasador cilíndrico, elimina tres grados de libertad traslacionales y dos grados de libertad de orientación,

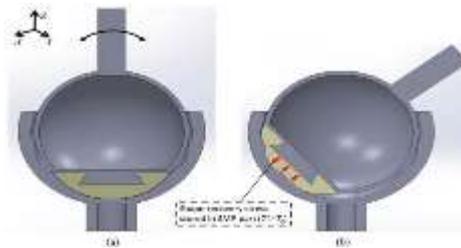
haciendo que los dos sólidos compartan un eje de giro común. En dos dimensiones no puede distinguirse entre articulaciones cilíndricas y esféricas, ya que en una estructura o mecanismo plano sólo se suprimen grados de libertad traslacionales.



**Figura 3.29.** Articulación cilíndrica [25].

### 3.11.6 Articulación esférica

Una articulación esférica o rótula esférica en tres dimensiones, obliga a que un sólido se mueva acopladamente con otro compartiendo un punto de común, pero sin restringir de ninguna manera la posibilidad de orientación de un sólido respecto al otro.



**Figura 3.30.** Articulación esférica [25].

### 3.11.7 Rótula fija

Este tipo de articulación de rótula fija ancla un sólido al suelo fijo o "bancada" y elimina completamente todos los grados de libertad traslacionales, pero sin restringir la orientación respecto al suelo o bancada.



**Figura 3.31.** Rótula fija [25].

### 3.11.8 Rótula deslizante

Una unión deslizante de piezas es una articulación que permite tener un movimiento completo de orientación geométrica de un eje sólido con respecto al suelo o bancada.

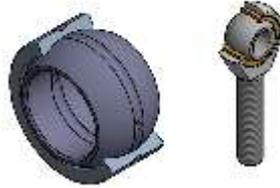


Figura 3.32. Rótula deslizante [25].

## 3.12 Máquinas - herramientas de manufactura

### 3.12.1 Proceso de Manufactura

Los procesos de manufactura permiten transformar un material o pieza metálica de un estado inicial determinado hasta un estado más avanzado o terminado. En este proceso se puede agregar valor económico a dicha pieza, cambiar su geometría y las propiedades fisicoquímicas del material de partida o materia prima [25].

### 3.12.2 Clasificación de los procesos de Manufactura

La siguiente imagen muestra la organización de los procesos en categorías.

P R O C E S O S  D E  M A N U F A C T U R A	1ª categoría	2ª categoría	Proceso
	CONFORMACIÓN POR DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL	MAQUINADO	TORNEADO
CONFORMACIÓN FORZADA	TALADRADO		
	FRESADO		
	CEPILLADO		
	ASERRADO		
	MANDRINADO		
	BROCHADO		
	[DE ENGRANAJES]		
	[ESCOPLEADO]		
	COMPLEMENTARIOS		ENBUTIDO PROF
		LAMINADO	
FORJADO			
EXTRUSIÓN			
TREFILADO			
PULVIMETALURGIA		ALEAC. ESPECIALES	
CONFORMACIÓN TÉRMICA		FUNDICIÓN	
MATERIALES SINTÉTICOS		SOLDADURA	
DUREZA		EXTRUSIÓN	
ACABADOS		SOPLADO	
ENSAMBLES	TRATAMIENTOS TÉRMICOS		
		SUPERFICIES	
		ARMADOS	

Figura 3.33. Procesos de manufactura [26].

### 3.12.3 Máquinas convencionales

Existe una enorme cantidad de máquinas que sirven para facilitar y hacer más cómodo el trabajo del ser humano, las herramientas más comunes son las de corte específico. Se da el nombre a máquinas que trabajan en frío a diferentes materiales entre ellos a los metales, con el objetivo primordial de dar forma o producir un objeto con medidas específicas.[26]

En la figura 3.36, muestra el movimiento de corte y establece algunas clasificaciones:



Figura 3.34. Máquinas herramientas [27].

Entre las máquinas más comunes o empleadas para la manufacturación tenemos el torno y la fresadora, por el motivo que dichas máquinas nos permite realizar mecanizados de diversas formas las cuales nos especifica la figura 3.36.

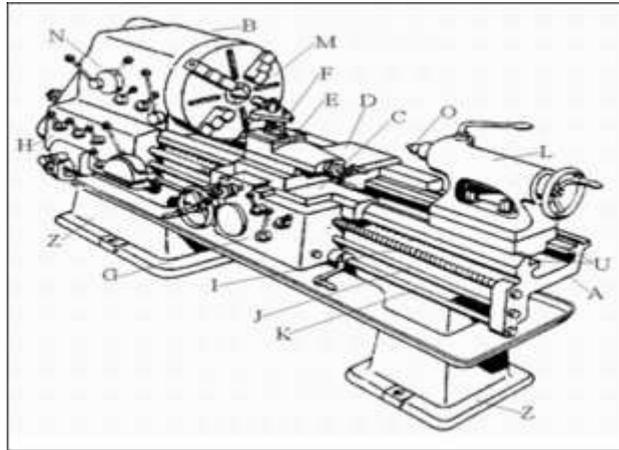
### 3.12.4 Herramientas para la fabricación de válvulas.

Las herramientas que utilizamos son varias, principalmente las de corte ya que necesitamos para desbastar el material no deseado, cilindran las articulaciones, para tener nuestra pieza en forma adecuada también las herramientas de unión por soldadura. A continuación, se definirán las herramientas para la fabricación de las válvulas.

### 3.12.5 Torno

El torno es una máquina que tiene un eje giratorio con unas mordazas instaladas que permiten sujetar piezas metálicas, especialmente cilíndricas. El útil puede moverse paralela o perpendicularmente a la dirección de giro, para obtener piezas con partes cilíndricas o cónicas,

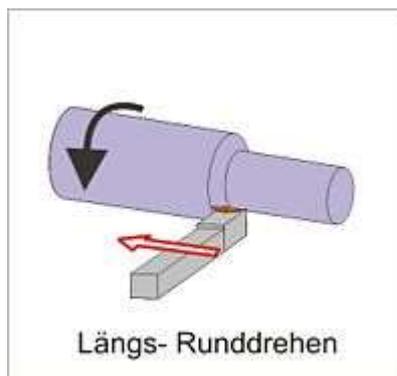
o para cortar acanaladuras. Empleando útiles especiales un torno puede utilizarse también para obtener superficies lisas, como las producidas por una fresadora, o para taladrar orificios en la pieza.



**Figura 3.35.** Torno [27].

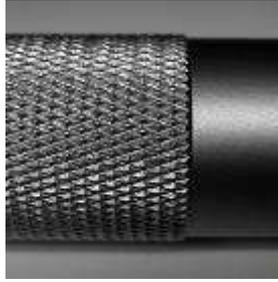
### 3.12.6 Operaciones de trabajo en el torno.

**Refrentado:** El refrentado se utiliza para realizar un mecanizado frontal y perpendicular al eje de una pieza metálica, a esta operación también se la conoce como fronteado.



**Figura 3.36.** Esquema de refrentado de torneado cilíndrico [28].

**Moletado:** El moletado es una operación realizada en un torno y tiene como objetivo principal generar superficies ásperas o rugosas principalmente para facilitar la sujeción de la mano. Esta operación se realiza generalmente sobre superficies cilíndricas y evita en gran medida el resbalamiento.



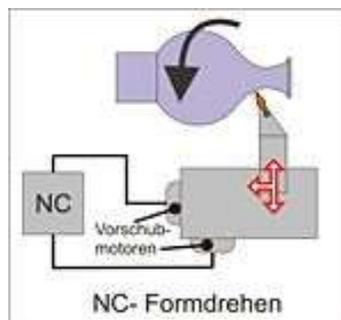
**Figura 3.37.** Pieza moleteada [28].

**Taladrado:** En el torno se pueden acoplar otro tipo de herramientas con el objetivo de realizar huecos cilíndricos en las piezas deseadas, estas herramientas adicionales pueden ser brocas, contrapunto, portabrocas, entre otras.



**Figura 3.38.** Contrapunto para taladros [28].

**Torneado esférico:** Los tonos CNC (Control Numérico Computarizado por sus siglas en inglés) sirven para realizar este tipo de operaciones debido a que se pueden programar las medidas y activar la función de mecanizado radial.



**Figura 3.39.** Esquema funcional torneado esférico [28].

**Chafado:** Existen piezas que después de un proceso de maquinado tienen cantos exteriores y muchas veces internos y para evitar cortes de la pieza se utiliza operaciones de chafado.



**Figura 3.40.** Proceso de chaflanado [28].

### 3.12.7 Amoladora.

Una de las herramientas más utilizadas dentro de un taller mecánico es la denominada como amoladora, esta herramienta gira un disco a revoluciones muy altas, requiere del acople de un disco de corte que a su vez puede ser elegido de acuerdo a diferentes trabajos de bricolaje [27].



**Figura 3.41.** Velocidad angular y velocidad lineal o tangencial [27].

## 3.13 Soldadura

El proceso de soldadura sirve para unir o fijar dos o más piezas de metal mediante calor o presión, es decir, se requiere fundir las dos partes de dichas piezas o se añade un material de aporte.

### 3.13.1.1 Soldadura TIG

Las soldaduras TIG (Tungsten Inert Gas por sus siglas en inglés) necesitan de un material de aporte externo, en este caso se usa barras de tungsteno para unir dos piezas de metal. Dentro de las aplicaciones más importantes de este tipo de soldadura tenemos la de acero inoxidable 304.

### 3.13.2 Soldadura MIG

La soldadura MIG (Metal Inert Gas por sus siglas en inglés) es un proceso industrializado muy productivo y utiliza un gas inerte para generar una capa de protección para el material de porte, este tipo de soldaduras pueden aplicarse en piezas de espesores desde 0,7 a 6 mm.

### 3.13.3 Soldadura por arco eléctrico

Este tipo de soldadura consiste en la formación de un arco eléctrico entre el electrodo y una pieza de metal, durante este proceso se funde el electrodo sobre la pieza aportando metal y uniendo los metales o rellenando fisuras sobre la superficie del metal [29].

### 3.13.4 Selección del tipo de tipo de soldadura

Para realizar la correspondiente selección de la soldadura, debe tener en consideración parámetros básicos, tal como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 3.5.** Tipos de soldadura [29].

Tipos de soldadura	Parámetros de Selección					
	Resistencia	Uso de operación	Penetración	Acceso al equipo	Costo (por cordón)	TOTAL
TIC	5	5	5	5	5	25
MIG	4	4	4	4	4	20
Eléctrica	4	5	5	5	4	24

Se puede apreciar que la suelda TIC tiene un valor de 25, mismos son usados con todos los metales soldables, como el acero inoxidable, seguida de la suelda eléctrica donde dichas soldaduras son mejores en el aspecto de costo por cordón.

## 4 MATERIALES Y MÉTODOS

Esta sección está inclinada a deducir los métodos, materiales y cálculos que se requieren para modificar las válvulas de carga horizontal del diseño de un ariete hidráulico ubicado en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Se debe considerar que el ariete hidráulico

multipulsor dispone de dos vías horizontales en las mismas que se instalara dos válvulas tipo check.

#### 4.1 Definición de variables

**Tabla 4.1.** Definición de las variables del sistema.

<b>VARIABLES DE ENTRADA (Parte hidráulica)</b>			
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>		<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo/</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo/</b>
	<b>Magnitud</b>		<b>Magnitud</b>
<b>Ángulo de inclinación del conducto</b>	$\Theta$ [°]	Tiempo de cierre de válvula	T [s]
<b>Área anular de la válvula de impulsión</b>	A [m <sup>2</sup> ]	Coefficiente de arrastre	Cd
<b>Longitud del conducto de impulsión</b>	L [m]	Celeridad de onda	a [m/s]
<b>Altura de alimentación</b>	H <sub>a</sub> [m]	Presión mínima	P <sub>min</sub> [Pa]
<b>Reynolds</b>	Re	Pulso de Joukowsky	$\Delta p$ [Pa]
<b>Velocidad de flujo de cada válvula</b>	v [m/s]	Fuerzas hidráulicas sobre la Válvula	F <sub>d</sub> [N]
<b>Factor de fricción</b>	$\lambda$	Sobrepresión máxima	H <sub>máx</sub> [m]
<b>Rugosidad relativa</b>	$\epsilon_r$	Sobre presión	$\Delta H$ [m]
<b>Caudal circulante</b>	Q [m <sup>3</sup> /s]	Sobre presión	P <sub>máx</sub> [Pa]
<b>Pérdidas por rozamiento en la tubería de alimentación</b>	h <sub>roz</sub> [m]	Presión mínima	H <sub>min</sub> [m]
<b>Periodo</b>	T [s]		
<b>Caudal perdido</b>	Q <sub>p</sub>		
	[m <sup>3</sup> /ciclo]		
<b>Presión de entrada al ariete</b>	P <sub>1</sub> [Pa]		
<b>Caudal bombeado</b>	Q <sub>b</sub>		
	[m <sup>3</sup> /ciclo]		

En la siguiente tabla se muestran las unidades correspondientes a las variables de entrada y salida del ariete hidráulico instalado en la ciudad de Latacunga, también se muestran los símbolos utilizados durante la redacción de este documento.

**Tabla 4.2.** Definición de las variables de salida del sistema.

<b>VARIABLES DE SALIDA (Parte mecánica)</b>	
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo / Magnitud</b>
<b>Tensión admisible a la tracción</b>	$\sigma_{adm.trac}$ [kgf/cm <sup>2</sup> ]
<b>Área de aplicación de los pernos</b>	A [cm <sup>2</sup> ]
<b>Área de corte</b>	A <sub>cort</sub> [m <sup>2</sup> ]
<b>Número de pernos</b>	n
<b>Fuerza aplicada</b>	F [N]
<b>Fuerza sobre los pernos</b>	F [kgf]
<b>Tensión admisible de cizallamiento</b>	$\sigma_{adm}$ [kgf/cm <sup>2</sup> ]
<b>VARIABLES DE EVALUACIÓN DE EFICIENCIA</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo / Magnitud</b>
<b>Rendimiento de Rankine</b>	$\eta_R$ [%]
<b>Potencia útil</b>	Nu [W]
<b>Rendimiento Volumétrico</b>	$\eta_v$ [%]
<b>Pérdidas por fricción en el conducto vertical</b>	h <sub>roz</sub> [m]
<b>Rendimiento de D`Aubuisson</b>	$\eta_\lambda$ [%]
<b>Potencia absorbida</b>	Nb [W]
<b>Rendimiento</b>	$\eta$ [%]
<b>Pérdidas locales en el conducto vertical</b>	h <sub>loc</sub> [m]
<b>Altura desarrollada por el ariete</b>	Hi [m]
<b>Pérdidas inerciales en el conducto vertical</b>	h <sub>iner</sub> [m]

#### 4.2 Parámetros actuales del ariete hidráulico

El ariete hidráulico multipulsor fue desarrollado en un trabajo previo de ingeniería y fue instalado en los laboratorios de la universidad, en este caso se utilizó dos válvulas tipo muelle con los siguientes datos de funcionamiento.

**Tabla 4.3.** Datos actuales del ariete hidráulico.

Tubería de alimentación		Tubería de descarga	Caudales		Máxima descarga
Diámetro (mm)	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal alimentación mínimo (l/min)	Caudal de bombeo mínimo (l/min)	Altura (m)
81.2	12	22.8	300	35.5983	18.22

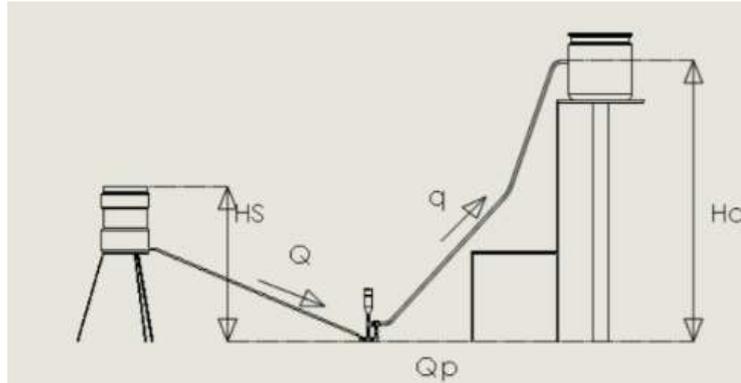
El número de Reynolds para comprobar el régimen turbulento se muestra a continuación conjuntamente con el pulso de Joukowsky.

**Tabla 4.4.** Número de Reynolds y Joukowsky.

<b>Numero de Reynolds</b>		
131186.7	Adimensional	
<b>Pulso de Joukowsky</b>		
$\Delta p$	928437.6281	Pa

### 4.3 Potencia de la bomba de ariete

La potencia requerida para que una bomba tipo ariete pueda elevar un fluido es proporcional a la tasa de flujo de agua multiplicado a su vez por la altura de descarga y el peso específico del agua.



**Figura 4.1.** Funcionamiento válvula de Ariete [8].

La potencia de un ariete hidráulico se calcula con la siguiente fórmula:

$$P = \gamma \cdot q \cdot H_d \quad (4.1)$$

P: potencia (W)

$\gamma$ : Peso específico del agua  $\left(\frac{N}{m^3}\right)$

q: Caudal de descarga  $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

$H_d$ : Altura de descarga (m)

#### 4.4 Fuerza de arrastre sobre la válvula de impulso

Existe una fuerza originada cuando un fluido acelera lo suficiente para cerrar la válvula check de impulso, esta fuerza genera este cierre según E. J. Shiller la formula se describe así:

$$F_a = C_a \cdot A_v \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{g} \quad (4.2)$$

$F_a$ : Fuerza de arrastre sobre la válvula de impulso (Kg)

$C_a$ : Coeficiente de arrastre.

$A_v$ : Área de sección transversal de la válvula de impulso ( $m^2$ )

$\rho$ : Densidad del agua  $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$

V: Velocidad del fluido  $\left(\frac{m}{s}\right)$

g: Gravedad  $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

#### 4.5 Velocidad de cierre de la válvula de impulso

Para obtener la velocidad con la cual se cierra la válvula de impulso se utiliza la siguiente ecuación:

$$U_c = 0.135 \cdot C_{vi} \quad (4.3)$$

$U_c$ : Velocidad de cierre de la válvula de impulso

$C_{vi}$ : Carrera de la válvula de impulso.

#### 4.6 Volumen de agua en la tubería de entrega

El volumen que entrega la tubería de descarga debe ser calculado de la siguiente manera y debe ser igual al volumen total de la cámara de agua.

$$V_{te} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot H_d \quad (4.4)$$

$V_{te}$ : Volumen de agua contenida en la tubería de entrega ( $m^3$ ).

$d$ : Diámetro interno en la tubería de entrega ( $m$ ).

$H_d$ : Altura de entrega ( $m$ ).

#### 4.7 Cálculo de la presión mínima

Para realizar el cálculo de la presión mínima de bombeo se debe considerar únicamente la altura de descarga y el peso específico del agua [30].

$$P_m = H_d \cdot \gamma \quad (4.5)$$

$P_m$ : Presión mínima ( $KPa$ )

$H_d$ : Altura de descarga ( $m$ )

$\gamma$ : Peso específico del agua ( $\frac{N}{m^3}$ )

#### 4.8 Cálculo de la presión máxima

La presión máxima se obtiene calculando en primera instancia el volumen inicial de aire que se encuentra en la cámara y considerando que la cámara contiene un 10% de agua antes de iniciar su funcionamiento.

$$V_{1\text{aire}} = V_{ca} - V_{\text{agua}} \quad (4.6)$$

$V_{1aire}$ : Volumen inicial de aire en la cámara ( $m^3$ )

$V_{ca}$ : Volumen total de la cámara de aire ( $m^3$ )

$V_{agua}$ : Volumen inicial de agua 10% del volumen total

El volumen que entrega la bomba por cada uno de los ciclos de apertura y cierre de las válvulas se calcula con la siguiente fórmula.

$$V_{ciclos} = \frac{q}{f} \quad (4.7)$$

$V_{ciclos}$ : Volumen de agua que la bomba entrega por ciclo ( $m^3$ )

$q$ : Caudal de entrega ( $\frac{m^3}{s}$ )

$f$ : Golpes por minuto del ariete ( $\frac{ciclos}{min}$ )

$$V_{2aire} = V_{1aire} - V_{ciclo} \quad (4.8)$$

$V_{2aire}$ : Volumen dos de aire en la cámara ( $m^3$ )

$V_{1aire}$ : Volumen inicial de aire en la cámara ( $m^3$ )

$V_{ciclo}$ : Volumen de agua que la bomba entrega por ciclo ( $m^3$ )

$$P_m \cdot V_{1aire} = P_M \cdot V_{2aire} \quad (4.9)$$

$P_M$ : Presión máxima (KPa)

#### 4.9 Cálculo de celeridad

La celeridad es la propagación de una onda de presión a través de un fluido contenido en una tubería, esta fórmula depende directamente de la compresibilidad del fluido o agua y de las características geométricas y mecánicas de conducción. La ecuación propuesta por Allievi se muestra a continuación:

$$C = \frac{9900}{\sqrt{4.83 + k \frac{D}{e}}} \quad (4.10)$$

El módulo de elasticidad  $\varepsilon$  utilizado en la tubería sirve para calcular la constante  $k$ , esta fórmula representa el efecto de la inercia de la bomba y se calcula de la siguiente manera:

$$k = \frac{10^{10}}{\varepsilon} \quad (4.11)$$

$D$ : Diámetro interno de la tubería.

$e$ : Espesor de la tubería.

En la siguiente tabla se muestran los principales valores de  $k$  para la celeridad dependiendo del material de la tubería utilizada [30].

**Tabla 4.5.** Constante  $k$  de los materiales [30].

Material de tubería	$\varepsilon$ ( $kg/m^2$ )	K
Hierro y acero	$2 \cdot 10^{10}$	0.5
Fundición	$10^{10}$	1
Hormigón	$2 \cdot 10^9$	5
Fibro cemento	$1.85 \cdot 10^9$	5.5
PVC	$3 \cdot 10^8$	33.3
PE baja densidad	$2 \cdot 10^7$	500
PE alta densidad	$9 \cdot 10^7$	111.11

#### 4.10 Sobrepresión

La sobrepresión es una condición que puede suceder dentro de la tubería y consiste en superar la presión máxima admisible, esta condición puede ocasionar graves daños en la tubería y los accesorios. La fórmula de Joukovsky sirve para determinar la sobrepresión en una bomba de ariete hidráulico.

$$P = \rho \cdot V \cdot c \quad (4.12)$$

$P$ : Sobrepresión máxima (MPa)

$c$ : Celeridad de propagación de onda  $\left(\frac{m}{s}\right)$

$V$ : Velocidad del fluido  $\left(\frac{m}{s}\right)$

$\rho$ : Densidad del agua  $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$

#### 4.11 Cálculo caudal libre

El caudal libre se obtiene multiplicando la velocidad de un fluido que pasa por una determinada área.

$$Q_l = V_1 \cdot A_1 \quad (4.13)$$

$Q_l$ : Caudal libre  $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

$V_1$ : Velocidad de un fluido en el punto 1.

$A_1$ : Área de la válvula.

#### 4.12 Velocidad del fluido

$$V_c = \frac{Q_l}{A_c} \quad (4.14)$$

$V_c$ : Velocidad en el cuerpo del ariete.

$Q_l$ : Caudal Libre

$A_c$ : Área del cuerpo del ariete.

#### 4.13 Fuerza que actúa sobre la válvula check

Las fuerzas externas deben estar en equilibrio con el funcionamiento de la bomba, para lo cual se debe considerar que donde estará ubicada la válvula check el fluido cambiará de dirección bruscamente como se muestra en la siguiente imagen, para determinar esta fuerza se debe utilizar la siguiente ecuación [31].

$$F = \rho \cdot Q_l \cdot V_c \quad (4.15)$$

$F$ : Fuerza aplicada

$\rho$ : Densidad de fluido  $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$

$Q_l$ : Caudal libre  $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

#### 4.14 Ecuaciones de rendimiento

El rendimiento de una bomba de ariete se puede calcular mediante la relación  $h/H$ , esto quiere decir el porcentaje de caudal de entrada al ariete ( $Q$ ) y la salida del caudal ( $q$ ). En la siguiente tabla se muestra el valor del rendimiento en relación a  $h/H$ .

**Tabla 4.6.** Rendimiento de un ariete hidráulico

$h/H$	$\eta$
$1/2 = 0.5$	0.34
$1/3 = 0.333$	0.21
$1/4 = 0.25$	0.15
$1/6 = 0.167$	0.085
$1/7 = 0.143$	0.068
$1/8 = 0.125$	0.056
$1/9 = 0.1$	0.039
$1/10 = 0.083$	0.029

#### 4.15 Estudio dinámico del mecanismo de válvula check

La dinámica es parte de la física que se encarga del estudio de la relación entre un movimiento y las causas o fuerzas que lo producen. El movimiento de un cuerpo es el resultado de la interacción de otros cuerpos, fuerzas, choques, rozamientos, etc.

##### 4.15.1 Sumatoria de fuerzas

Se debe aplicar una sumatoria de fuerzas en las direcciones de  $(x, y)$ , si las fuerzas involucradas en el mecanismo tienen la misma dirección se procede a sumar, caso contrario se deben restar. Cuando exista un ángulo de las fuerzas con respecto al eje coordenado se debe aplicar funciones trigonométricas para obtener sus respectivas componentes [31]. La sumatoria de fuerzas se obtiene con la siguiente expresión:

$$\sum Fx = Fx_1 + Fx_2 + \dots + Fx_N \quad (4.16)$$

$$\sum Fy = Fy_1 + Fy_2 + \dots + Fy_N \quad (4.17)$$

$\sum Fx$ : Sumatoria de fuerzas en eje x.

$\sum Fy$ : Sumatoria de fuerzas en eje y.

$Fx_1$ : Componente de la fuerza 1 en el eje x.

#### 4.15.2 Sumatoria de momentos

El momento de un mecanismo es igual a la fuerza multiplicado por la distancia, donde la distancia sea perpendicular a la fuerza y este efecto ocasiona que una barra o eslabón tienda a girar alrededor de un eje o punto de sujeción. En la siguiente ecuación se puede calcular los momentos involucrados en un mecanismo [31].

$$\sum M = F_1 \cdot d_1 + \dots + F_N \cdot d_N \quad (4.18)$$

$\sum M$ : Sumatoria de momentos en un eje.

$F_1$ : Fuerza 1 aplicada sobre un eslabón o barra.

$d_1$ : Distancia desde el eje hacia la fuerza aplicada.

#### 4.15.3 Diseño de ejes según norma ASME

Para el dimensionamiento de los ejes de sujeción se utilizó la norma ASME para diseño de ejes macizos. La norma ASME fue desarrollada en 1927 por la Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) con conceptos teórico empíricos y con el pasar de los años se ha convertido en una herramienta fundamental para el diseño de transmisiones, ejes, árbol de levas, entre otras cosas. El diseño de ejes con materias como el acero dúctil está basado en la resistencia del mismo material, la teoría del esfuerzo cortante máximo debido a que los ejes están sometidos a cargas de torsión, flexión y cargas axiales [32].

En este caso se procedió a utilizar la ecuación para cargas axiales pequeñas o nulas mediante la interacción de las cargas torsionales, carga axial, esta ecuación se presenta a continuación:

$$d^3 = \frac{16}{\pi S_s} \sqrt{(K_b M_b)^2 + (K_t M_t)^2} \quad (4.19)$$

Esta fórmula es aplicada para ejes macizos donde:

$M_t$ = Momento de torsión, Nm

$d$ = Diámetro del eje, m

$S_s$ = Esfuerzo permisible para ejes sin cuñero ( $4.1369 \cdot 10^7$  Pa)

$M_b$ = Momento de flexión, Nm

$F_a$ = Fuerza axial, N

$K_t$ = Factor combinado de choque y fatiga, momento torsión

$K_b$ = Factor combinado de choque y fatiga, momento flector

Los valores de la constante  $K_t$  y  $K_b$  se especifican en la norma y varían dependiendo las cargas a las que serán sometidos los ejes, a continuación, se muestran estos valores.

**Tabla 4.7.** Constantes  $K_b$  y  $K_t$  para diseño de ejes [32].

Ejes Estacionarios	$K_b$	$K_t$
Carga aplicada gradualmente	1	1
Carga aplicada repentinamente	1.5 a 2	1.5 a 2
Ejes en Rotación	$K_b$	$K_t$
Carga aplicada gradualmente	1.5	1
Carga repentina (choque menor)	1.5 a 2	1 a 1.5
Carga repentina (choque fuerte)	2 a 3	1.5 a 3

#### 4.15.4 Altura desarrollada por el ariete

La altura que puede desarrollar un ariete hidráulico está directamente relacionada con los elementos y las pérdidas hidráulicas como: locales, rozamiento y la inercia [33]. Esta altura se calcula de la siguiente manera:

$$H_i = h_d + h_{roz} + h_{loc} + h_{iner} \quad (4.20)$$

### 4.16 Sistemas de diseño y simulación

#### 4.16.1 Software CAD

Es una herramienta de validación de diseño integrada en SolidWorks que permite simular el comportamiento de piezas y ensamblajes, mediante la aplicación de análisis por elementos finitos (FEA). Su uso permite estudiar el comportamiento mecánico y térmico de un modelo de pieza o ensamble, bajo ciertas condiciones de servicio, sin necesidad de crear un prototipo físico-real del mismo. Este tipo de validación virtual permite evaluar el comportamiento de su modelo, de forma rápida y económica, sin invertir recursos en ensayos destructivos.

SolidWorks simulación está completamente integrado en el CAD de SolidWorks. Las dos aplicaciones informáticas de CAD y de CAE han sido desarrolladas para el sistema operativo Windows y la integración entre ellas es perfecta. Puede realizar cualquier análisis de simulación en su modelo de piezas y/o ensamble, modificar su geometría en función de los resultados obtenidos y volver a ensayar, sin la necesidad de cambiar de aplicación informática ni importar o exportar modelos o mallas.

#### 4.17 Propiedades físicas del agua en Latacunga

Los datos del agua de la ciudad de Latacunga fueron obtenidos de [30] mediante interpolación a una temperatura ambiente de 13.4°C.

**Tabla 4.7.** Propiedades del agua en la ciudad de Latacunga.

A temperatura de 13.4°C		
Propiedad	Magnitud	Unidad
Densidad ( $\rho$ )	999.359	$kg/m^3$
Viscosidad ( $\mu$ )	1.1935	$(N \cdot s/m^2) 10^{-3}$
Viscosidad cinemática ( $\nu$ )	1.1945	$(m^2/s) 10^{-6}$

#### 4.18 Propiedades físicas del aire en Latacunga

De la misma manera los datos correspondientes al aire de la ciudad de Latacunga se obtuvieron de [30], considerando que la bomba opera a presión atmosférica estándar.

**Tabla 4.8.** Propiedades del aire en la ciudad de Latacunga.

A temperatura de 13.4°C		
Propiedad	Magnitud	Unidad
Densidad ( $\rho$ )	1.23238	$kg/m^3$
Viscosidad ( $\mu$ )	1.777	$(N \cdot s/m^2) 10^{-3}$
Viscosidad cinemática ( $\nu$ )	1.4506	$(m^2/s) 10^{-6}$

### 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los cálculos para dimensionamiento las válvulas check y todas sus partes deben iniciar con la obtención de los datos de construcción y funcionamiento del ariete hidráulico multipulsador existente en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se debe considerar que este ariete dispone de dos vías de carga horizontal.

## 5.1 Tablas de resultados

Los resultados obtenidos en este apartado hacen referencia a las ecuaciones establecidas en el análisis de datos para las válvulas del ariete hidráulico multipulsor bóxer de dos vías de carga horizontal.

### 5.1.1 Potencia de la bomba

Para calcular la potencia de la bomba de ariete hidráulico utilizamos la fórmula (1) y los datos del proyecto de tesis anterior sobre el diseño y construcción de la bomba.

**Tabla 5.1.** Potencia de la bomba.

Ecuación	Datos	Unidades	Resultado
(4.1)	Potencia	$W$	94.5

**Tabla 5.2.** Cálculo de volumen de agua en la tubería de entrega.

Ecuación	Datos	Unidades	Resultado
(2)	Volumen	$m^3$	0.0074

### 5.1.2 Cálculo de la presión mínima

La presión mínima de la bomba de ariete se obtiene cuando la válvula de salida se encuentra cerrada y el aire soporta toda la presión que ejerce el agua contenida en la tubería de descarga.

**Tabla 5.3.** Presión mínima.

Ecuación	Datos	Unidades	Resultado
(3)	Presión mínima	$kPa$	178.36

### 5.1.3 Cálculo de presión máxima

Para calcular la presión máxima se debe calcular previamente los volúmenes de aire en la cámara y el volumen que ingresa a por cada golpe de ariete.

**Tabla 5.4.** Volumen de aire 1.

Ecuación	Datos	Unidades	Resultado
(4)	Volumen 1	$m^3$	$6.66 \cdot 10^{-3}$

Se debe asumir un valor de golpes por minuto del aire igual a  $50 \frac{\text{ciclos}}{\text{min}}$ .

**Tabla 5.5.** Valores por ciclos

<b>Ecuación</b>	<b>Datos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resultado</b>
(5)	Valor de ciclos	$\frac{m^3}{s}$	$7.12 \cdot 10^{-4}$

**Tabla 5.1.3.3** Volumen de aire 2.

<b>Ecuación</b>	<b>Datos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resultado</b>
(4-5)	Volumen 2	$m^3$	$5.948 \cdot 10^{-3}$

Procedemos a calcular la presión máxima con la ecuación (6).

**Tabla 5.6.** Presión máxima.

<b>Ecuación</b>	<b>Datos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resultado</b>
(6)	Presión Máxima	$kPa$	199.710

#### 5.1.4 Cálculo de la celeridad

La velocidad de propagación de la onda se calcula mediante las ecuaciones (10), (11) y utilizando la constante k del material acero utilizado en la construcción de la bomba.

**Tabla 5.7.** Constante de material utilizado.

<b>Ecuación</b>	<b>Datos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resultado</b>
(10)	Material Acero	$k: \text{constante}$	0.5

A continuación, calculamos la celeridad.

**Tabla 5.8.** Celeridad.

<b>Ecuación</b>	<b>Datos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resultado</b>
(11)	Celeridad	$m/s$	2200

### 5.1.5 Cálculo de sobrepresión

El cálculo de sobrepresión es realizado para dimensionar adecuadamente todos los componentes de la válvula check y se calcula con la ecuación (12). Se utilizó la velocidad de fluido obtenida en [30].

**Tabla 5.9.** Resultado de sobrepresión

<b>Ecuación</b>	<b>Datos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resultado</b>
(11)	Celeridad	<i>MPa</i>	4.48

### 5.1.6 Cálculo caudal libre

El caudal libre se calcula utilizando la velocidad de fluido 2.04 m/s en la entrada de la bomba, esta velocidad corresponde a un caudal máximo de entrada.

**Tabla 5.10.** Resultado de sobrepresión

<b>Ecuación</b>	<b>Datos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resultado</b>
(11)	Sobrepresión	$\frac{m^3}{s}$	$10.56 * 10^{-3}$

### 5.1.7 Velocidad del fluido

La velocidad del fluido dentro del cuerpo del ariete se calcula con la ecuación (14).

**Tabla 5.11.** Resultado de sobrepresión

<b>Ecuación</b>	<b>Datos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resultado</b>
(14)	Sobrepresión	<i>m/s</i>	2.04

### 5.1.8 Fuerza que actúa sobre la válvula check

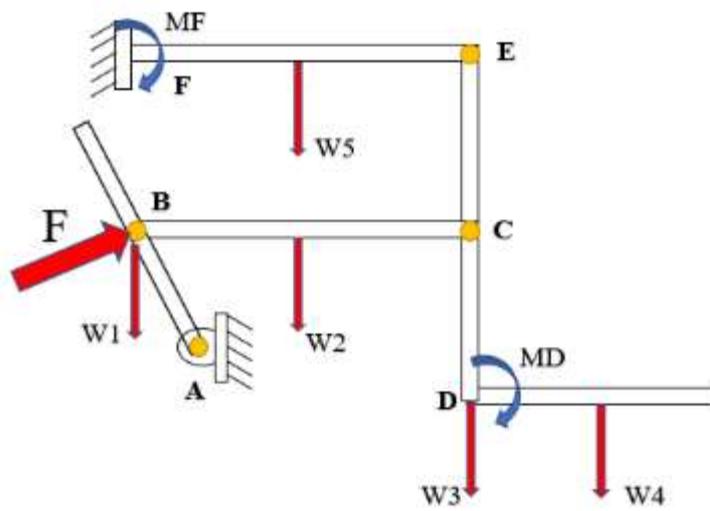
El resultado de fuerzas que actúan al chocar el caudal sobre la tapa nos arroja el siguiente resultado:

**Tabla 5.12.** Fuerzas sobre las tapas

<b>Ecuación</b>	<b>Datos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resultado</b>
(15)	Fuerzas	<i>N</i>	21.51

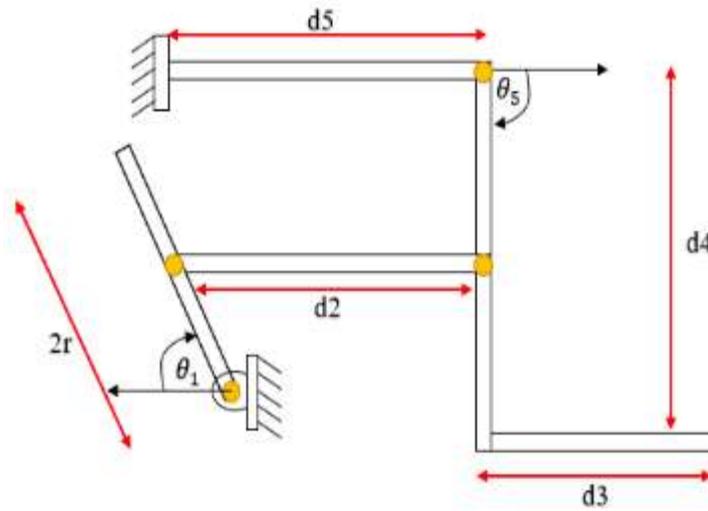
## 5.2 Diagrama de cuerpo libre

En esta etapa se realiza un análisis dinámico inverso mediante el cual se quieren obtener las reacciones en los pares cinemáticos, las fuerzas y el torque generado por el mecanismo en los diferentes puntos de sujeción cuando se mueve. Para aplicar dichos cálculos es muy necesario conocer la geometría del mecanismo y las propiedades másicas de los eslabones, en el diagrama de cuerpo libre se despreció el grosor del material podemos determinar la relación de masa y distancias permisibles para que el mecanismo pueda realizar el cierre y la apertura sin problemas.



**Figura 5.1.** Diagrama de cuerpo del mecanismo completo.

Se deben considerar las distancias desde los puntos de sujeción hasta la fuerza aplicada en cada uno de los eslabones, también se debe considerar el ángulo de movimiento para la tapa de la válvula. A partir de esta información se procede a obtener las ecuaciones en función de la fuerza.



**Figura 5.1.** Distancias de los eslabones.

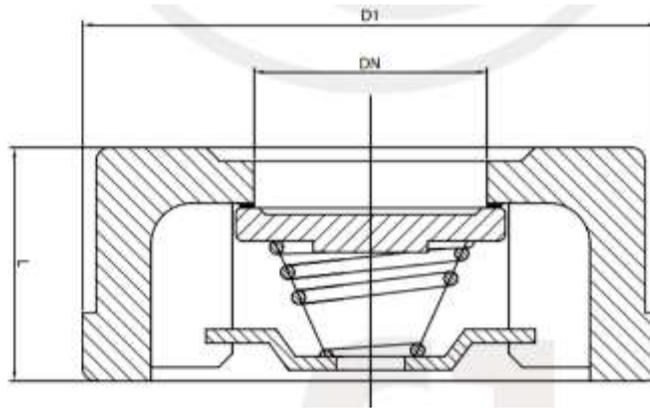
### 5.2.1 Dimensionamiento de la tapa

Para dimensionar la tapa del mecanismo se tomó en cuenta la norma API 594 para el diseño de válvulas check donde se especifica diámetros de tapas dependiendo del diámetro de la tubería donde se desea instalar la válvula. En la siguiente tabla se muestran los valores respectivos de diámetros para estas válvulas. [33]

**Figura 5.2.** Dimensiones de tapas según norma API 594 [33].

CLASE 600 DIMENSIONES EN MILIMETROS										
ND.	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	6"
L (WF)	25	31,5	35,5	40	46	56	63,5	71	80	125
DN	15	20	25	32	40	50	65	80	100	150
D1	57	65	73	81	95	111	130	149	194	267
PESO (KG.) (WF)	0,38	0,47	0,64	0,9	1,35	2,5	4,2	6,5	12	24

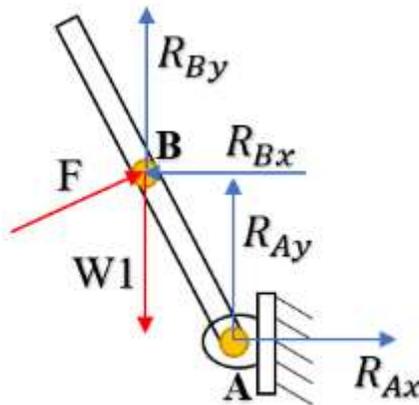
En la siguiente imagen se pueden observar las principales distancias que se especifican en la norma API 594 para el diseño de válvulas check, en este caso se tiene una tubería de suministro de 3 pulgadas lo cual corresponde a un diámetro aproximado para la válvula de 80 mm.



**Figura 5.3.** Distancias principales de una válvula check [33].

### 5.2.2 Análisis Dinámico de la sujeción 1

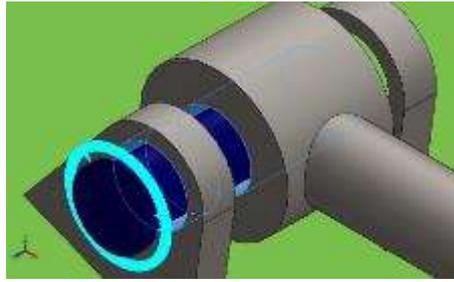
Aplicando un análisis dinámico y estático a cada uno de los eslabones que componen el mecanismo de la válvula check se puede determinar las longitudes necesarias para que el mecanismo se encuentre en equilibrio y pueda funcionar con normalidad.



**Figura 5.4.** Equilibrio estático de la tapa.

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0; \cos(\theta_1) \cdot F - R_{Bx} + R_{Ax} &= 0 \\ \sum F_y = 0; \text{sen}(\theta_1) \cdot F + R_{By} + R_{Ay} - m_1 \cdot g &= 0 \\ \sum M_A = 0; r \cdot F - r \cdot \text{sen}(\theta_1) \cdot m_1 \cdot g - r \cdot \cos(\theta_1) \cdot R_B &= 0 \end{aligned}$$

Se obtuvo las fuerzas de reacción en cada uno de los puntos de sujeción mediante una simulación en un software CAD, en la siguiente imagen se muestra las reacciones del punto de sujeción entre la tapa y el eslabón 2.



**Figura 5.5.** Fuerzas en la unión de la tapa y eslabón 2.

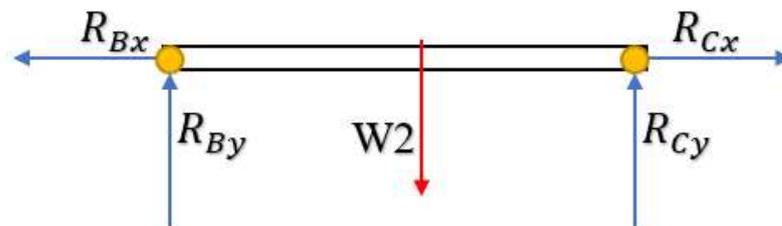
Las fuerzas que interactúan en esta sujeción 1 cuando el mecanismo se mueve son las siguientes:

**Tabla 5.13.** Fuerzas que intervienen en la sujeción 1.

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-0	-0	0.064496	-0.064496
Fuerza cortante (N)	-1.4498	-0.24236	0	1.4699
Torsión (N.m)	0	0	-3.3573e-11	3.3573e-11
Momento flector (N.m)	0.00043965	-0.0071829	0	0.0071963

### 5.2.3 Análisis Dinámico de la sujeción 2

Se repite el análisis de fuerzas y momentos para el eslabón 2 obteniendo las siguientes fórmulas.

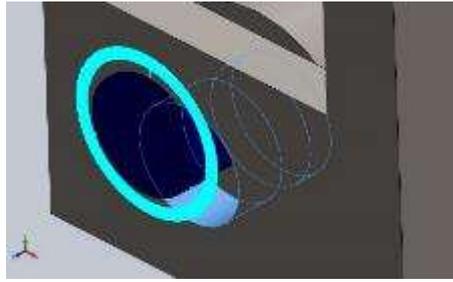


**Figura 5.6.** Equilibrio estático eslabón 2.

$$\sum F_x = 0; R_{Bx} - R_{Cx} = 0$$

$$\sum F_y = 0; m_2 \cdot g - R_{By} - R_{Cy} = 0$$

Se aplicó un análisis de fuerzas en los ejes x.y para determinar las reacciones en el punto de sujeción, la siguiente imagen se puede observar el comportamiento de la sujeción 2 entre el eslabón 2 y el eslabón 3.



**Figura 5.7.** Fuerzas en la unión del eslabón 2 y eslabón 3.

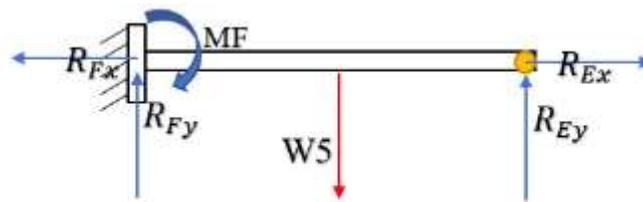
Las fuerzas que interactúan en esta sujeción 2 cuando el mecanismo se mueve son las siguientes:

**Tabla 5.14.** Fuerzas que intervienen en la sujeción 2.

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	0	0	-0.064496	0.064496
Fuerza cortante (N)	1.4484	-0.16283	0	1.4575
Torsión (N.m)	0	0	-3.3309e-11	3.3309e-11
Momento flector (N.m)	-0.0010766	-0.0062734	0	0.0063651

### 5.2.4 Análisis Dinámico de la sujeción 3

La sumatoria de fuerzas en el eje x,y es aplicado al eslabón 1 y una sumatoria de momentos en el punto F, obteniendo las siguientes ecuaciones:



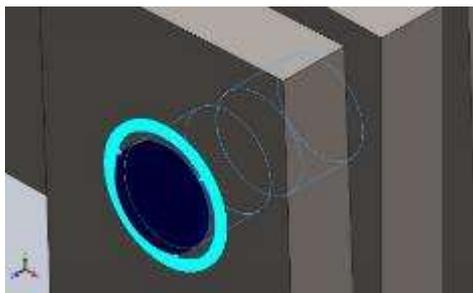
**Figura 5.8.** Equilibrio estático eslabón 1.

$$\sum F_x = 0; R_{Fx} - R_{Ex} = 0$$

$$\sum F_y = 0; R_{Ey} + R_{Fy} - m_5 \cdot g = 0$$

$$\sum M_F = 0; \frac{d_5}{2} \cdot m_5 \cdot g - d_5 \cdot R_{Ey} = MF$$

Mediante un software CAD se obtuvieron las reacciones en el punto de sujeción 3, como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 5.9.** Fuerzas en la unión del eslabón 1 y eslabón 3.

Las fuerzas que interactúan en esta sujeción 3 cuando el mecanismo se mueve son las siguientes:

**Tabla 5.15.** Fuerzas que intervienen en la sujeción 3.

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-0	-0	0.064496	-0.064496
Fuerza cortante (N)	-1.4373	3.381	0	3.6738
Torsión (N.m)	0	0	-3.7303e-13	3.7303e-13
Momento flector (N.m)	-0.0033676	0.00095833	0	0.0035013

### 5.2.5 Diseño de ejes bajo norma ASME

Una vez que se obtienen los valores de fuerza axial, fuerza cortante, momento de torsión y momento flector se procede aplicar la fórmula número 4.18 para calcular el diámetro mínimo del eje en cada una de las 3 sujeciones utilizadas en el mecanismo de válvula check: En este caso se utilizó un esfuerzo permisible para los ejes de  $4.1369 \cdot 10^7$  Pa, de acuerdo a la norma ASME y los parámetros que se muestran en las siguientes tablas.

Los resultados de la simulación del mecanismo presentan los siguientes valores para la sujeción número 1:

**Tabla 5.16.** Parámetros para el diseño de ejes de la sujeción 3.

Parámetro	Valor
Mt	$\cong 3.3573 \cdot 10^{-11}$ Nm
Ss	$4.1369 \cdot 10^7$ Pa
Mb	0.0071963 Nm
Fa	0.064496 N
Kt	1.2
Kb	1.8

En la sujeción número 2 presenta los siguientes valores para los momentos de torsión, momento flector y fuerza axial.

**Tabla 5.17.** Parámetros para el diseño de ejes de la sujeción 3.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Mt	$3.3309 \cdot 10^{-11}$ Nm
Ss	$4.1369 \cdot 10^7$ Pa
Mb	<b>0.006365</b> Nm
Fa	<b>0.064496</b> N
Kt	1.2
Kb	1.8

En la sujeción número 3 se mantienen constante los parámetros de Kt y Kb y se utiliza los resultados de las simulaciones dinámicas, estos valores se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 5.18.** Parámetros para el diseño de ejes de la sujeción 3.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Mt	$3.7303 \cdot 10^{-13}$ Nm
Ss	$4.1369 \cdot 10^7$ Pa
Mb	<b>0.0035013</b> Nm
Fa	<b>0.064496</b> N
Kt	1.2
Kb	1.8

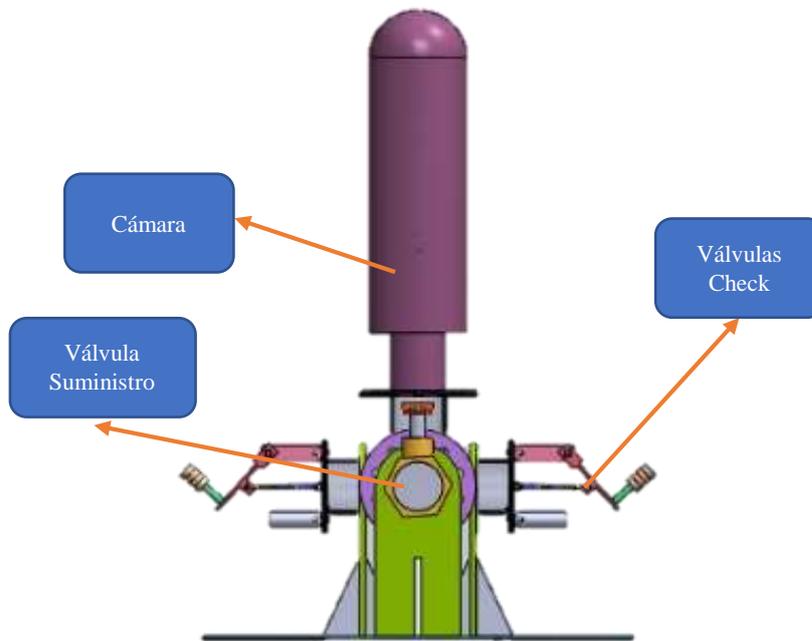
Reemplazando estos valores en la fórmula 18 se obtienen los diámetros mínimos para todos los ejes de sujeción:

**Tabla 5.19.** Diámetros mínimos de ejes según norma ASME.

<b>Diámetro 1</b>	<b>Diámetro 2</b>	<b>Diámetro 3</b>
1.16mm	1.12 mm	0.9 mm

### 5.3 Análisis dinámico de la válvula check

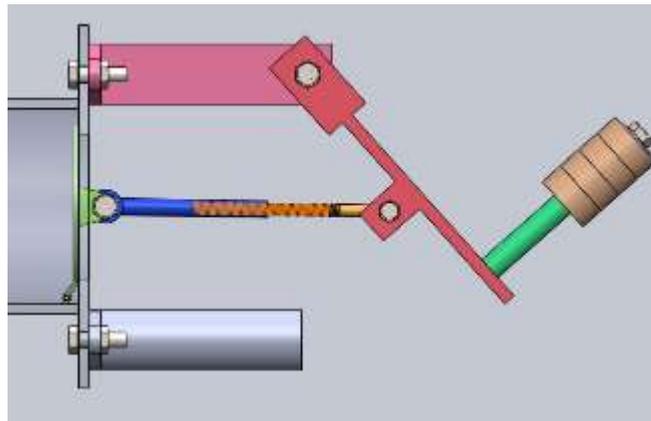
Se aplica un análisis dinámico de fuerzas y momentos del mecanismo de válvula propuesto en este proyecto de tesis, para lo cual iniciamos tomando en cuenta la fuerza calculada anteriormente. En la siguiente imagen se puede observar la implementación de dos válvulas tipo check al ariete hidráulico, reemplazando las válvulas tipo muelle.



**Figura 5.10.** Análisis dinámico

### 5.3.1 Válvula check cerrada

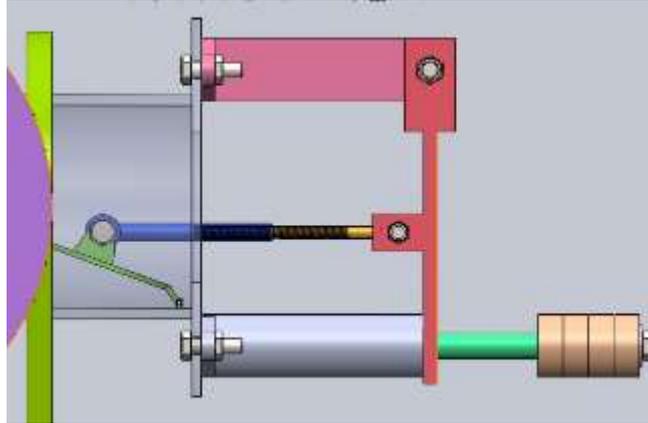
En la siguiente imagen se muestran todos los eslabones que componen el mecanismo de válvula y también se identifican los puntos de sujeción con el ariete hidráulico cuando la válvula se encuentra cerrada.



**Figura 5.11.** Válvula Check cerrada.

### 5.3.2 Válvula check abierta

Durante la apertura de la válvula se puede apreciar una ligera inclinación de la tapa, esta función tiene como objetivo aliviar la presión interna de la tubería de suministro.



**Figura 5.12.** Válvula check abierta.

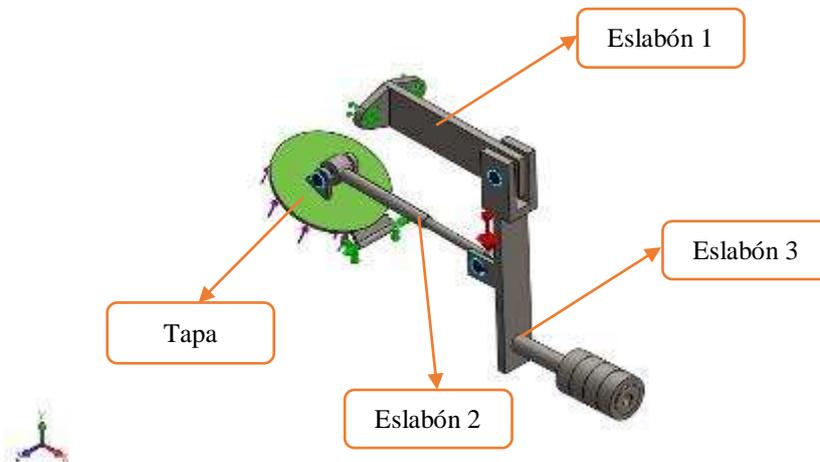
#### 5.4 Análisis mecánico

En este apartado se realizó un análisis de tensiones, desplazamiento y también se determinó el factor de seguridad del mecanismo de válvula check utilizando el material de acero ASTM A36 con las siguientes características.

**Tabla 5.20.** Propiedades del acero ASTM A36.

Propiedades Mecánicas		Notas
Resistencia a la tracción, MPa (ksi)	400-550 (58-80)	Placas de acero, formas y barras
Limite elástico (Esfuerzo de fluencia), MPa (ksi), $\geq$	250 (36)	Espesor $\leq$ 200mm (8 pulg.)
	220 (32)	Espesor de placas de acero $>$ 200mm (8 pulg.)
Elongación, %, $\geq$	20	Placas y barras en 200 mm (8 pulg.)
	23	Placas y barras en 50 mm (2 pulg.)
Dureza Brinell, HBW	119-162	Basado en la conversión de resistencia a la tracción
Módulo de elasticidad, GPa (ksi)	200 ( $29 \times 10^3$ )	–
Prueba de impacto Charpy con muesca en V, J (ft·lbf), $\geq$	27 (20)	Formas estructurales, ubicación alternativa del núcleo
Módulo de corte, GPa (ksi)	79.3 ( $11.5 \times 10^3$ )	–
Fy del acero A36 (Límite de fluencia), MPa (ksi), $\geq$	250 (36)	–

En la siguiente imagen se muestra el mecanismo de válvula check de cuatro eslabones con la ubicación de dos puntos de sujeción fija en el pasador y en el eslabón 1, además se muestra la acción de la gravedad sobre el mecanismo ( $9.8 \text{ m/s}^2$ ) y la fuerza de choque hidráulico de 21.51N sobre la superficie de la tapa.



**Figura 5.13.** Partes del mecanismo válvula check.

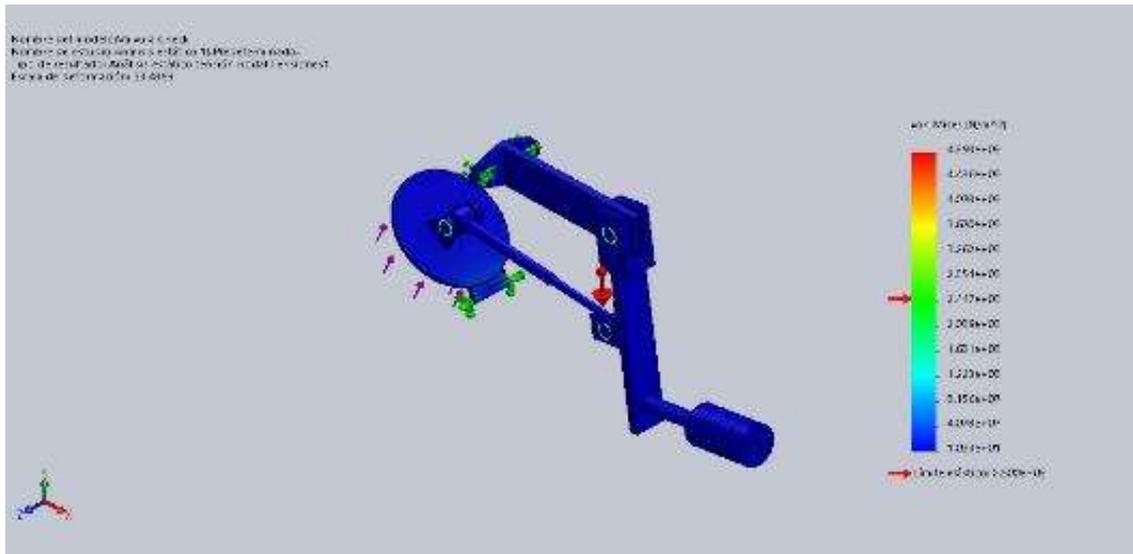
Las propiedades físicas del mecanismo se muestran a continuación:

**Tabla 5.21.** Propiedades físicas de la válvula check.

Masa (Kg)	Volumen ( $\text{m}^3$ )	Densidad ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )	Peso (N)
0.018835	$2.39938 * 10^{-6}$	7850	0.184583

#### 5.4.1 Análisis de tensiones

El análisis de tensiones se obtuvo mediante un estudio mecánico utilizando el criterio de Von Mises o también llamado criterio de máxima energía de distorsión. Von Mises es un criterio que se aplica al estudio de materiales dúctiles para determinar si el material no fluirá cuando la energía de distorsión por unidad de volumen en un punto no supere la energía de distorsión por unidad de volumen del momento de fluencia obtenido de los ensayos de tracción aplicados al material [34].

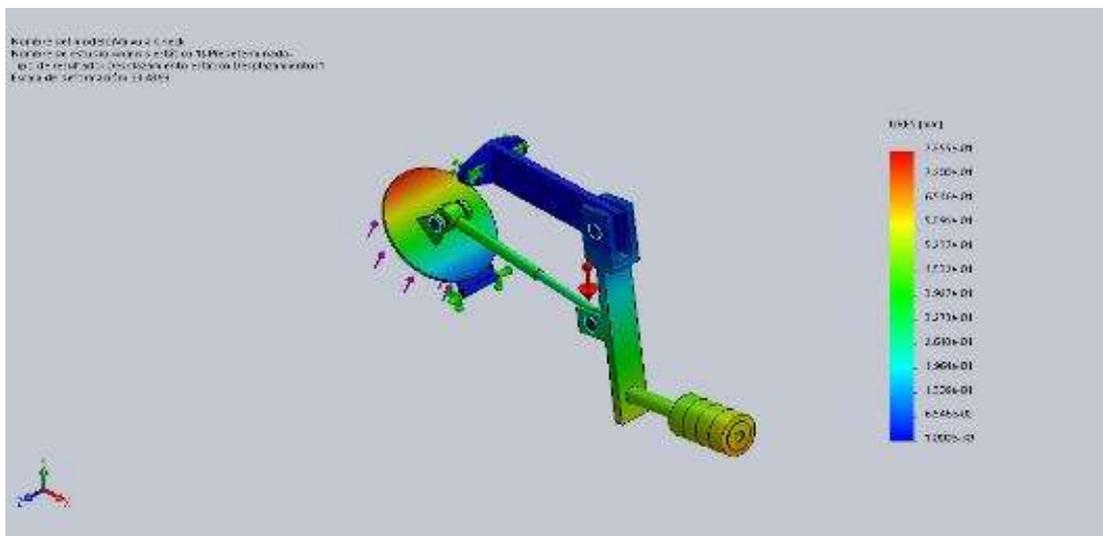


**Figura 5.14.** Análisis de Von Mises.

En la gráfica anterior se puede observar que ningún eslabón o elemento que compone el mecanismo de válvula check supera el límite elástico de 250MPa del acero ASTM A36, efecto representado de color azul.

#### 5.4.2 Análisis de Desplazamientos

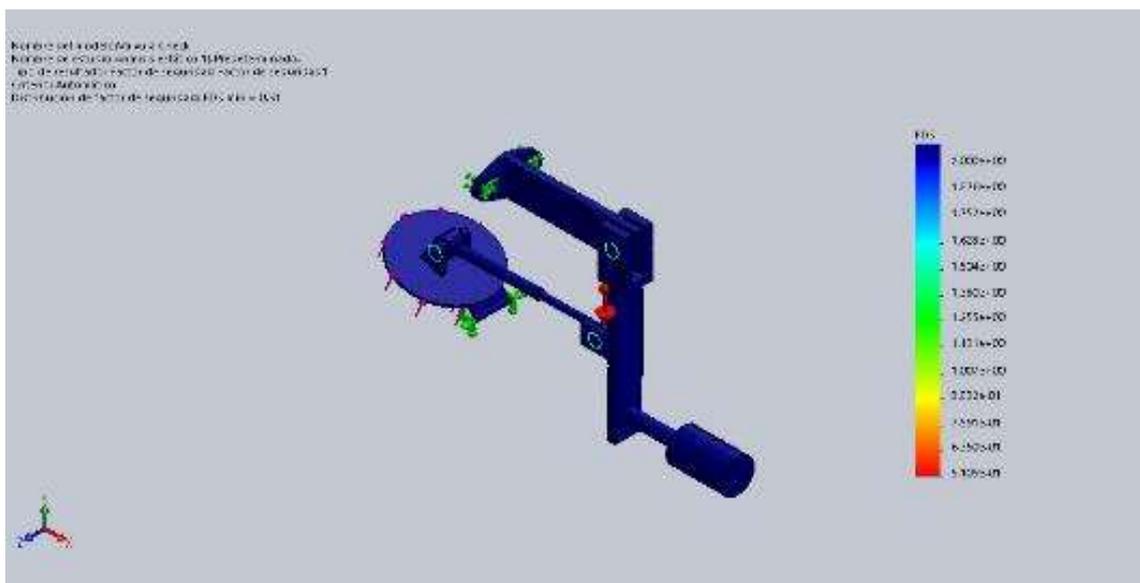
En el análisis de desplazamientos se puede determinar los elementos que tengan un mayor movimiento angular o lineal, las unidades utilizadas para este análisis son los milímetros (mm). En la siguiente imagen se puede observar los elementos que han realizado un mayor máximo con el color rojo y los elementos que no se mueven de color azul.



**Figura 5.15.** Análisis de desplazamientos.

### 5.4.3 Análisis del factor de seguridad

El factor de seguridad o también conocido como coeficiente de seguridad es el cociente que resulta del cálculo de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado al que será sometido durante el trabajo o su accionamiento. [35] Se considera que para garantizar el buen funcionamiento de un mecanismo el factor de seguridad debe ser igual o mayor a 1.4. En la siguiente imagen se puede observar el resultado de un análisis de factor de seguridad para el mecanismo de válvula y se puede apreciar que todos los eslabones presentan un factor de seguridad por encima del 1.6, a excepción del pasador que tiene un factor de 0.51.



**Figura 5.16.** Factor de seguridad de la válvula check.

### 5.5 Análisis de movimiento

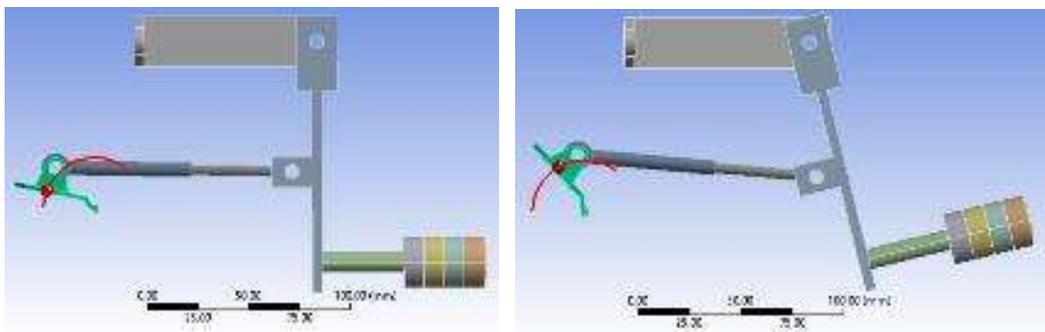
Mediante el software de simulación ANSYS se procede a realizar un análisis del comportamiento de la válvula check sometido a la acción de la gravedad y a la fuerza hidráulica del fluido contenido en la tubería de suministro que es igual a 21.51N. En este caso se utilizó el acero estructura para todos los elementos que componen el mecanismo. Además, se estableció relación de movimiento tipo Revoluta entre los eslabones 1, eslabón 2, eslabón 3, la tapa y el pasador del mecanismo. La sujeción tipo Fixed fue aplicada en el eslabón 1 y en el pasador para evitar que el mecanismo se descomponga por acción de la gravedad.

Para verificar el correcto funcionamiento del mecanismo se realizaron varias pruebas considerando los siguientes aspectos:

- Diferentes diámetros para la tapa: Pequeño (18mm), Mediano (60mm) y Grande (80mm).
- Diferentes longitudes de los eslabones 1 y 2: Pequeño (30mm), Mediano (50mm) y Grande (75mm).
- Una fuerza hidráulica tipo rampa de 0 a 21.51N.
- Gráfico de desplazamiento de la válvula
- Gráfico del comportamiento de la velocidad de cierre y apertura de la válvula.

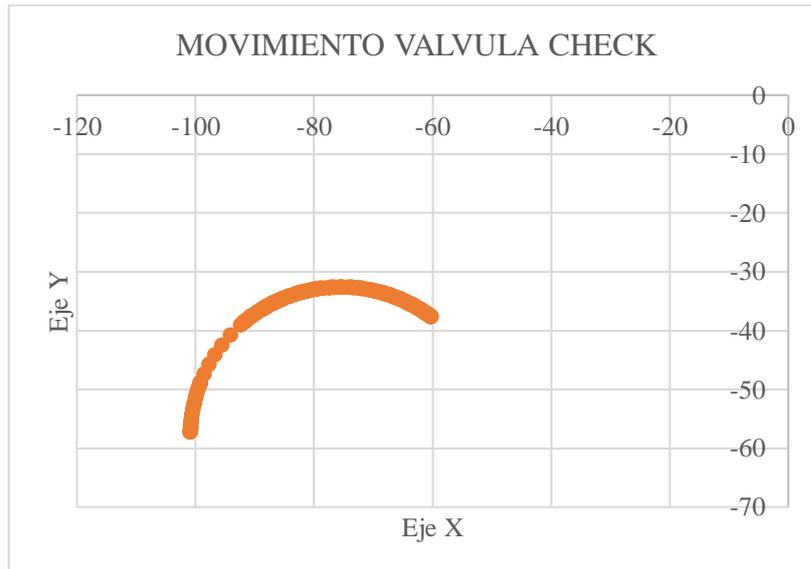
### 5.5.1 Mecanismo de tapa pequeña

La simulación de este mecanismo consiste en utilizar una tapa de 18mm de diámetro sometida a la acción de la gravedad y una fuerza tipo rampa de 21.51N sobre la superficie de la tapa, en la siguiente imagen se puede apreciar dos posiciones del movimiento del mecanismo.



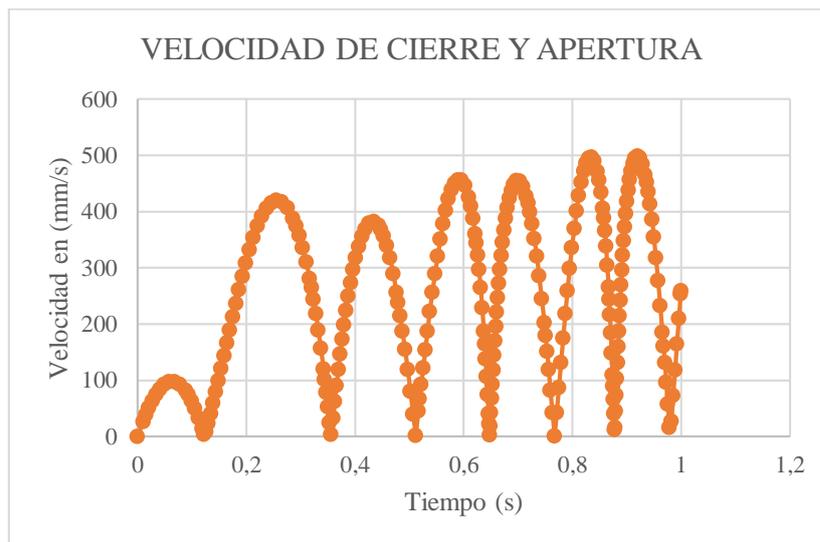
**Figura 5.17. Simulación del mecanismo de tapa pequeña.**

En la siguiente imagen se puede apreciar el desplazamiento angular de la tapa con respecto al eje principal del pasador, el movimiento se considera bueno debido a que sobre pasa el ángulo de 90° con la horizontal, esto significaría que el mecanismo es capaz de cerrarse con la acción del agua en la tubería de suministro.



**Figura 5.18.** Movimiento del mecanismo de tapa pequeña.

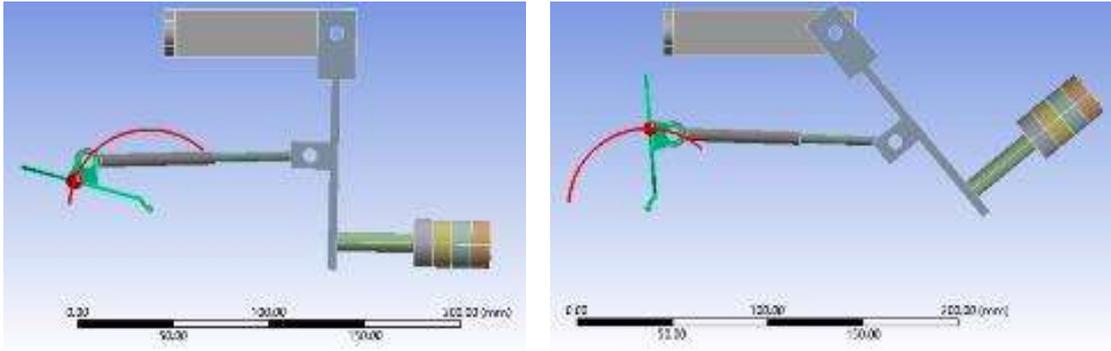
La velocidad del mecanismo de tapa pequeña tiene un comportamiento que se puede observar en la siguiente gráfica, las unidades de este gráfico son en mm/s y se tiene para este caso una velocidad máxima de 500 mm/s. Además, se puede observar que el ciclo de apertura y cierre es de aproximadamente 0.2 segundos.



**Figura 5.19.** Velocidad del mecanismo de tapa pequeña.

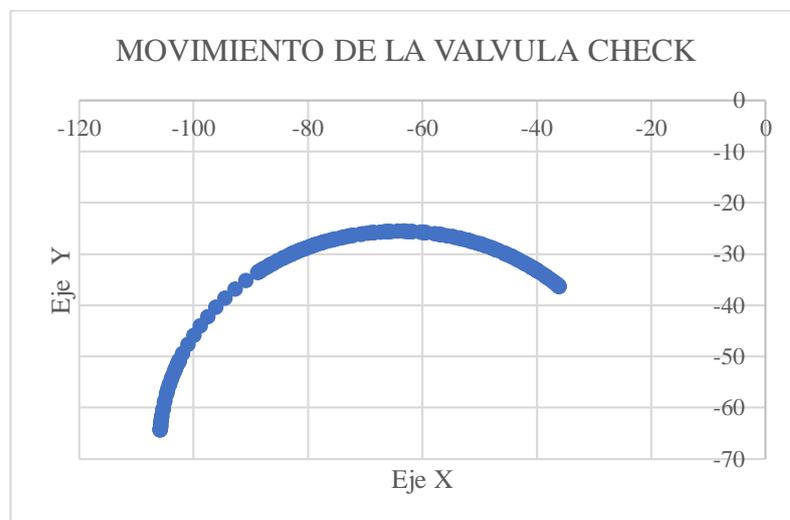
### 5.5.2 Mecanismo de tapa mediana

Este mecanismo se simuló con una tapa de 60mm de diámetro sometida a la acción de la gravedad y una fuerza tipo rampa de 0 a 21.51N sobre la superficie de la tapa, en la siguiente imagen se puede apreciar dos posiciones del movimiento del mecanismo.



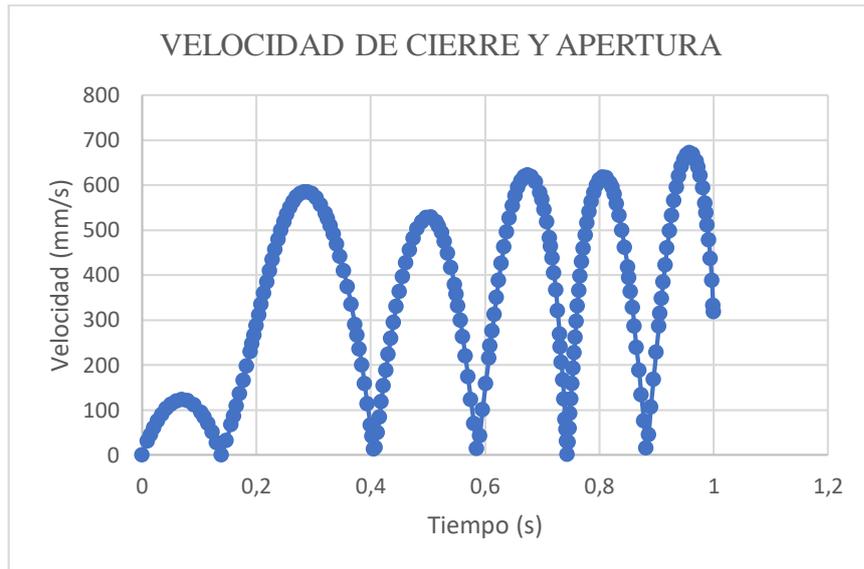
**Figura 5.20.** Simulación del mecanismo de tapa mediana.

En este caso se puede apreciar que el movimiento de la válvula es superior a los  $120^\circ$  lo cual puede interpretarse como que la válvula tiene la suficiente fuerza para cerrar herméticamente la tubería de suministro y evitar la salida del agua.



**Figura 5.21.** Movimiento del mecanismo de tapa mediana.

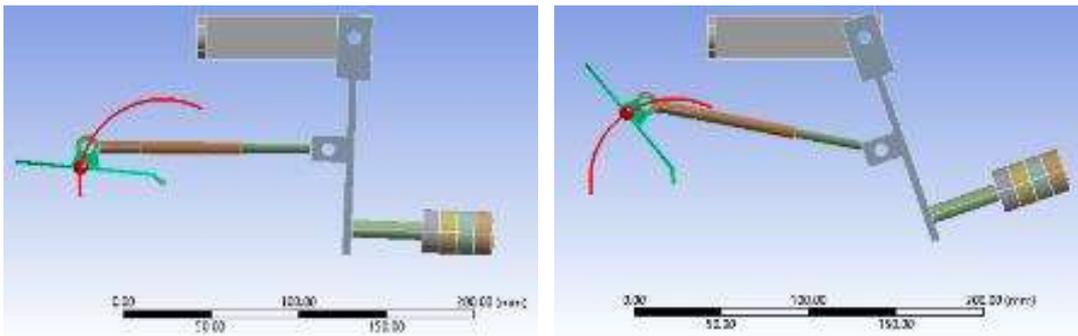
La velocidad del mecanismo de tapa mediana tiene un máximo de  $700 \text{ mm/s}$  y un ciclo de apertura y cierre de aproximadamente  $0.18$  segundos como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 5.22.** Velocidad del mecanismo de tapa mediana.

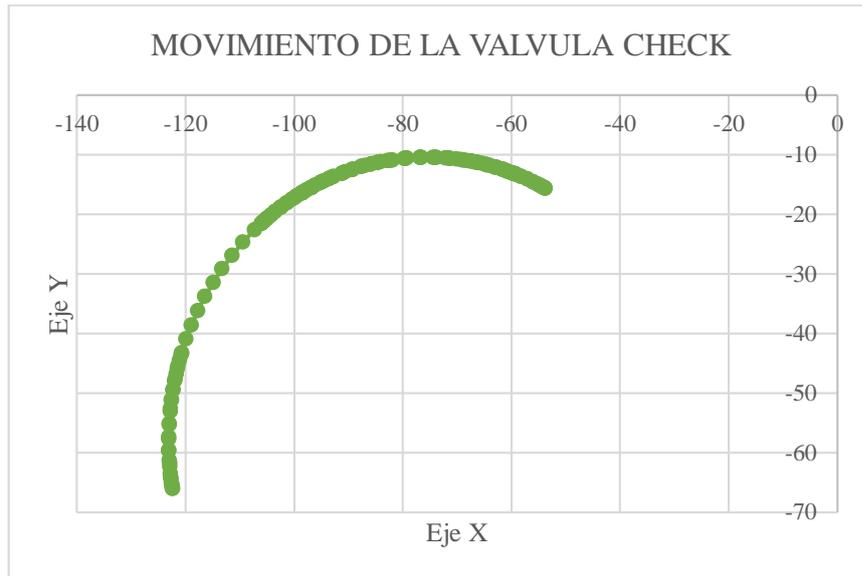
### 5.5.3 Mecanismo de tapa grande

En este mecanismo se utilizó una tapa de 80mm de diámetro sometida a la acción de la gravedad y una fuerza tipo rampa de 0 a 21.51N sobre la superficie de la tapa, en la siguiente imagen se puede apreciar dos posiciones del movimiento del mecanismo.



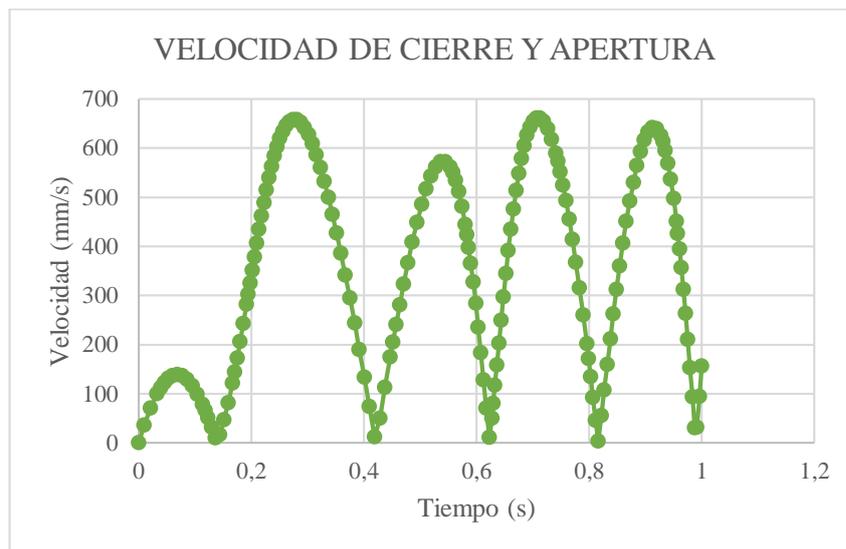
**Figura 5.23.** Simulación del mecanismo de tapa grande.

En la simulación de tapa grande se puede observar un comportamiento diferente a los casos anteriores, cuando la fuerza es de 0 N el peso de la tapa y el mecanismo provoca que la tapa descienda más hacia el interior de la tubería. Esta condición limita de cierta manera el cierre llegando a tener una oscilación de hasta 100°. Este comportamiento se puede observar en la siguiente imagen.



**Figura 5.24.** Movimiento del mecanismo de tapa grande.

La velocidad del mecanismo de tapa grande tiene un máximo de 675 mm/s y un ciclo de apertura y cierre de aproximadamente 0.2 segundos como se muestra en la siguiente figura.

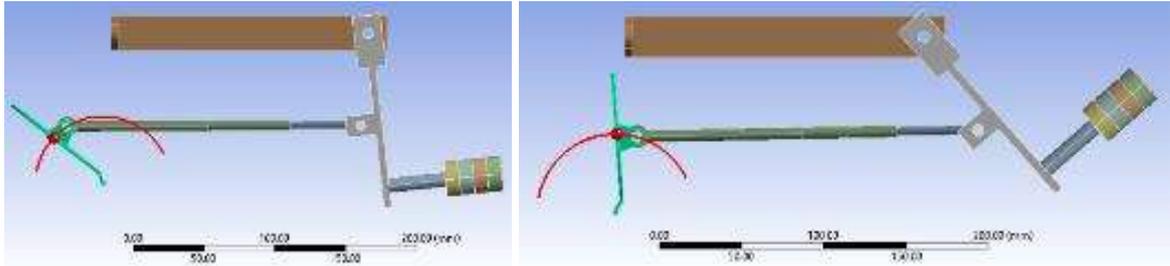


**Figura 5.25.** Velocidad del mecanismo de tapa grande.

#### 5.5.4 Mecanismo de eslabones grandes

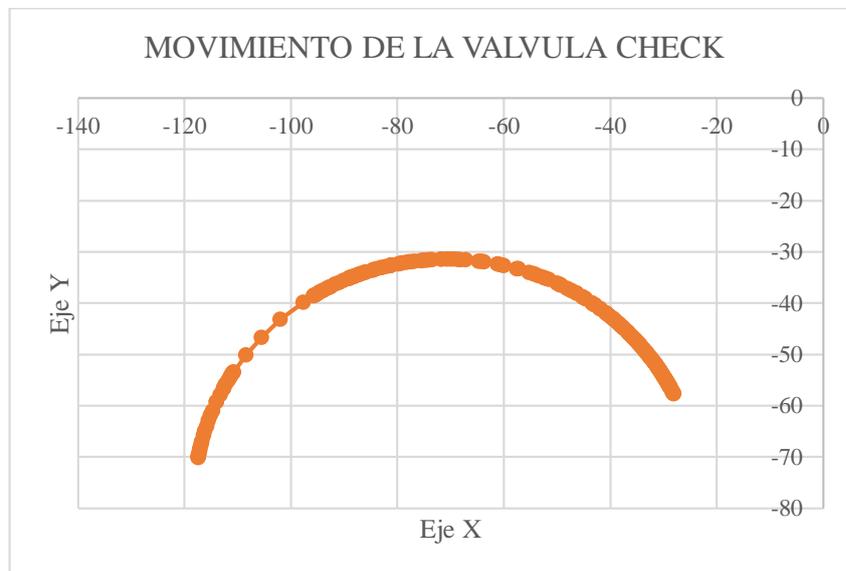
En esta simulación se optó por mantener constante el diámetro de la tapa mediana en 60 mm y variar la longitud de los eslabones con el objetivo de determinar el efecto del incremento de estos elementos sobre el funcionamiento del mecanismo. Las magnitudes de aceleración y fuerza también se mantuvieron constantes como en los casos anteriores y la longitud de los

eslabones 1 y 2 fueron de 180 mm. Los resultados de estas simulaciones se muestran a continuación:



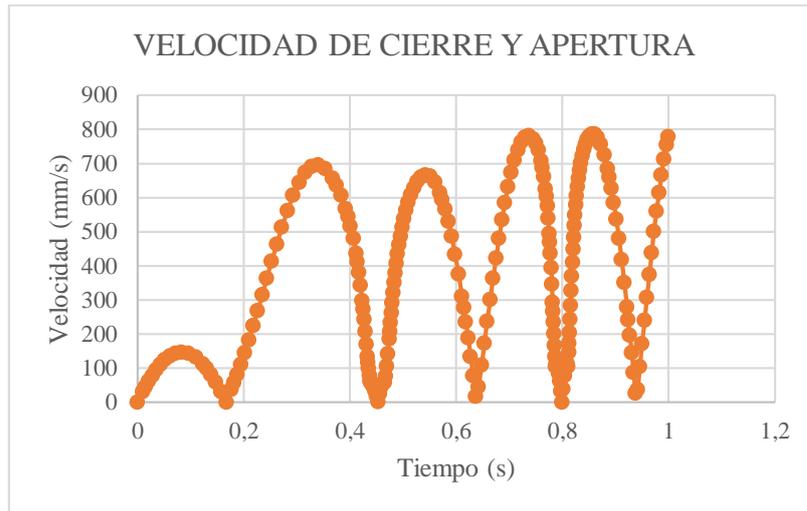
**Figura 5.26.** Simulación del mecanismo de eslabones grandes.

En el caso de eslabones con una medida igual o mayor a 180 mm se puede apreciar que el movimiento de la válvula es de casi  $180^\circ$  lo cual significa que existe demasiado peso por parte de los eslabones, esto generaría una oscilación excesiva de la tapa de la válvula check.



**Figura 5.27.** Movimiento del mecanismo de eslabones grandes.

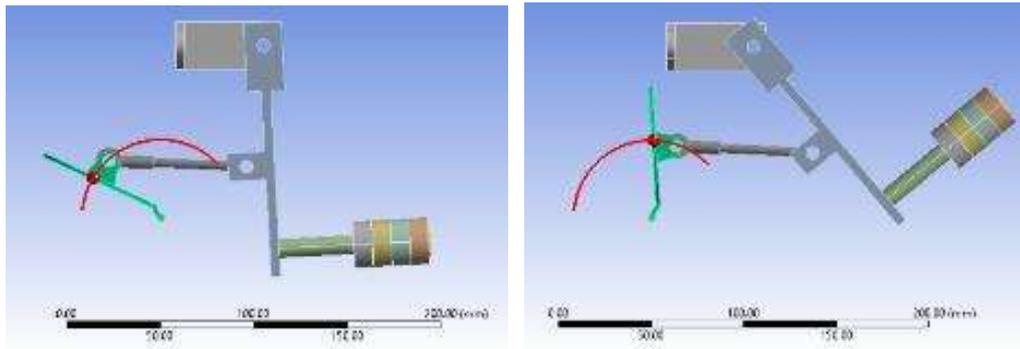
La velocidad del mecanismo de eslabones grandes tiene un máximo de 800 mm/s y un ciclo de apertura y cierre de aproximadamente 0.17 segundos como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 5.28.** Velocidad del mecanismo de eslabones grandes.

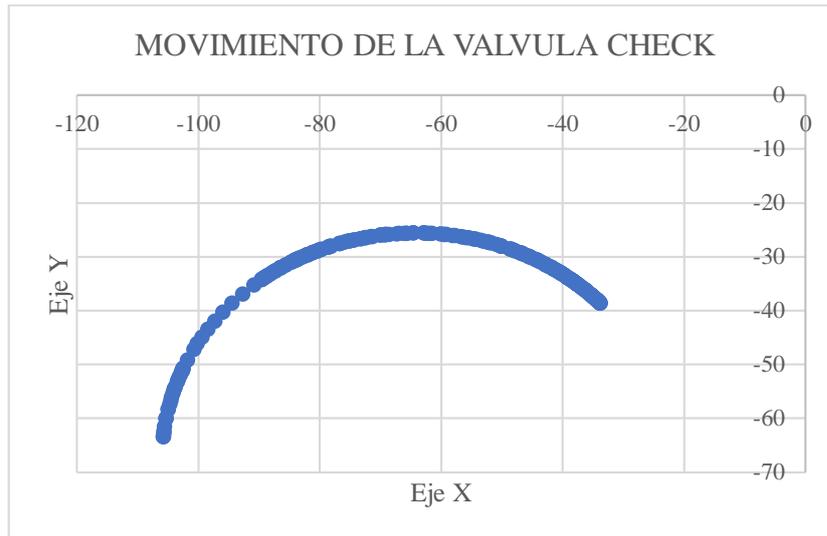
### 5.5.5 Mecanismo de eslabones pequeños

En este caso al igual que el anterior se mantuvo constante el diámetro de la tapa en 80 mm y se varió la longitud de los eslabones hasta una longitud de 50 mm, la acción de la gravedad y la fuerza hidráulica es la misma. En la siguiente imagen se puede observar el efecto de estas condiciones sobre el mecanismo.



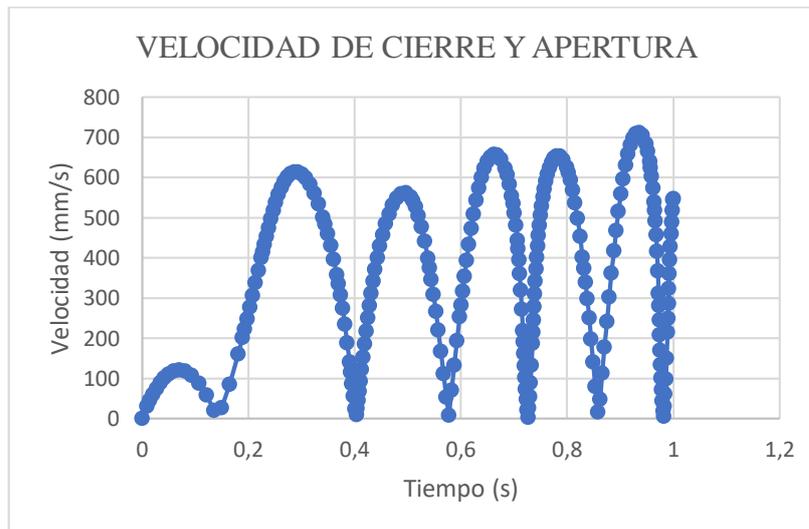
**Figura 5.29.** Simulación del mecanismo de eslabones pequeños.

En el caso de eslabones con una medida igual o menor a 50 mm se puede apreciar que el movimiento de la tapa tiene un recorrido de 160°, lo cual podría considerarse como un rango adecuado para el funcionamiento de la válvula tipo check. En la siguiente imagen se puede observar el recorrido de la tapa con eslabones pequeños.



**Figura 5.30.** Movimiento del mecanismo de eslabones pequeños.

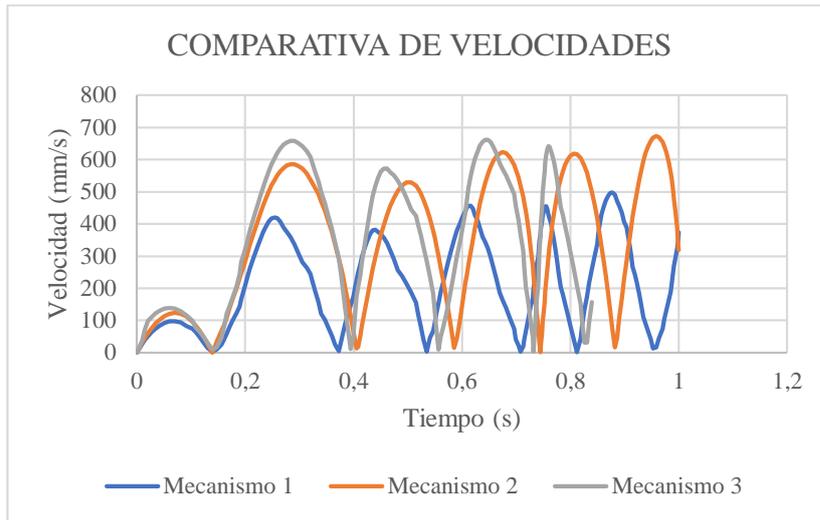
En este caso la velocidad del mecanismo fue de 700 mm/s y un ciclo de apertura y cierre de aproximadamente 0.16 segundos como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 5.31.** Velocidad del mecanismo de eslabones pequeños.

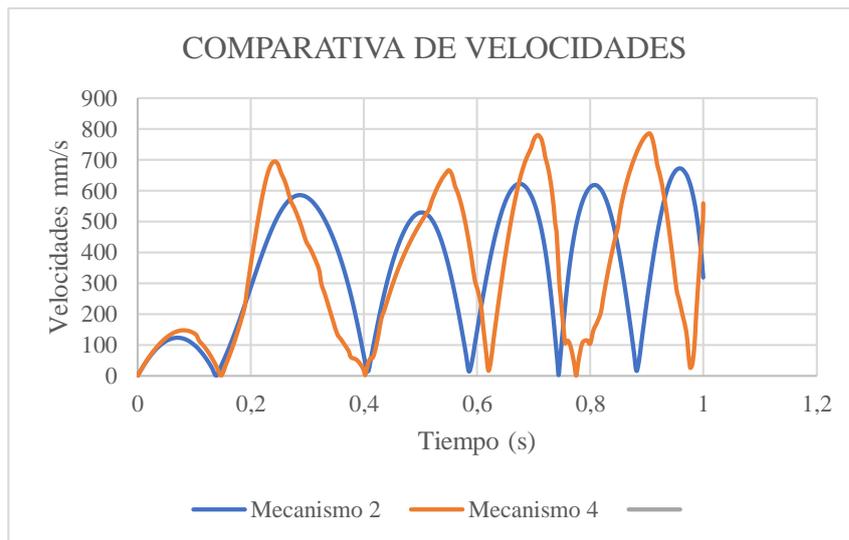
## 5.6 Análisis comparativo

Se realizó un análisis comparativo de las velocidades de accionamiento de los mecanismos 1, 2 y 3 que corresponden a los mecanismos de tapa pequeña ( $D=18\text{mm}$ ), tapa mediana ( $D=60\text{mm}$ ) y tapa grande ( $D=80\text{mm}$ ), respectivamente. En esta gráfica se puede observar que el mecanismo 3 obtuvo una velocidad de 700 mm/s, siendo la más alta de todas.



**Figura 5.32.** Velocidades comparativas de los mecanismos 1, 2 y 3.

Una segunda comparación se realizó en relación a los mecanismos que tienen una variación en la longitud de los eslabones, siendo el mecanismo 2, 4 y 5 los correspondientes a las válvulas con eslabones de tamaño mediano ( $L=90$  mm), eslabones grandes ( $L=180$  mm) y eslabones pequeños ( $L=50$  mm). En este caso el que obtuvo la velocidad más alta de  $800$  mm/s fue el mecanismo con eslabones más grandes.



**Figura 5.33.** Velocidades comparativas de los mecanismos 2, 4 y 5.

## 5.7 Cálculo de pérdidas

En esta sección se realizó un análisis de las pérdidas del ariete hidráulico original con válvulas de muelle en relación a las pérdidas generadas en el ariete hidráulico modificado con válvulas check.

### 5.7.1 Pérdidas ariete hidráulico original

La información del coeficiente de resistencia ( $\zeta$ ) de la bomba original fue obtenido de [33].

**Tabla 5.22.** Pérdidas locales del ariete hidráulico original.

Cantidad	Descripción	$\zeta$	$h_{loc}(c/u)$	$h_{loc}$
1	Filtro de succión	0.1	0.01978033	0.01978033
2	Codo 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 en Te	0.2	0.03956065	0.03956065
2	Válvula de impulsión (muelle)	7.07	1.39846906	0.69923453
			<b>H<sub>loc_T</sub> (m)</b>	1.21352301

Las pérdidas obtenidas en el ariete hidráulico debido a la gravedad son las mismas para los dos casos tanto para la válvula tipo muelle como para la válvula tipo check.

**Tabla 5.23.** Pérdidas de carga.

Cálculo de pérdidas de carga		
<b>h<sub>inner</sub></b>	0.31495565	m

De la misma manera el cálculo de las pérdidas por fricción hidráulica son las mismas para los dos casos debido a que el diámetro de la tubería es el mismo a 81 mm.

**Tabla 5.24.** Pérdidas locales ariete hidráulico.

Cálculos de pérdidas hidráulicas por fricción
<b>Pérdidas de rozamiento</b>
<b>Datos</b>

Caudal (Q)	0.01	m <sup>3</sup> /s
Tubería estimada ( $\varepsilon$ )	0.0000015	m
Rugosidad absoluta ( $\varepsilon_r$ )	1.6281E-05	
Factor de fricción ( $\lambda$ )	0.016801923	s/u
Longitud tubería (L)	12	m
Diámetro de tubería (D)	0.092131812	m
Gravedad	9.81	m/s <sup>2</sup>
<b>h_roz</b>	0.2500965567	m

### 5.7.2 Pérdidas ariete hidráulico modificado

En el cálculo de ariete hidráulico con válvulas tipo check se debe considerar que los elementos como filtro de succión, codo, válvulas check internas de la cámara y la tubería de descarga, estrechamiento de tuberías y la unión tipo T se mantienen constantes.

**Tabla 5.25.** Pérdidas locales ariete hidráulico modificado.

Cantidad	Descripción	$\zeta$	<b>h_loc(c/u)</b>	<b>h_loc</b>
1	Filtro de succión	0.1	0.01978033	0.01978033
2	Codo 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 en Te	0.2	0.03956065	0.03956065
2	Válvula de impulsión tipo check	2	0.39560652	0.79923453
			<b>H_loc_T (m)</b>	1.31352301

En las pérdidas locales se puede observar que existe una mejora de 0.1 metros utilizando las válvulas tipo check desarrolladas en este documento con respecto a las válvulas tipo muelle del diseño original.

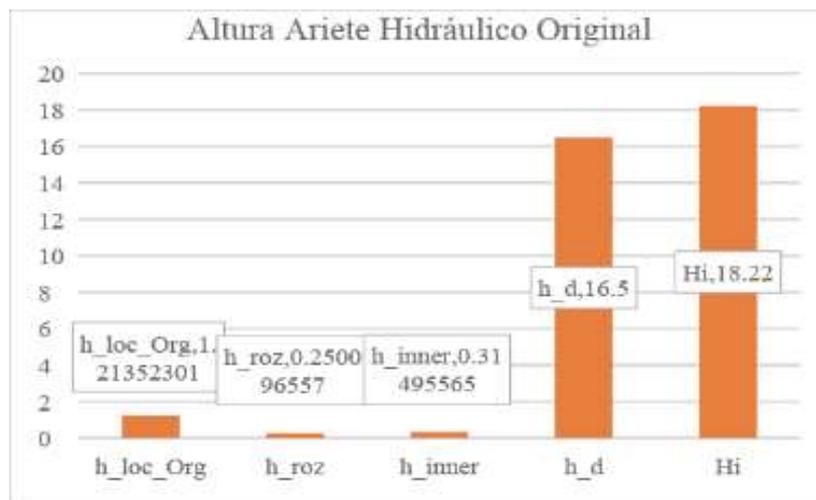
### 5.7.3 Comparación de alturas desarrolladas

Utilizando la ecuación 4.19 se puede obtener la altura desarrollada por el ariete hidráulico original y el modificado, considerando una  $h_d$  para los dos casos de análisis. Estos valores se representan en la siguiente tabla.

**Tabla 5.26.** Altura de descarga.

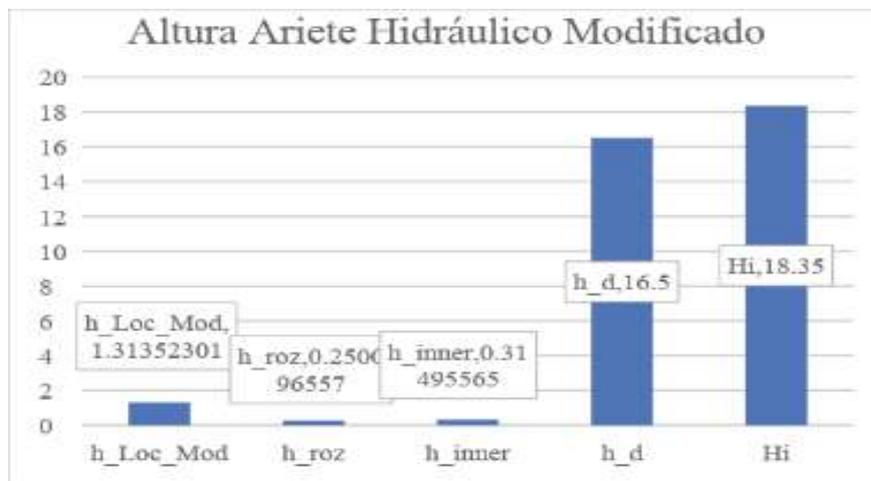
Altura desarrollada por el Ariete		
H <sub>i</sub> _original	18.22	m
H <sub>i</sub> _modificado	18.35	m

En la siguiente gráfica se muestran las pérdidas y la altura máxima que puede generar el ariete original con válvulas tipo muelle.



**Figura 5.34.** Altura generada por el ariete hidráulico original.

En la siguiente figura se muestra la altura máxima generada por el ariete hidráulico con válvulas modificadas tipo check.



**Figura 5.35.** Altura generada por el ariete hidráulico modificado.

## 5.8 Análisis de rendimiento

Existen 3 formas para determinar el rendimiento de un ariete hidráulico que son: rendimiento D'Aubuisson, Rankine y volumétrico los cuales describen el comportamiento del ariete bajo diferentes parámetros o instalación hidráulica, en este caso se realizó una comparación de rendimiento volumétrico entre el ariete hidráulico original con válvulas de muelle y el ariete modificado con válvulas tipo check.

### 5.8.1 Rendimiento volumétrico ariete hidráulico original

Para realizar la comparación adecuada se extrajeron los datos del ariete hidráulico con válvulas de muelle desde [30], estos datos corresponden a un caudal mínimo, medio y máximo con su respectivo rendimiento volumétrico. Los datos obtenidos se presentan a continuación:

**Tabla 5.27.** Rendimiento volumétrico ariete hidráulico original.

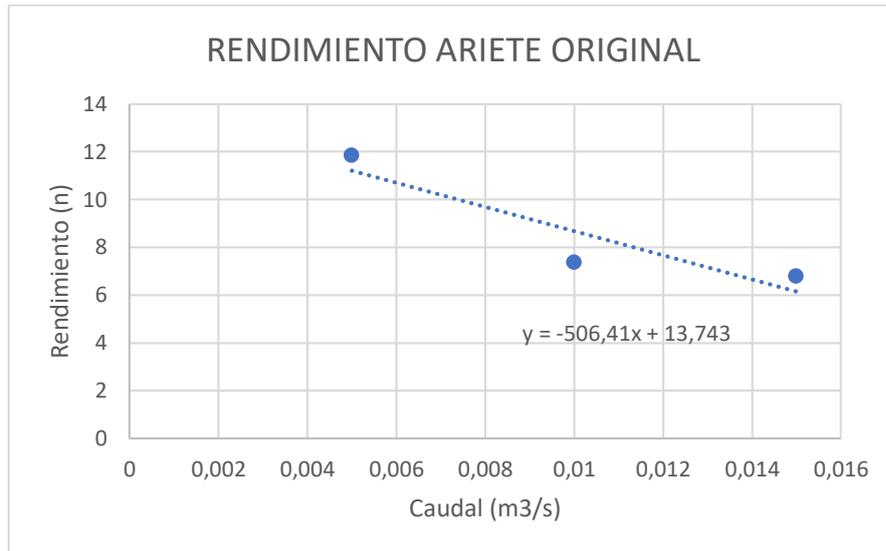
Caudal ( $m^3/s$ )	Rendimiento ( $\eta$ )
0.005	11.86
0.01	7.38
0.015	6.7959

**Fuente:** Los postulantes

El rendimiento volumétrico para este caso fue calculado a través de una relación entre el caudal de entrada y el de salida, dando como resultado un comportamiento que puede ser descrito mediante la siguiente ecuación lineal:

$$\eta_{vol} = -506.41 * Q_{entrada} + 13.743$$

En la siguiente imagen se puede observar el comportamiento del rendimiento del ariete original con las válvulas de muelle.



**Figura 5.36.** Rendimiento del ariete hidráulico original.

### 5.8.2 Rendimiento volumétrico ariete hidráulico modificado

Las pruebas de funcionamiento del ariete hidráulico con las válvulas check se realizaron con una fuente proveniente de un río a través de una tubería de 3 pulgadas conectado directamente a la tubería de suministro, el caudal de salida fue cuantificado mediante recipientes de 20 litros y cronometrando el tiempo de llenado.



**Figura 5.37.** Instalación de ariete hidráulico modificado.

En la siguiente figura se puede observar el accionamiento de la válvula check instalada en el ariete hidráulico.



**Figura 5.38.** Accionamiento de la válvula check.

El rendimiento volumétrico obtenido de las pruebas realizadas se muestra a continuación:

**Tabla 5.28.** Rendimiento volumétrico ariete hidráulico modificado.

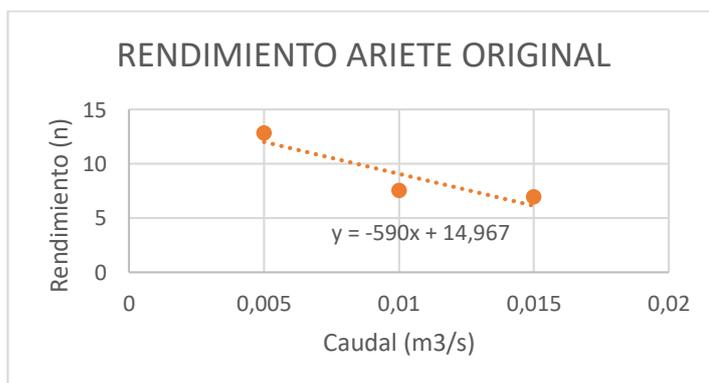
Caudal ( $m^3/s$ )	Rendimiento ( $\eta$ )
0.005	12.8
0.01	7.5
0.015	6.9

**Fuente:** Los postulantes

Entonces, el rendimiento volumétrico se encontró con la relación entre el caudal de entrada y el caudal de salida para la conexión del ariete hidráulico modificado a una línea de agua proveniente de un río.

$$\eta_{vol} = -590.41 * Q_{entrada} + 14.967$$

En la siguiente imagen se puede observar el comportamiento del rendimiento del ariete hidráulico modificado con las válvulas tipo check.



**Figura 5.39.** Rendimiento del ariete hidráulico modificado.

## 5.9 Presupuesto y análisis de impacto

### 5.9.1 Presupuesto para la manufactura de válvulas check modificadas

En esta sección se detalla todos los gastos realizados sean directos o indirectos que requiere la manufactura de las válvulas tipo check modificadas para un análisis de rendimiento volumétrico, entre los rubros directos están presentes los materiales y suministros que conforman el sistema, estos elementos representan costos reales en el mercado adquiridos como materia prima para su elaboración, además de los gastos en movilidad y mano de obra siendo los gastos indirectos respectivamente.

**Tabla 5.29.** Presupuesto para la elaboración de la propuesta Tecnológica.

COSTOS DIRECTOS				
Descripción	Cantidad	Unidad	Valor por unidad	Valor total
Platina de 40 · 4 mm	1	L = mm	20.00	20.00
Barra lisa acero inoxidable, 1/2, 7/8 1	2	12.7, 22.2mm	30.00	30.00
Pernos lisos con rosca M10	8	e = mm	1.25	10.00
Tuercas, rodela	8	U	0.20	1.60
Bisagras	2	U	0.50	1.00
Barra Roscada	1	U	10.00	10.00
Electrodos 6011	1	Libra	1.50	1.50
Acero de Relleno en bridas	2	U	6.00	12.00
Pintura	1	Litro	10.00	10.00
Brocas para acero	2	U	2.00	4.00
Plancha de acero	1	U	16.00	16.00
Cuchilla del Torno	1	U	3.00	3.00
Discos de corte	4	U	1.00	4.00
Discos de desbaste	2	U	2.25	4.50
<b>TOTAL</b>				<b>127.60</b>

**Tabla 5.30.** Costos Indirectos.

COSTOS INDIRECTOS				
Descripción	Cantidad	Unidad	Valor por unidad	Valor total
<b>Transporte</b>	60	U	60.00	60.00
<b>Imprevistos</b>				20.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 80.00</b>

La siguiente tabla detalla los gastos indirectos principales para la modificación de las válvulas tipo check modificadas en el cual está incluido costos reales.

**Tabla 5.31.** Costos de Mano de Obra.

MANO DE OBRA				
Rubro	Cantidad	Unidad	Valor por unidad	Valor total
<b>Torneado, Perforado</b>	8	Horas	5.00	40.00
<b>Soldadura</b>	6	Hora	5.00	30.00
<b>Mano de obra</b>	1	Mes	350.00	700.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 770.00</b>

**Tabla 5.32.** Costos de producción.

COSTOS DE PRODUCCIÓN	
DESCRIPCIÓN	TOTAL
Directos	127.60
Indirectos	850
<b>Total (USD)</b>	<b>977.60 \$</b>

### 5.9.2 Análisis del VAN, TIR Y PRI

Fecha de compra	Activo	Valor de compra	Porcentaje de depreciación	Valor de depreciación anual	Valor diario	Días a depreciar	Valor a depreciar
22/07/2021	Bomba De Ariete Multipulsor Bóxer De Dos Vías De Carga Horizontal.	\$ 977.60	10	97.76	\$ 0.26	30	\$ 8.03

#### Valor actual neto (VAN)

$$VAN = \sum \frac{Fn}{(1+i)^n}$$

Donde:

**Fn:** Flujos netos

**i:** Tasa de descuento

**n:** Periodos

**Tabla 5.33.** Cálculo VAN del ariete hidráulico modificado.

<b>VAN</b>	\$ 360,36
------------	-----------

**Tasa interna de retorno (TIR)**

**Tabla 5.34.** Cálculo TIR.

<b>TIR</b>	9%
------------	----

**Periodo de recuperación de la inversión (PRI)**

$$PRI = a \frac{(b - c)}{d}$$

Donde:

**a:** Año inmediato anterior en que se recupera la inversión.

**b:** Inversión Inicial.

**c:** Flujo de Efectivo Acumulado del año inmediato anterior en el que se recupera la inversión.

**d:** Flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión.

<b>PRI</b>	1,15
------------	------

**5.10 Análisis de impactos**

**5.10.1 Impacto Económico**

En relación con implementaciones de válvulas tipo check en bombas de ariete hidráulico que se encuentran en el mercado, la propuesta tecnológica representa un gran porcentaje de ahorro económico en cuanto a costos de implementación y mantenimiento ya que la utilización de materiales que son de bajo costo, mecanismo es ajustable y de fácil adquisición, determinan una obtención igual o superior para la obtención de un mayor rendimiento volumétrico, a un precio módico y accesible a comparación de la válvulas existentes en el mercado.

### **5.10.2 Impacto tecnológico**

La implementación de este tipo de válvulas tipo check modificadas abarca un análisis de sistemas externos e internos al estar diseñadas en la misma brida de la tubería siendo un diseño innovador, generalmente las válvulas tipo check son elementos estandarizados para su ejecución, de tal manera que la modificación de este tipo de válvulas nos permite aumentar el rendimiento volumétrico, hidráulico y mecánico en la bomba de ariete multipulsor bóxer de dos vías de carga horizontal, además de garantizar un abastecimiento de agua en la cámara mediante el proceso de oscilación y funcionamiento de sus articulaciones, siendo factible el aprovechamiento del agua en el campo que se desee aplicar tomando en cuenta el caudal de suministro para su ejecución, al ser un mecanismo ajustable nos permite realizar mantenimientos y modificaciones acorde a las necesidades de campo.

### **5.10.3 Impacto Ambiental**

La propuesta tecnológica que estamos presentando es netamente amigable con el medio ambiente, ya que la implementación de este sistema no necesita la quema de líquidos combustibles ni nocivos, evitando así la emisión de gases contaminantes para su generación: está estrechamente relacionado con el recurso hídrico que se puede aprovechar en el ríos o reservorios de captación de agua las cuales tienen como finalidad abastecer con el recurso hídrico a sus sembríos de campo siendo factible su ejecución en la bomba de ariete hidráulico la cual su base de funcionamiento es el aprovechamiento del recurso hídrico para el accionamiento de las válvulas check modificadas las cuales cumplirán la función de golpe de ariete sin ningún daño al ambiente que lo rodea a comparación de válvulas que son acopladas en bombas funcionales con combustibles que a la larga generan un efecto de contaminación en el medio.

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

- La fuerza con la que choca el agua contra la tapa de la válvula check es de 21.51 N esta fuerza debe ser contrarrestada con el peso del mecanismo para generar un movimiento oscilatorio periódico.
- La velocidad máxima de cierre y apertura de la válvula check es de 700 mm/s en ciclos de 0.2 segundos, el diámetro de tapa de 81 mm presentó un periodo de cierre y apertura igual a 0.3 segundos.
- Las válvulas tipo muelle utilizadas en la bomba de ariete hidráulico multipulsor boxer tienen un rendimiento de 11.86 para un caudal de entrada de  $0.005 \text{ m}^3/\text{s}$  y la válvula tipo check tiene un rendimiento 12.8.

### 6.2 Recomendaciones

- Instalar un caudalímetro en la entrada y salida del ariete hidráulico multipulsor boxer de dos vías de carga horizontal para realizar una adecuada medición del rendimiento de la bomba.
- Balancear el mecanismo de válvula check mediante la carga externa aplicada en función del caudal de entrada a la bomba.
- Instalar un tanque de captación del agua a una altura mínima de 2 metros con respecto a la posición de la bomba de ariete hidráulico.
- Se recomienda tener una guía de pruebas para determinar el rendimiento de la bomba y comparar con diferentes válvulas de cierre y apertura instalados en la tubería horizontal de carga.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Chero Lizana, “DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE ARIETE HIDRÁULICO,” Universidad de Piura, Piura, 2018.
- [2] Fluideco, “Bomba de Ariete,” *Fluideco*, 2020. <https://fluideco.com/que-es-una-bomba-de-ariete-y-como-funciona/> (accessed Jul. 19, 2021).
- [3] P. Isla Oti, “ARIETE HIDRÁULICO PARA RIEGO. DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE ,” Universidad de Cantabria, Cantabria, 2017.
- [4] A. Saavedra Torres, “Evaluación del rendimiento de la bomba de ariete hidráulico multi-impulsor de Breur,” *Univ. Nac. Ing.*, 2018.
- [5] Salvador de las Heras, *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*, Segunda. Barcelona : Academiques Digitals de la UPC , 2011.
- [6] L. Pérez Sobrevilla, P. Paneque Rondón, and H. De las Cuevas Milán, “Fundamentación de los parámetros de funcionamiento de la máquina hidráulica rotatoria,” *Rev. Ciencias Técnicas Agropecu.*, vol. 14, no. 1, pp. 19–22, 2005.
- [7] R. V. Marbello Pérez, “Bombas hidráulicas rotodinámicas: teoría y aplicaciones,” 2007.
- [8] S. Rengifo Hincapie and J. D. Gallego Cadena, “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE ARIETE HIDRAULICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS,” Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2016.
- [9] D. E. Camacho Ramirez and J. D. Meza Reina, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE ARIETE HIDRÁULICO MULTIPULSOR A ESCALA DE LABORATORIO,” Universidad Central del Ecuador, Quito, 2017.
- [10] J. M. Jimenez, “El ariete hidráulico,” *Fundación Tierra*, La Paz, 2017.
- [11] J. M. R. Guerrero and L. L. Gutiérrez, “El ariete hidráulico. Proyecto e instalación en Ntongui (Angola),” *Diseño y Tecnol. para el Desarro.*, vol. 0, no. 1, pp. 224–237, Jun. 2014.
- [12] J. Quiroga, C. Sierra, and G. Biancha, “Análisis del ariete hidráulico para diferentes configuraciones,” *Rev. UIS.Ingenierías*, vol. 12, no. 2, pp. 29–34, 2013.
- [13] Y. Huang, Z. Feng, and J. Wang, “A control based on PLC of new air and return air valves in air conditioning unit,” *Proc. - 2012 Int. Conf. Comput. Sci. Electron. Eng. ICCSEE 2012*, vol. 3, pp. 456–459, 2012, doi: 10.1109/ICCSEE.2012.89.
- [14] J. R. Malca Abanto and R. A. Quiroz Gamboa, “EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA POR IMPULSIÓN UTILIZANDO BOMBAS DE

- ARIETE HIDRÁULICO CON VÁLVULAS EN SERIE Y EN PARALELO,” Universidad Privada del Norte, Cajamarca, 2016.
- [15] C. Borrás, “Válvulas y su funcionamiento.,” *Caloryfrio*, 2020. <https://www.caloryfrio.com/sanitarios/tuberias-accesorios/que-es-una-valvula-y-para-que-sirve.html> (accessed Jul. 20, 2021).
- [16] M. A. Gonzales Huamani, “Diseño e instalación de una bomba de ariete hidráulico con partes de material reciclado para la captación y almacenamiento de agua Calango-Cañete,” *Repos. Inst. - UCV*, 2020.
- [17] Quima, “¿Qué es una Válvula Check?,” *Quima*, 2018. <https://quima.com/blogs/blog/que-es-una-valvula-check> (accessed Jul. 20, 2021).
- [18] AVR Válvulas, “Válvulas de retención de clapeta.,” *Avkvalvulas*, 2018. <https://www.avkvalvulas.com/es-es/más-información-y-soluciones/características-de-los-productos/válvulas-de-retención/válvulas-de-retención-de-clapeta> (accessed Jul. 20, 2021).
- [19] API STD 594, “Check Valves: Flanged, Lug, Wafer, and Butt-welding,” 2017, 2021. [https://global.ihs.com/doc\\_detail.cfm?document\\_name=API STD 594&item\\_s\\_key=00010608](https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?document_name=API STD 594&item_s_key=00010608) (accessed Jun. 05, 2021).
- [20] ANSI, “Norma ANSI,” *Techlib*, 1918. <https://techlib.net/definition/ansi.html>.
- [21] MSS, “MSS - Home,” 2021. .
- [22] INEN, “VALVULAS DE COMPUERTA CON SELLO METÁLICO PARA SUMINISTRO DE AGUA.,” *Norma Técnica Ecuatoriana*, 2011.
- [23] S. Guerrero Murcia, “CATALOGACIÓN DE VÁLVULAS MANUALES, TUBERÍA Y ACCESORIOS EN UNA PLANTA PAPELERA,” Universidad Autónoma de Occidente, Cali, 2010.
- [24] V. Fernández Pazo, “Articulaciones Mecánicas,” *Monogrant*, 2015. <http://mongrat.com/la-articulacion-mecanica/> (accessed Jun. 06, 2021).
- [25] L. Claudio Guerrero, “CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA RECIPROCANTE DE TRIPLE ÉMBOLO,” ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, Quito, 2018.
- [26] F. Albert Ginjaume, *Ejecución de procesos de mecanizado, conformado y montaje*, Segunda. Madrid : Paraninfo, 2005.
- [27] Modrego, “Definición de Amoladoras,” 2019. <https://www.gold-agents.com/product.aspx?id=42948298> (accessed May 18, 2021).

- [28] C. Pérez, “Amoladora de velocidad variable,” *Dewalt*, 2018. <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/para-que-sirve-la-velocidad-variable-en-una-amoladora#:~:text=La velocidad variable en una amoladora es una característica que, en la superficie o borde.>
- [29] B. Esteban and L. Lasluisa, “Analysis of SMAW welding and its applications,” *CITED*, 2021.
- [30] W. R. Jiménez Atiaja and K. M. Tituana Chispón, “DISEÑO DE UN ARIETE HIDRAÚLICO MULTIPULSOR DE DOS VÍAS DE CARGA HORIZONTAL,” Universidad Técnica de Cotopaxi, 2020.
- [31] J. C. Moreno Marín and S. H. Avalos, “Resumen de Física Dinámica,” Alicante, 2015.
- [32] E. Jimenez and M. Cuevas, “CALCULO DEL CAMBIO DE ENTALPIA EN UNA REACCION DE COMBUSTION Y TEMPERATURA DE FLAMA ADIABATICA.,” Lambayeque, 2013.
- [33] Arflu, “Válvula de Retención,” 2018. Accessed: Jul. 22, 2021. [Online]. Available: <https://arflu.com/files/2016/10/CLASE 600-17.pdf>.
- [34] A. Besa González and F. Valero Chulía, *Diseño de máquinas*. Valencia : Editorial Universitat Politècnica de València, 2016.
- [35] L. Cano, “FACTOR DE SEGURIDAD Y ESFUERZO DE DISEÑO PERMISIBLE,” *Academia*, 2018, Accessed: Jul. 22, 2021. [Online]. Available: [https://www.academia.edu/23012894/FACTOR\\_DE\\_SEGURIDAD\\_Y\\_ESFUERZO\\_DE\\_DISEÑO\\_PERMISIBLE\\_ESFUERZO\\_DE\\_TRABAJO](https://www.academia.edu/23012894/FACTOR_DE_SEGURIDAD_Y_ESFUERZO_DE_DISEÑO_PERMISIBLE_ESFUERZO_DE_TRABAJO).

## 8 ANEXOS

### 8.1 METODO DE CÁLCULO

Anexo	MEMORIA DE CÁLCULO	1/1
<p><b>Potencia de la bomba</b></p> $P = \gamma * q * H_d$ $P = 9800 \frac{N}{m^3} * 5.93 * 10^{-4} \frac{m^3}{s} * 18.2 m$ $P = 94.5W$ <p><b>Volumen de agua en la tubería de entrega</b></p> $V_{te} = \frac{\pi * d^2}{4} * H_d$ $V_{te} = \frac{\pi * (0.0228m)^2}{4} * 18.22m$ $V_{te} = \frac{\pi * (0.228m)^2}{4} * 18.22m$ $V_{te} = 0.0074m^3$ <p><b>Cálculo de la presión mínima</b></p> $P_m = H_d * \gamma$ $P_m = 18.2m * 9800 \frac{N}{m^3}$ $P_m = 178.36kPa$		

### Cálculo de la presión Máxima

$$V_{1_{aire}} = V_{ca} - V_{agua}$$

$$V_{1_{aire}} = 0.0074m^3 - 0.0074 * 0.1m^3$$

$$V_{1_{aire}} = 0.00666m^3 = 6.66 * 10^{-3}m^3$$

Se debe asumir un valor de golpes por minuto del ariete igual a  $50 \frac{ciclos}{min}$ .

$$V_{ciclos} = \frac{q}{f}$$

$$V_{ciclos} = \frac{5.93305 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{50 \frac{ciclos}{min} * \frac{1 min}{60s}}$$

$$V_{ciclos} = \frac{5.93305 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{0.83333 \frac{ciclos}{s}}$$

$$V_{ciclos} = 7.12 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$V_{2_{aire}} = V_{1_{aire}} - V_{ciclo}$$

$$V_{2_{aire}} = 0.00666m^3 - 7.12 * 10^{-4}m^3$$

$$V_{2_{aire}} = 5.948 * 10^{-3}m^3$$

Procedemos a calcular la presión máxima con la ecuación

$$P_m * V_{1_{aire}} = P_M * V_{2_{aire}}$$

$$P_M = \frac{P_m * V_{1_{aire}}}{V_{2_{aire}}}$$

$$P_M = \frac{178.36kPa * 6.66 * 10^{-3}m^3}{5.948 * 10^{-3}m^3}$$

$$P_M = 199.710kPa$$

### Cálculo de celeridad

$$k = \frac{10^{10}}{\epsilon}$$

$$k = \frac{10^{10}}{2 * 10^{10}}$$

$$k = 0.5$$

A continuación, calculamos la celeridad.

$$c = \frac{9900}{\sqrt{4.83 + k \frac{D}{e}}}$$

$$c = \frac{9900}{\sqrt{4.83 + 0.5 \left( \frac{81.2mm}{2.5mm} \right)}}$$

$$c = 2200 m/s$$

### Cálculo de sobrepresión

$$P = \rho * V * c$$

$$P = 999.359 \frac{Kg}{m^3} * 2.04 \frac{m}{s} * 2200 \frac{m}{s}$$

$$P = 4.48MPa$$

### Cálculo caudal libre

$$Q_l = V_1 * A_1$$

$$Q_l = 2.04 \frac{m}{s} * \pi * \left( \frac{0.0812}{2} m \right)^2$$

$$Q_l = 10.56 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

**Velocidad del fluido**

$$V_c = \frac{Q_l}{A_c}$$

$$V_c = \frac{10.56 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4} (0.0812m)^2}$$

$$V_c = \frac{10.56 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4} (0.0812m)^2}$$

$$V_c = 2.04m/s$$

**Fuerza que actúa sobre la válvula check**

$$F = \rho * Q_l * V_c$$

$$F = 999.359 \frac{Kg}{m^3} * 10.56 * 10^{-3} \frac{m^3}{s} * 2.04 \frac{m}{s}$$

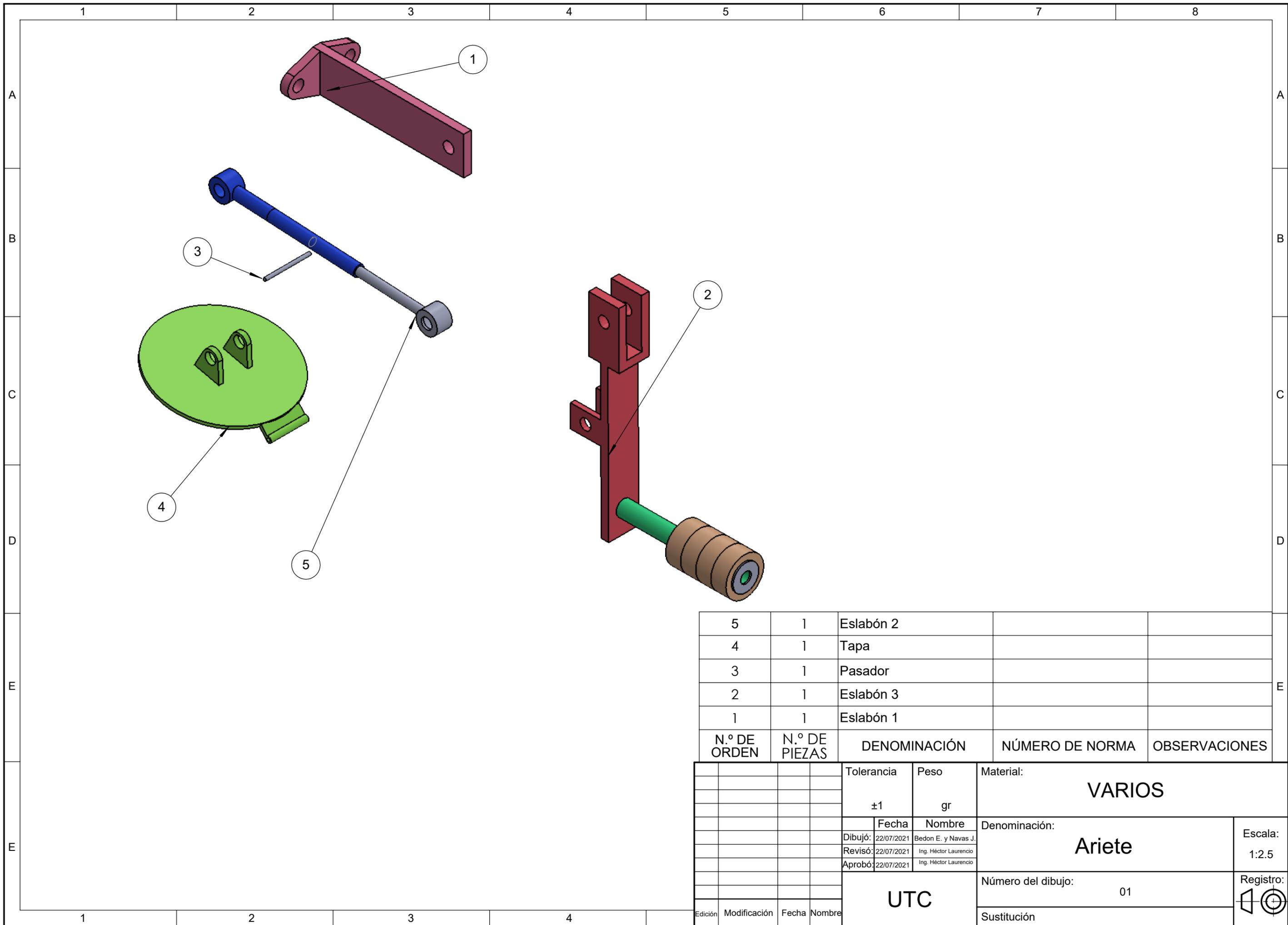
$$F = 21.51 N$$

## 8.2 FOTOGRAFÍAS

Anexo	FOTOGRAFÍAS DE CONSTRUCCIÓN	1/1
	 	
	 	
	 	
	 	
	 	



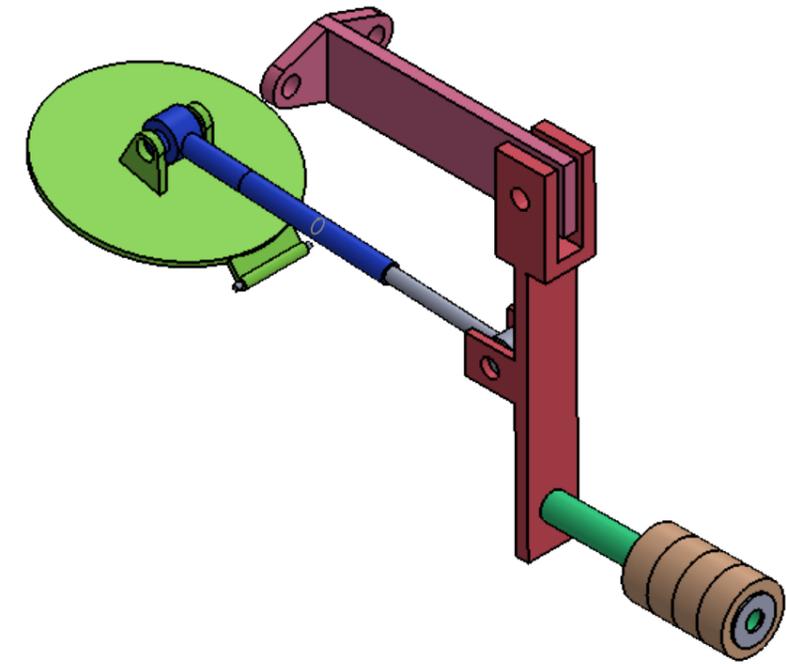
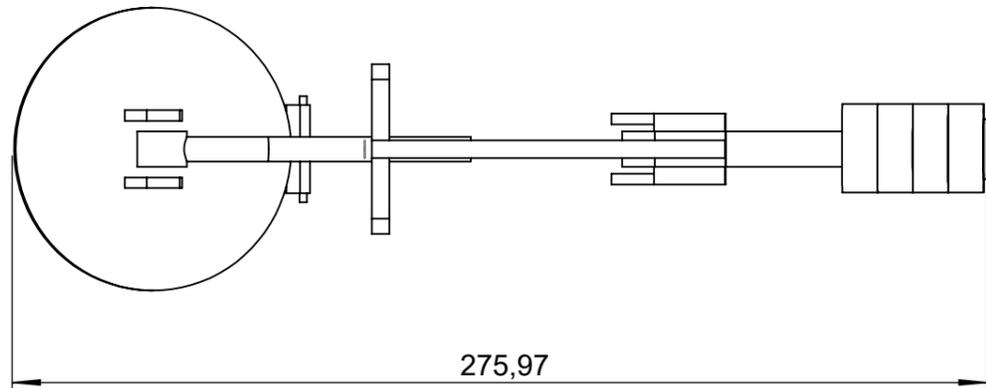
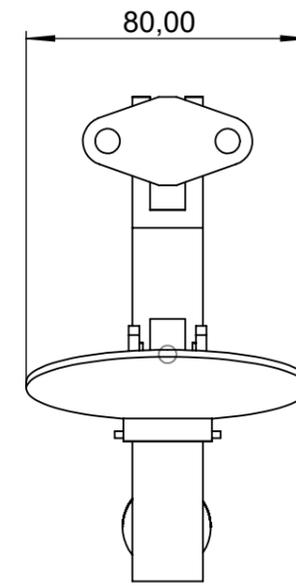
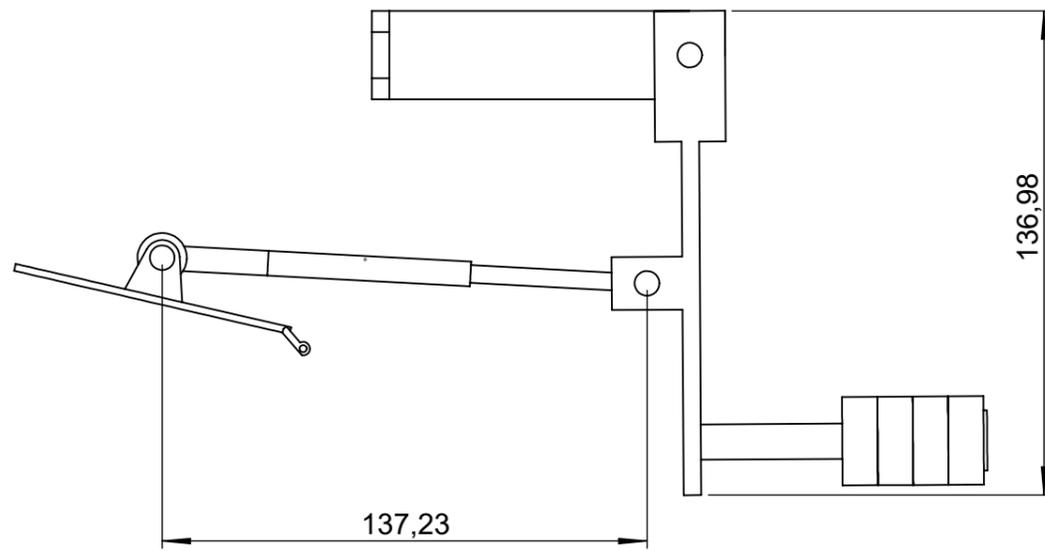
# 8.3 PLANOS



N.º DE ORDEN	N.º DE PIEZAS	DENOMINACIÓN	NÚMERO DE NORMA	OBSERVACIONES
5	1	Eslabón 2		
4	1	Tapa		
3	1	Pasador		
2	1	Eslabón 3		
1	1	Eslabón 1		

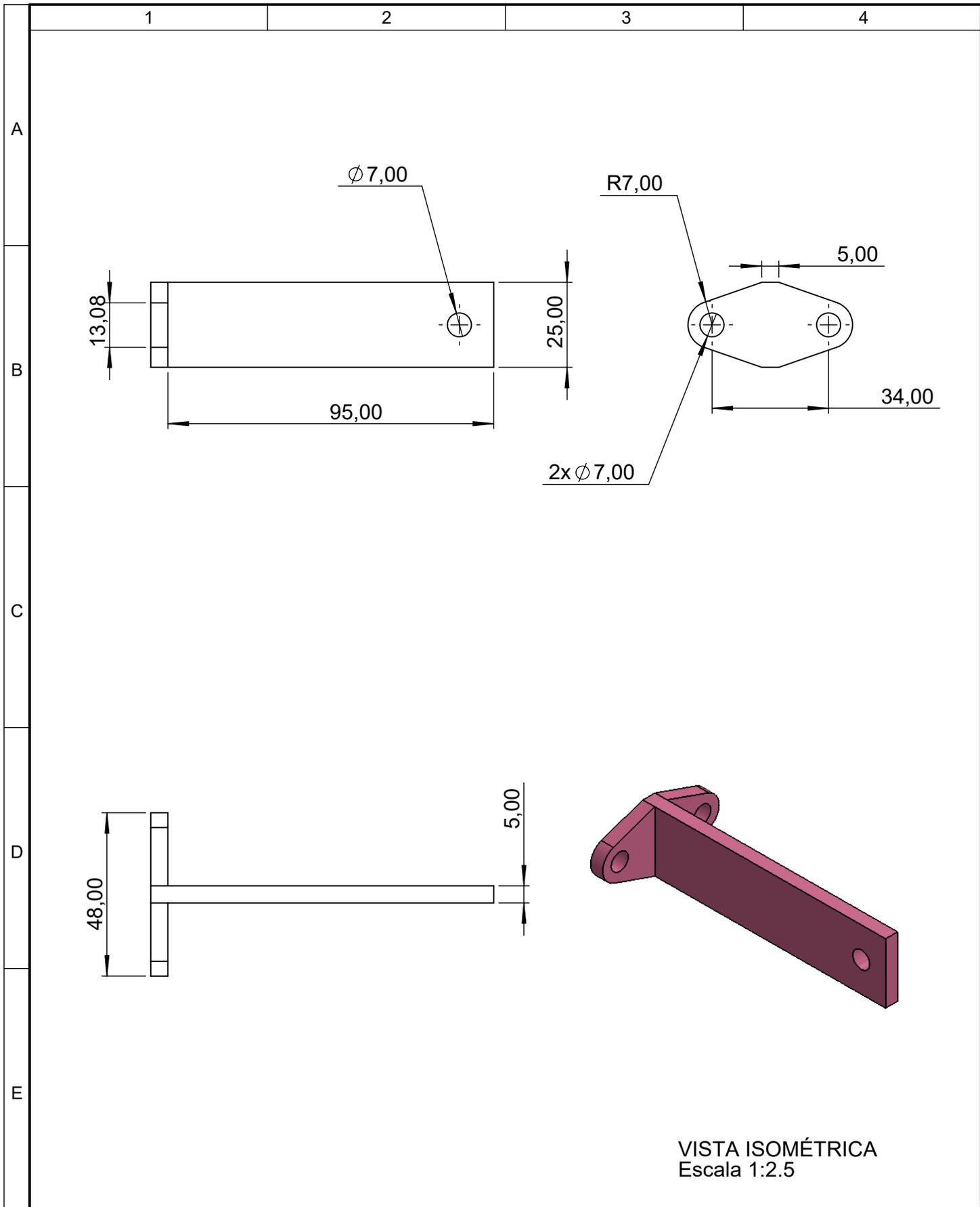
  

Tolerancia	Peso	Material:		
±1	gr	VARIOS		
Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:	
Dibujó: 22/07/2021	Bedon E. y Navas J.			
Revisó: 22/07/2021	Ing. Héctor Laurencio			
Aprobó: 22/07/2021	Ing. Héctor Laurencio	Número del dibujo:	Registro:	
UTC				01
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustitución



VISTA ISOMÉTRICA  
Escala 1:2.5

				Tolerancia	Peso	Material:	
				±1	gr	VARIOS	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	22/07/2021	Bedon E. y Navas J.	Ariete
				Revisó:	22/07/2021	Ing. Héctor Laurencio	
				Aprobó:	22/07/2021	Ing. Héctor Laurencio	
				UTC		Número del dibujo:	02
				Edición	Modificación	Fecha	Nombre
							Sustitución
							Registro:
							1:2.5



VISTA ISOMÉTRICA  
Escala 1:2.5

				Tolerancia	Peso	Material:	
				±1	gr		
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>Eslabón 1</b>	Escala: 1:2.5
			Dibujó:	22/07/2021	Bedon E. y Navas J.		
			Revisó:	22/07/2021	Ing. Héctor Laurencio		
				Aprobó:	22/07/2021	Ing. Héctor Laurencio	
				<b>UTC</b>		Número de dibujo:	Registro: 
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Sustitución			

1

2

3

4

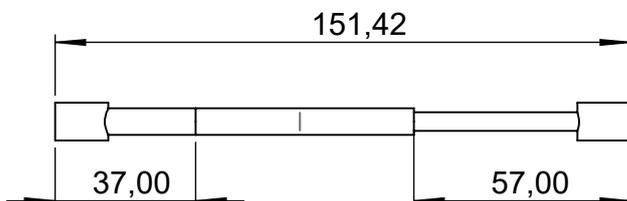
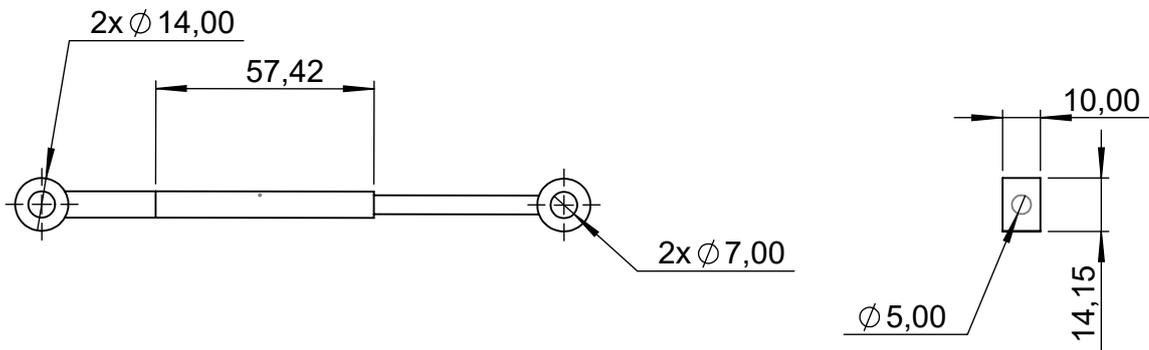
A

B

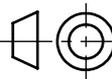
C

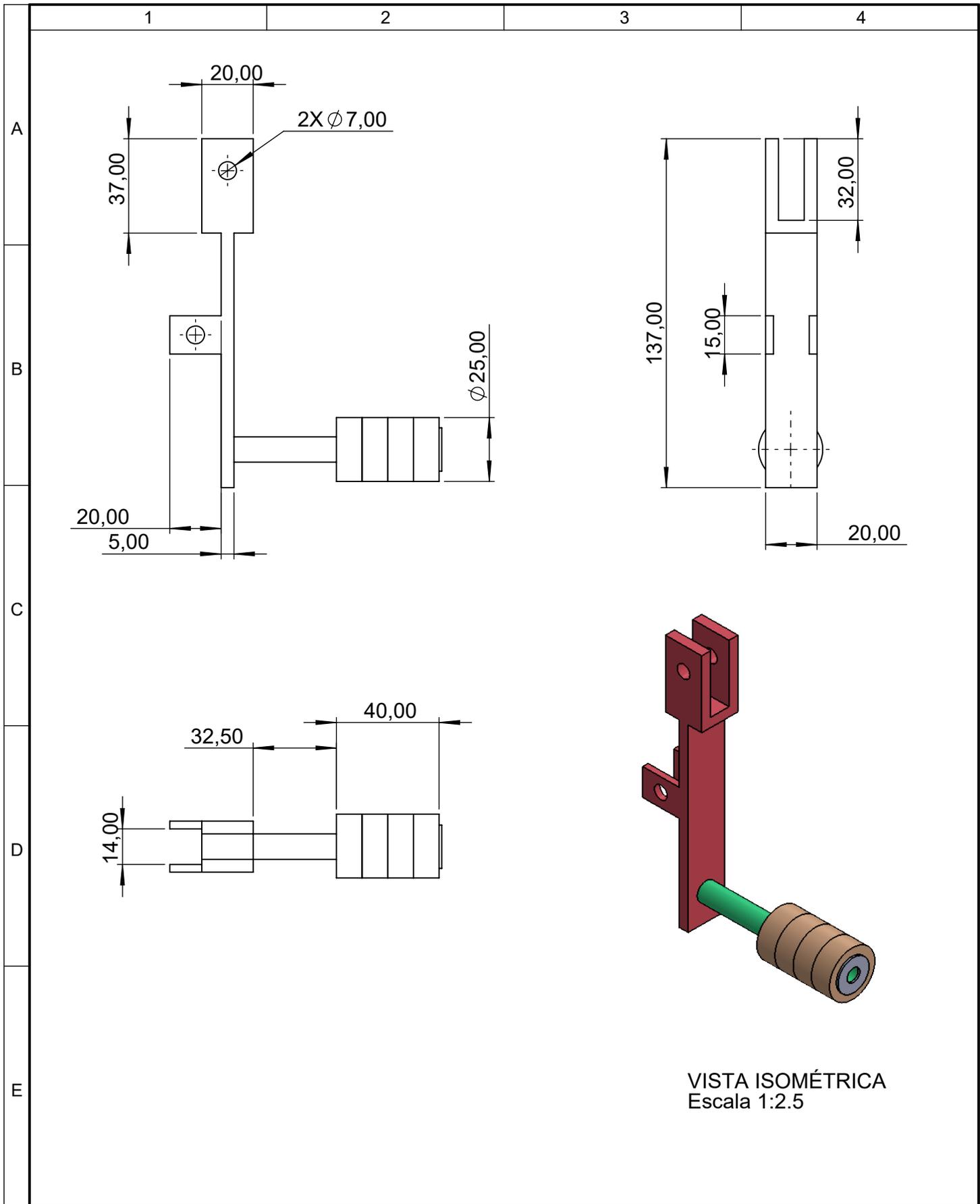
D

E



VISTA ISOMÉTRICA  
Escala 1:2.5

				Tolerancia	Peso	Material:	
				±1	gr		
				Fecha	Nombre	Titulo:	
				Dibujó: 22/07/2021	Bedon E. y Navas J.	<b>Eslabón 2</b>	
				Revisó: 22/07/2021	Ing. Héctor Laurencio		
				Aprobó: 22/07/2021	Ing. Héctor Laurencio		
				<b>UTC</b>		Número de lámina:	Registro:
						04	1:2.5
Edición	Modificación	Nombre	Fecha			Sustitución	
							

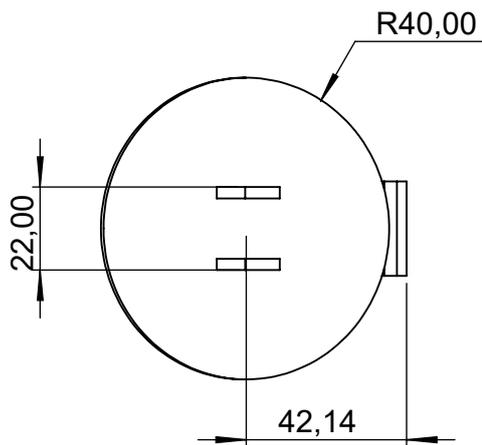
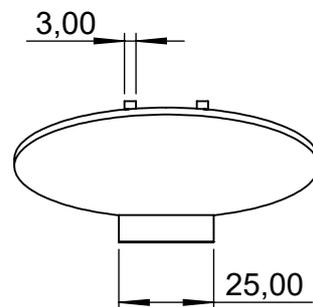
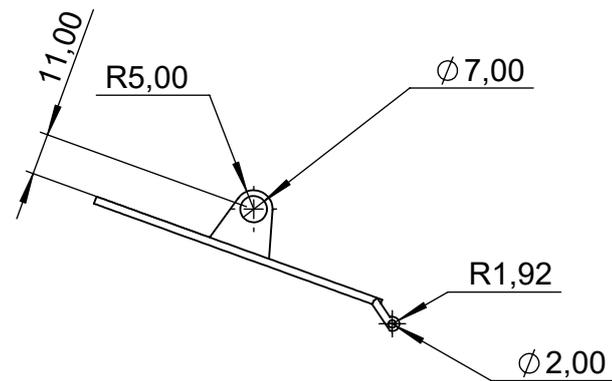


VISTA ISOMÉTRICA  
Escala 1:2.5

				Tolerancia	Peso	Material:	
				±1	gr		
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dibujó: 22/07/2021	Bedon E. y Navas J.	<b>Eslabón 3</b>	
				Revisó: 22/07/2021	Ing. Héctor Laurencio		
				Aprobó: 22/07/2021	Ing. Héctor Laurencio		
				<b>UTC</b>		Número de dibujo:	Registro:
							05
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Sustitución			

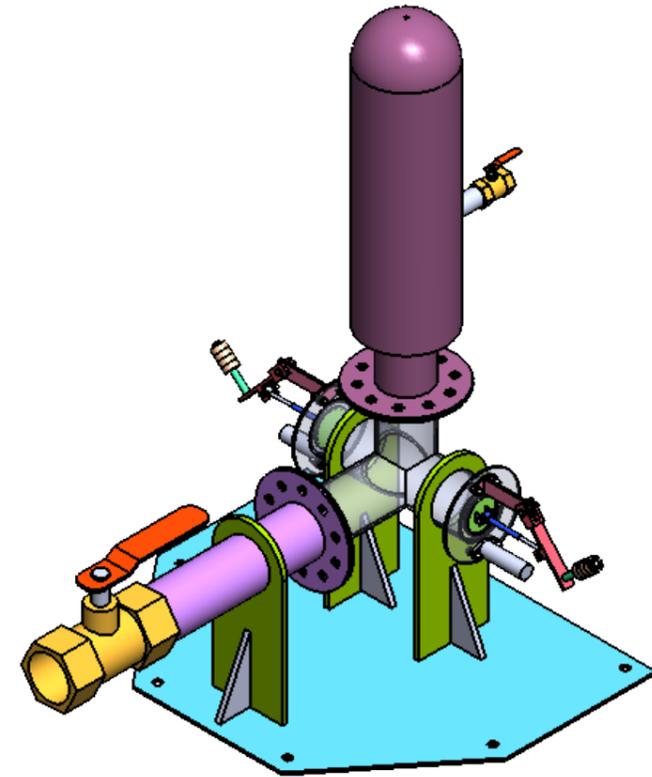
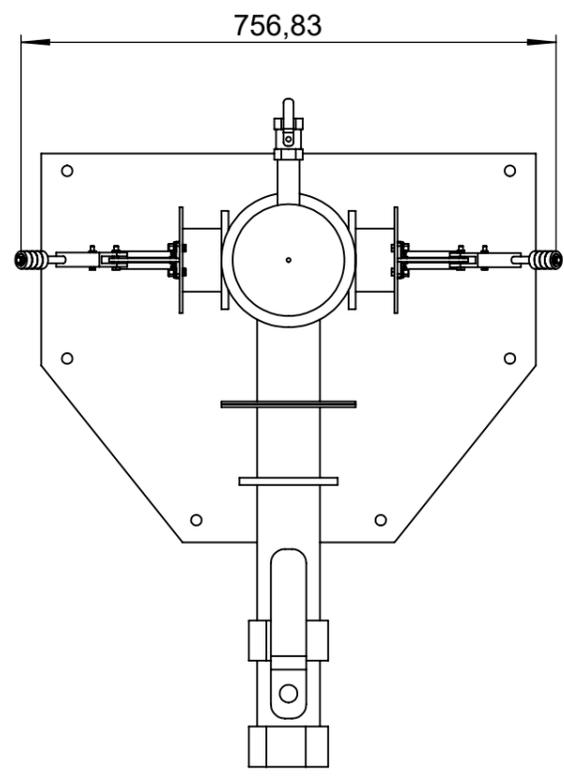
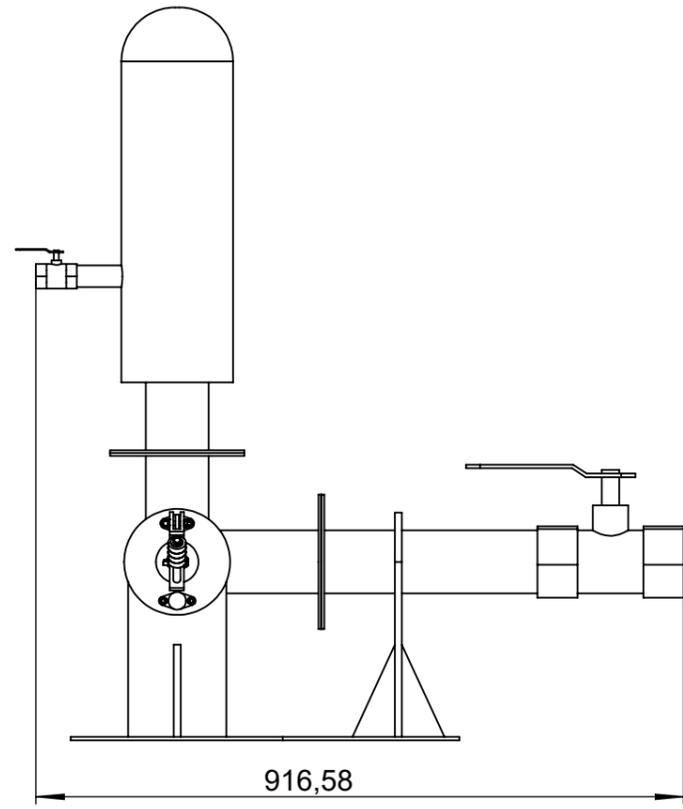
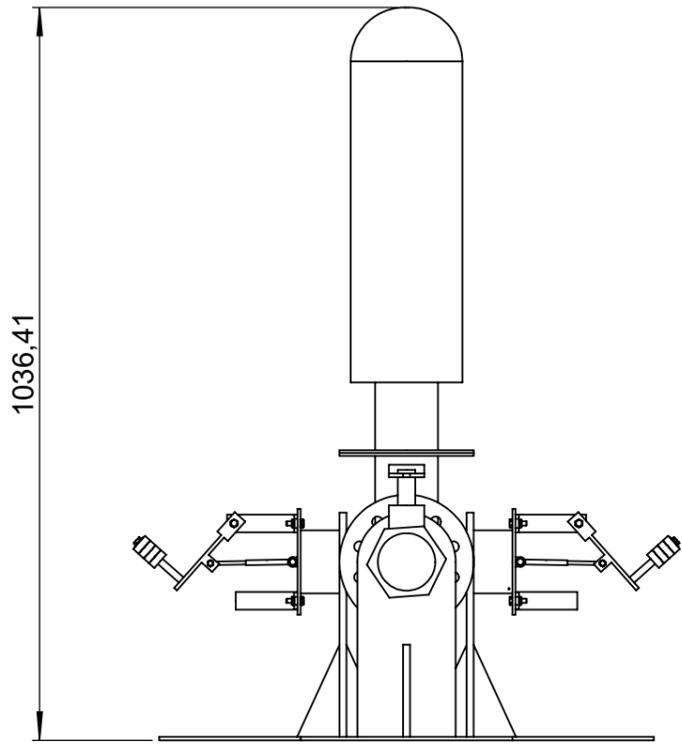
Escala:  
1:2.5





VISTA ISOMÉTRICA  
Escala 1:2.5

				Tolerancia	Peso	Material:	
				±1	gr		
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>Tapa</b>	Escala: 1:2.5
				Dibujó: 22/07/2021	Bedon E. y Navas J.		
				Revisó: 22/07/2021	Ing. Héctor Laurencio		
				Aprobó: 22/07/2021	Ing. Héctor Laurencio		
				<b>UTC</b>		Número de dibujo:	Registro: 
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Sustitución			



				Tolerancia	Peso	Material:	
				±1	gr	VARIOS	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	22/07/2021	Bedon E. y Navas J.	Bomba de Ariete multipulsor bóxer de dos vías de carga horizontal
				Revisó:	22/07/2021	Ing. Héctor Laurencio	
				Aprobó:	22/07/2021	Ing. Héctor Laurencio	
				UTC		Número del dibujo:	07
				Edición	Modificación	Fecha	Nombre
							Sustitución
							Registro:
							1:10