



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE ARIETE
HIDRÁULICO PARA LA COMUNIDAD “CHILCAPAMBA” DEL CANTÓN
MOCHA.”**

AUTOR: Kevin Ernesto Chicaiza Palacios

TUTOR: Ing. Mg Luis Eduardo Escobar Luna

AMBATO - ECUADOR

Enero – 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: " **DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE ARIETE HIDRÁULICO PARA LA COMUNIDAD "CHILCAPAMBA" DEL CANTÓN MOCHA.** " elaborado por el Sr. **Kevin Ernesto Chicaiza Palacios**, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1804894341 estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica,

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes
- Está concluido en su totalidad

Ambato, enero 2022

.....

Ing. Mg. Luis Eduardo Escobar Luna

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Kevin Ernesto Chicaiza Palacios**, portador de la C.I. 1804894341 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Proyecto Técnico con el tema "**DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE ARIETE HIDRÁULICO PARA LA COMUNIDAD “CHILCAPAMBA” DEL CANTÓN MOCHA**" así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor de la investigación, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, enero 2022

A handwritten signature in blue ink, reading "CHILCAIZA PALACIOS", enclosed within a large, stylized blue oval scribble.

.....

Kevin Ernesto Chicaiza Palacios

C.I. 1804894341

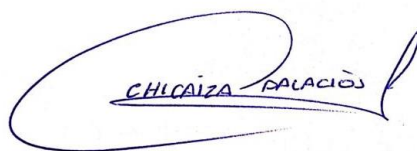
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimonial de mi Proyecto Técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, enero 2022

A handwritten signature in blue ink, reading "CHICAIZA PALACIOS", enclosed within a large, stylized oval loop. Below the signature is a horizontal dotted line.

Kevin Ernesto Chicaiza Palacios

C.I. 1804894341

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por el estudiante Kevin Ernesto Chicaiza Palacios de la carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: " **DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE ARIETE HIDRÁULICO PARA LA COMUNIDAD "CHILCAPAMBA" DEL CANTÓN MOCHA.**"

Ambato, enero 2022

Para constancia firman:

.....
Ing. Mg. Santiago Paul Cabrera Anda
Miembro Calificador

.....
Ing. Mg. Alex Santiago Mayorga Pardo
Miembro Calificador

DEDICATORIA

Esta dedicatoria es en memoria de mi abuela, sin su educación, sin sus sacrificios, sin sus consejos, sin su ayuda desinteresada, yo no estaría aquí.

A mis padres Carlos y Norma, además a mi abuelito por su apoyo moral y finalmente a mi hermana por su apoyo incondicional. Espero que estas personas importantes en mi vida me sigan guiando, aconsejando y apoyando para día a día poder crecer en lo personal y profesional.

AGRADECIMIENTO

Son muchas personas que han contribuido al proceso y conclusión de este proyecto, en primer lugar, agradezco sinceramente a los profesores de la carrera de Ingeniería Mecánica por haber impartido sus conocimientos hacia mi persona, durante el pasar de los semestres, a mi tutor Ing. Mg. Luis Eduardo Escobar Luna por haber confiado en mi conocimiento y la aptitud necesaria para el desarrollo de este proyecto técnico, igualmente a mis calificadores Ing. Mg. Santiago Cabrera y Ing. Mg. Alex Mayorga

ÍNDICE GENERAL

PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Marco teórico	3
1.3.1 Mecánica de fluidos	3
1.3.2 Fluidos.....	3
1.3.3 Clasificación de los fluidos	4
1.3.4 Máquinas hidráulicas.....	5
1.3.5 Bomba de ariete hidráulico	8
1.3.6 Fenómeno del golpe de ariete	14
1.3.7 Simulación	15
1.3.7 Dinámica de fluidos computacionales	16
1.3.8 Mallado	18
1.3.9 Métrica	20

1.3.10 Calidad Ortogonal	21
1.3.11 Oblicuidad	21
1.3.12 Fluido	22
CAPÍTULO II	24
METODOLOGÍA	24
2.1 Materiales	25
2.2 Métodos	27
2.2.1 Diseño de la investigación	27
2.2.2 Enfoque de la investigación	28
2.2.3 Población y muestra	28
2.2.4 Técnica de recolección de datos	28
2.2.5 Instrumentos de recolección de datos	29
2.2.6 Herramientas para el procesamiento de datos	29
2.2.7 Método de proceso de diseño y simulación	29
CAPÍTULO III	33
ANÁLISIS DE RESULTADOS	33
3.1 Selección de alternativas	33
3.2 Diseño de la bomba de ariete hidráulico	38
3.2.1 Parámetros de diseño	38
3.3 Cálculo de la longitud de la tubería de alimentación	40
3.4 Cálculo del diámetro de la tubería de alimentación (unidades)	41
3.5 Cálculo de la tubería de descarga	43
3.6 Longitud de la tubería de descarga	44
3.7 Cálculo de velocidad a lo largo de la tubería	44
3.8 Determinación del régimen de fluidos	45
3.9 Rugosidad relativa	46
3.10 Factor de fricción	46
3.11 Pérdidas por fricción	47
3.12 Presión al inicio del ariete	48
3.13 Válvula de impulso	49
3.13.3 Pérdidas hidráulicas	51

3.13.8 Cálculo de caudal en un ciclo	54
3.13.9 Cálculo de la energía cinética	55
3.13.10 Cálculo de presiones máximas y mínimas en el interior del ariete.....	56
3.14 Cálculo y dimensionamiento del tanque de presión.....	57
3.14.1 Presión inicial en el tanque	57
3.15 Volumen del tanque	58
3.15.1 Volumen de la cámara de aire.....	58
3.15.2 Volumen de agua en el tanque de presión	59
3.15.3 Cálculo de volumen de aire al inicio del proceso	59
3.15.4 Volumen al final del proceso	60
3.15.5 Presión final en la cámara	60
3.16 Modelamiento de la bomba de ariete	61
3.16.1 Diseño de las partes	62
3.17 Propuesta de simulación.....	71
3.17.1 Detalles del mallado.....	78
3.17.2 Detalles de procesado	79
3.17.3 Resultados de las simulaciones	84
3.18 Verificación de los resultados	89
CAPÍTULO IV	90
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
4.1 Conclusiones	90
4.2 Recomendaciones.....	91
BIBLIOGRAFÍA	92
ANEXOS	96
SIMBOLOGÍA.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principio de la mecánica de fluidos.	3
Figura 2. Ejemplificación de fluido no newtoniano	4
Figura 3. Ejemplificación de fluido newtoniano	5
Figura 4. Bomba de ariete hidráulico instalada.	8
Figura 5. Principio de la mecánica de fluidos.	10
Figura 6. Bomba de ariete en sistemas de riego.	12
Figura 7. Bomba de ariete doméstica.....	12
Figura 8. Bomba de ariete.....	13
Figura 9. Fenómeno del golpe de ariete.....	15
Figura 10. Detalles de simulación de discos cerámicos.....	16
Figura 11. Simulación de fluidos dentro de un camión.	17
Figura 12. Detalles de post-procesado en openfoam.	18
Figura 13. Mallado 2D y 3D no estructurado.	19
Figura 14. Mallado 2D y 3D estructurado.	20
Figura 15. Escala para orthogonal quality.	21
Figura 16. Escala para skewness.	21
Figura 17. Dinámica de fluidos CFD.	23
Figura 18. Diagrama general del desarrollo del proyecto.....	30
Figura 19. Flujograma del proceso de diseño.	31
Figura 20. Diagrama del proceso de simulación.....	32
Figura 21. Bomba de ariete con una sola válvula de impulsión.	34
Figura 22. Bomba de ariete multipulsor.	34
Figura 23. Bomba de ariete sin cámara de aire.	35
Figura 24. Fotografías del terreno.....	40
Figura 25. Partes de la bomba.....	40
Figura 26. Puntos a considerar	48
Figura 27. Esquema de la válvula de impulso.	50
Figura 28. Esquema del sistema terminado.	61

Figura 29. Cuerpo de la bomba.....	62
Figura 30. Válvula de impulso.....	63
Figura 31. Cilindro de presión.	64
Figura 32. Brida.	64
Figura 33. Tubería de ingreso.	65
Figura 34. Tubería de descarga.....	66
Figura 35. Codo no normalizado.	66
Figura 36. Codo normalizado.	67
Figura 37. Tornillo, tuerca y arandela.....	67
Figura 38. Modelo parametrizado frontal.	68
Figura 39. Modelo parametrizado lateral.....	68
Figura 40. Ensamble de la bomba de ariete.	69
Figura 41. Vista explosionada.....	70
Figura 42. Renderizado del modelo frontal.	70
Figura 43. Renderizado del modelo detalle.	71
Figura 44. Renderizado del modelo final.....	71
Figura 45. Geometría a simular.....	72
Figura 46. Detalles de extracción de volumen.....	73
Figura 47. Resultado del volumen extraído para simulación.....	73
Figura 48. Módulo de mallado.....	74
Figura 49. Mallado automático	74
Figura 50. Mallado automático 1	75
Figura 51. Mallado automático 2.	75
Figura 52. Mallado automático 3.	76
Figura 53. Mallado automático 4.	76
Figura 54. Mallado automático 5.....	77
Figura 55. Mallado automático.....	77
Figura 56. Delimitación de entradas y salidas del flujo.....	77
Figura 57. Generación de malla local.	79
Figura 58. Generación de malla local 1.	79

Figura 59. Generación de malla local 2.	80
Figura 60. Generación de malla local 3.	81
Figura 61. Generación de malla local 4.	81
Figura 62. Generación de malla local 5.	82
Figura 63. Generación de malla local 6.	82
Figura 64. Generación de malla local 7.	83
Figura 65. Generación de malla local 8.	83
Figura 66. Resumen de iteraciones.	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de máquinas hidráulicas según la transmisión de la energía.	6
Tabla 2. Tipos de máquinas hidráulicas según la compresibilidad del fluido.	7
Tabla 3. Tipos de máquinas hidráulicas según el principio de funcionamiento.	7
Tabla 4. Tipos de máquinas hidráulicas según la dirección del flujo.	8
Tabla 5. Componentes de la bomba de ariete.....	10
Tabla 6. Ecuaciones de estado	22
Tabla 7. Descripción de materiales.	25
Tabla 8. Descripción de materiales para la simulación.....	27
Tabla 9. Alternativas.	36
Tabla 10. Evaluación de alternativas 1.....	36
Tabla 11. Evaluación de alternativas 2.....	36
Tabla 12. Evaluación de alternativas 3.....	36
Tabla 13. Evaluación de alternativa 4.	37
Tabla 14. Evaluación de alternativas 5.....	37
Tabla 15. Evaluación de alternativas 6.....	37
Tabla 16. Parámetros para una bomba de ariete hidráulico mono impulsora.	38
Tabla 17. Rangos de Longitudes de la tubería.	41
Tabla 18. Características de la tubería de alimentación de 1,5 pulgadas	43
Tabla 19. Características técnicas de la válvula.....	50
Tabla 20. Propiedades mecánicas tubería cedula 40	58
Tabla 21. Generación de malla local.	78
Tabla 22. Simulación de velocidad en la tubería.	85
Tabla 23. Velocidad en la válvula de impulsión.	86
Tabla 24. Presión dinámica en la válvula.	87
Tabla 25. Presión máxima en el ariete.	88
Tabla 26. Valores calculados analíticamente y de simulación.....	89
Tabla 27. Cálculo del error relativo.	89

RESUMEN

En el presente proyecto técnico se diseñó una bomba de ariete mono impulsora mediante el uso del modelo matemático de Krol, se modelaron cada una de las partes de acuerdo a los cálculos previamente realizados. Se partió a raíz del caudal disponible de la comunidad de Chilcapamba, teniendo en cuenta el desnivel del terreno y se plantea buscar el diseño óptimo. En el diseño de la bomba se encontraron valores de presión máxima aproximadamente de 0,3 MPa, de presión dinámica 8,2 Kpa y de velocidad en la válvula de impulsión de 2,87 m/s.

El modelado se lo realizó en el programa CAD, detallando cada una de las piezas, posterior a esto se realizó la simulación del funcionamiento de la bomba con el fin de corroborar los datos calculados analíticamente, la simulación se llevó a cabo con condiciones de frontera acorde a su requerimiento, donde la métrica de malla tuvo un valor que aseguro resultados válidos y muy cercanos a la realidad. En cuanto a los resultados, se simularon los parámetros más importantes donde se obtuvieron la velocidad en la válvula, presión dinámica en la válvula y presión máxima en el cuerpo del ariete obteniendo valores de 0,382 m/s, 8107 Pa y 380453 Pa respectivamente. Se compararon estos valores con los mencionados anteriormente mediante un estudio de error relativo encontrando desde 0,01 hasta 0,29, con esto se pudo observar que 3 de los 4 analizados cumplen con el requerimiento de tener un porcentaje menor a 0,16 para poder ser validados.

Palabras claves: Bomba de ariete, Diseño, CFD, Simulación, Error relativo, Mono impulsora.

ABSTRACT

In this technical project a single-impeller ram pump is designed using Krol's mathematical model, each of the parts are modeled according to the calculations previously made. It is based on the available flow of the community of Chilcapamba, taking into account the unevenness of the terrain, the most optimal design is sought. In the design of the pump, maximum pressure values of approximately 0.3 MPa, dynamic pressure of 8.2 Kpa and speed in the impulsion valve of 2.87 m/s were found.

The modeling is done in a CAD program, where each of the parts is detailed, especially the discharge valve, after this the simulation of the pump operation is performed in order to corroborate the data calculated analytically, the simulation is carried out with boundary conditions according to your requirement, where the mesh metric had a value of very good with this ensuring valid results and very close to reality. As for results, the most important parameters were simulated where the results of velocity in the valve, dynamic pressure in the valve and maximum pressure in the body of the ram were obtained obtaining values of 0.382 m/s, 8107 Pa and 380453 Pa respectively, also reflects a result where the areas of greater turbulence is observed.

These values were compared with those mentioned above by means of a relative error study where values from 0.01 to 0.29 were found. With this it could be observed that 3 of the 4 analyzed values comply with the requirement of having a percentage lower than 0.16 to be validated, while one of them is out of phase, but not considerably.

Keywords: Ram pump, Design, CFD, simulation, relative error.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

“DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UNA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO: RESULTADOS EXPERIMENTALES” Es una investigación realizada por W. Asvapoositkul, en la cual se ha investigado la posibilidad de utilización de una bomba de ariete hidráulico como medio de utilización de energía para producir una altura elevada para la bomba. Para que un sistema de este tipo sea económicamente competitivo, es necesario mejorar su rendimiento. Para alcanzar mencionada mejora, es necesario conocer los parámetros de diseño de los HRP convencionales. El rendimiento se presenta en términos adimensionales como la relación de altura H , o la altura de descarga a la cabeza motriz y la relación de tasa de flujo Q o tasa de flujo de descarga a tasa de flujo de unidad. Se llevaron a cabo experimentos con HRP mediante los cuales cada uno de los siguientes factores podría variar de manera independiente: (a) altura de suministro, (b) presión de la cámara de aire y (c) latidos de la válvula de descarga por minuto [1].

“LA EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y LA EFICACIA DE UN PROTOTIPO DE BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO CON VARIACIONES DE ALTURA”. Realizada por M. Radian, en esta investigación el prototipo de una bomba de ariete hidráulico se construyó utilizando herramientas y materiales asequibles. A partir de allí, el experimento se divide en dos etapas. Primero, el experimento evalúa el efecto de diferentes elevaciones de la tubería de salida usando tres variaciones de altura (2, 3, 4 metros respectivamente) y dos variaciones de descarga de entrada (7 y 8 lt/min correspondientemente). Los datos recopilados del experimento producen 6 combinaciones de datos de descarga de salida que luego se analizan. En segundo lugar, la eficiencia de esta bomba de ariete hidráulico se calcula utilizando una fórmula de eficiencia simple, haciendo referencia a los datos del experimento anterior. Posteriormente, se generan las correlaciones entre la altura de la tubería de salida, la de entrada y la eficiencia. Finalmente, los resultados muestran que la mayor eficiencia (7,7%) se logró utilizando una descarga de entrada de 8 lt/min combinado con una tubería de salida elevada de 2 metros. Mientras que la eficiencia más

baja (1.4%) se logró utilizando una descarga de entrada de 7 (L/min) combinada con una tubería de salida elevada de 4 metros [2].

De acuerdo a un estudio [3] en la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS correspondiente al tema de DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO PARA USO RESIDENCIAL, señala que se puede mejorar la eficiencia realizando adecuaciones geométricas en lo que refiere al sistema de bombeo, al mismo tiempo no necesita de mucha altura para generar energía potencial. Menciona además que es idóneo para lugares que no tenga el presupuesto amplio ya que no requiere mucho mantenimiento.

Un estudio respecto a DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO MULTITAPAS PARA EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL [4], este demostró que hay mayor beneficio en adquirir o diseñar este tipo de bombas en comparación de las bombas centrífugas, además menciona que es preferible construirla de acero galvanizado para tener una mayor vida útil.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Diseñar un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico en la comunidad “Chilcapamba” del cantón Mocha.

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar los cálculos hidráulicos para el diseño del sistema de bombeo.
- Desarrollar una simulación CFD con el fin de observar el funcionamiento del sistema de bombeo.
- Verificar los resultados teóricos con los obtenidos en la simulación.

1.3. Marco teórico

1.3.1 Mecánica de fluidos

Es la doctrina que se encarga del estudio de causas, consecuencias y efectos del comportamiento de los fluidos, abarca todo tipo de fluidos; es decir sin importar el estado en el que se encuentren cada uno de ellos [5].

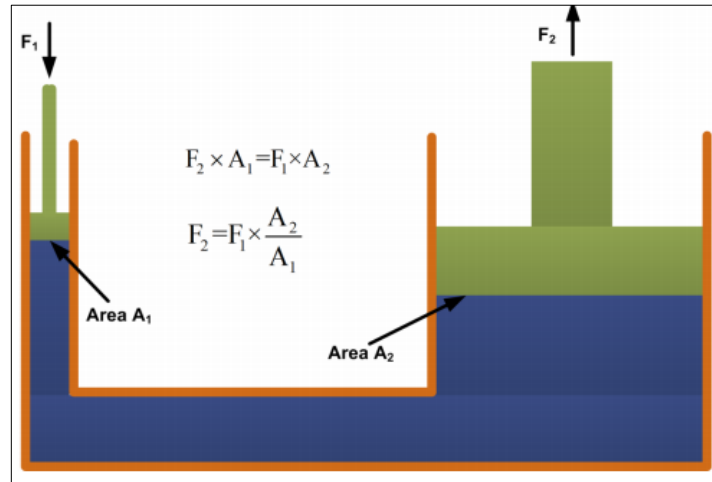


Figura 1. Principio de la mecánica de fluidos. [6]

1.3.2 Fluidos

Los líquidos y gases se consideran fluidos porque ceden a las fuerzas de cizallamiento, mientras que los sólidos las resisten. Como los sólidos, las moléculas de un líquido están unidas a moléculas vecinas, pero poseen muchos menos de estos enlaces. Las moléculas de un líquido no están bloqueadas en su lugar y pueden moverse unas con respecto a otras. La distancia entre moléculas es similar a las distancias en un sólido, por lo que los líquidos tienen volúmenes definidos, pero la forma de un líquido cambia, dependiendo de la forma de su recipiente. Los gases no pertenecen a átomos aledaños y pueden tener enormes separaciones entre moléculas. Los gases no tienen formas específicas ni volúmenes definidos, ya que sus moléculas se mueven para llenar el recipiente en el que se mantienen [6].

1.3.3 Clasificación de los fluidos

En la naturaleza existen dos tipos de fluidos clasificados a nivel macro, los cuales son denominados fluidos newtonianos y no newtonianos.

1.3.3.1 Fluidos no newtonianos

En general, los fluidos se comportan como newtonianos si están compuestos de material de bajo peso molecular (ya sea como un líquido puro o en forma de soluciones moleculares de un solo componente), o cuando la temperatura está muy por encima del punto de fusión. El comportamiento newtoniano se caracteriza por una viscosidad constante con respecto a la velocidad de corte [8].



Figura 2. Ejemplificación de fluido no newtoniano [8]

1.3.3.2 Fluidos newtonianos

Si es que la viscosidad, medida de la capacidad para resistir el flujo, varía en consecuencia de cambios de temperatura o presión de un fluido, este se considera como newtoniano y tomará la forma del recipiente en donde se encuentra. La constante de proporcionalidad es la relación que existe, entre el esfuerzo cortante que se almacena en el fluido para repeler el flujo y la velocidad de corte en el fluido para inducir el flujo, en otras palabras, la viscosidad de un fluido newtoniano corresponde a esta relación, únicamente si es que la temperatura y la presión se encuentran en condiciones constantes. Algunos de los ejemplos más comunes de los fluidos newtonianos son: el agua, como el más común, las soluciones de azúcar, los aceites de silicona, los aceites de hidrocarburos ligeros, además

los gases como el aire también se consideran como fluidos newtonianos, cabe añadir que los fluidos de perforación no entran dentro de este grupo [9].



Figura 3. Ejemplificación de fluido newtoniano [9]

1.3.4 Máquinas hidráulicas

Las máquinas hidráulicas son aquellos dispositivos en los cuales se produce un intercambio de energía. La energía intercambiada es del tipo mecánica y se produce entre la máquina y el fluido circundante. A lo largo de la historia varios de estos ingenios se han perfeccionado. Arquímedes con su tornillo fue uno de los precursores para el desarrollo de este tipo de elementos. Más tarde, la rueda con paletas sería el principal artífice de lo que hoy se conoce como turbomáquinas hidráulicas. En la revolución Industrial la influencia de personas como Kaplan, Francis o Burdín, fue determinante para la creación de máquinas cuya eficiencia era cada vez superior [10].

El fluido que atraviesa la máquina posee un comportamiento del tipo:

- Turbulento
- Tridimensional
- No estacionario

La solución exacta a este tipo de problemas se encuentra con las ecuaciones de Navier – Stokes. Sin embargo, para el estudio es aconsejable la realización de diversas simplificaciones [10].

Clasificación

La clasificación de las máquinas se la puede realizar en base a distintos criterios, entre los más comunes se tiene:

- Sentido de transmisión de energía (Fluido – Máquina)
- Compresibilidad del fluido de trabajo
- De acuerdo al principio de funcionamiento

Cada una de estas clasificaciones propuestas poseen sus respectivos tipos. Los tipos existentes para cada clasificación se detallan en las tablas 1 – 3.

Tabla 1. Tipos de máquinas hidráulicas según la transmisión de la energía. [4]

<i>SEGÚN EL SENTIDO DE LA TRANSMISION DE LA ENERGIA</i>	<i>TIPO</i>
	Máquinas generadoras
	Máquinas motoras
	Máquinas transmisoras
	Máquinas reversibles

Tabla 2. Tipos de máquinas hidráulicas según la compresibilidad del fluido. [3]

SEGÚN LA COMPRESIBILIDAD DEL FLUIDO	Tipo	Descripción
	Máquina hidráulica	Si el fluido es un líquido sin cambio de fase, o gas en el que las diferencias de presión y los efectos térmicos al atravesar la maquina son despreciables.
	Máquina térmica	Cuando el líquido sufre un cambio de fase o el gas sufre cambios importantes de presión o temperatura, que modifican de forma apreciable su densidad.

Tabla 3. Tipos de máquinas hidráulicas según el principio de funcionamiento. [3]

SEGÚN EL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA MAQUINA	TIPO	DESCRIPCION
	Máquinas rotodinámicas o turbomáquinas	Se caracteriza por tener un elemento llamado alabe que en si es el centro de todo el funcionamiento
	Máquinas de desplazamiento positivo o volumétricas	Se da a través de un ida y vuelta en una cámara de presión mediante la ayuda de un pistón.
	Máquinas gravimétricas	Actualmente son de menor interés, se puede completar la clasificación con aquellas maquinas cuyo intercambio de energía sea sobre todo de tipo potencial

La clasificación de acuerdo con la dirección del flujo es otra de las cuales se debe considerar, en la Tabla 4 se describe de manera detallada cada tipo.

Tabla 4. Tipos de máquinas hidráulicas según la dirección del flujo. [12]

	TIPO	DESCRIPCION
SEGÚN LA DIRECCION DEL FLUJO	Máquinas radiales	Las trayectorias de las partículas fluidas están contenidas principalmente en planos perpendiculares al eje, como ocurre en las bombas centrífugas y turbinas centrípetas.
	Máquinas axiales	Revolucionan paralelamente al eje contenidas en la superficie de las líneas de corriente.
	Máquinas mixtas o helicocentrífugas (en bombas) o helicocentrípetas (en turbinas)	En estas máquinas las trayectorias están contenidas en superficies de revolución no cilíndricas, a la vez que tienen una parte cercana su eje.

1.3.5 Bomba de ariete hidráulico

Este tipo de bomba como todas las demás permite elevar el nivel del agua de un punto a otro, una de sus características importantes es que el agua bombeada no será la totalidad del agua absorbida, esto va a depender mucho del desnivel existente entre las partes [13].



Figura 4. Bomba de ariete hidráulico instalada. [10]

1.3.5.1 Reseña histórica

Se informa que John Whitehurst completó el primer trabajo de desarrollo del ariete hidráulico en 1772, con la primera versión automática del ariete hidráulico desarrollada por Joseph Montgolfier en 1796.1 Varias empresas en Inglaterra y los Estados Unidos han estado produciendo versiones de hierro fundido del ariete hidráulico desde principios del siglo XIX. Las bombas de ariete hidráulico pueden elevar el agua a una altura considerable y no requieren ninguna fuente de energía externa [13].

Las bombas de ariete hidráulico que se venden comercialmente duran décadas, pero son bastante caras. Se puede construir una bomba de ariete hidráulica de PVC (cloruro de polivinilo) simple y casera (figura 1) por \$ 150 a \$ 200 dependiendo de los costos de materiales en su área y el tamaño de la bomba construida. Estas bombas caseras durarán varios años, si no más, y pueden permitir que un agricultor vea cómo funcionaría una bomba de este tipo antes de invertir en una unidad comercial más cara [13].

1.3.5.2 Partes de una bomba de ariete

En la figura 1.5 se muestran los elementos esenciales para el funcionamiento del ariete hidráulico, que son:

- El río, suministro de agua, presa o cualquier fluido que permita crear un desnivel en relación con la bomba de ariete.
- Tubería de impulsión
- Válvula de impulsión y cámara de aire
- Válvula de descarga.

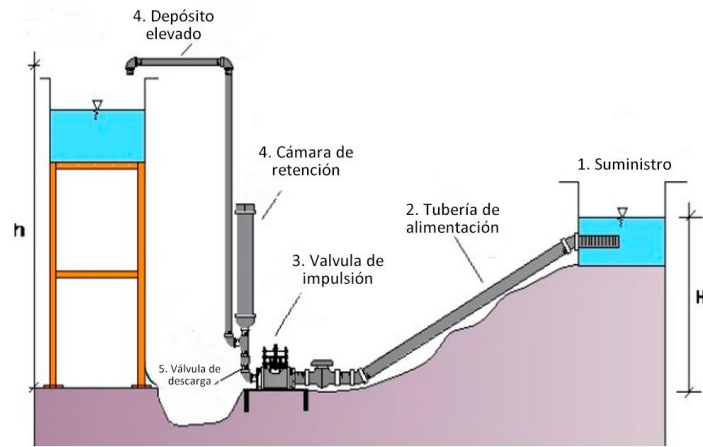


Figura 5. Principio de la mecánica de fluidos. [7]

Tabla 5. Componentes de la bomba de ariete. [7]

<i>Número</i>	<i>Parte</i>
1	Suministro
2	Tubería de alimentación
3	Válvula de impulsión
4	Cámara de retención
5	Válvula de descarga.
6	Depósito elevado

1.3.5.3 Funcionamiento

Las bombas de ariete hidráulico funcionan utilizando la presión desarrollada por una onda de choque de "golpe de ariete". Cualquier objeto en movimiento tiene una fuerza de inercia. Se requiere energía para poner el objeto en movimiento, y también se requerirá energía para detener el movimiento, y se requerirá más energía si el movimiento se inicia o detiene rápidamente. Un flujo de agua en una tubería también tiene inercia (o impulso) que resiste cambios repentinos de velocidad. Cerrar lentamente una válvula permite que

esta inercia se disipa con el tiempo, produciendo muy poco aumento de presión en la tubería. Cerrar una válvula muy rápidamente creará un aumento de presión o una onda de choque a medida que el agua fluye se detiene, lo que retrocede por la tubería, al igual que un tren que se detiene, con los vagones de tren individuales golpeando el acoplamiento frente a ellos en rápida sucesión a medida que los frenos están aplicados. Cuanto más rápido se cierra la válvula, mayor es la onda de choque producida. Un flujo de agua más rápido también producirá una onda de choque más grande cuando una válvula está cerrada, ya que se trata de más inercia o impulso. Una tubería más larga también producirá una onda de choque más grande por la misma razón [13].

1.3.5.4 Detalles de funcionamiento de una bomba estándar

- La captación se utiliza para que la materia orgánica no ingrese al sistema y que no se reduzca la eficiencia de este. Esta recolección de agua es llamada captación de manantial o también captación de arroyo, el agua es llevada al tanque colector por la tubería de alimentación [14].
- El tanque colector impide el paso de sedimentos hacia la (s) bomba (s); permitiendo el flujo constante en la tubería de impulsión.
- La tubería de impulsión tiene que tener la característica de diseño recto, por lo que debe llevar el agua con mucha rapidez. La tubería de impulsión, comúnmente, se encuentra del hierro galvanizado (G.I.), debido a que tiene que su resistencia debe ser la máxima posible para soportar el golpe de ariete constante.
- Hydrant es la subestructura más determinante del sistema.
- El Hydrant es la infraestructura que absorbe los golpes del efecto de ariete, este está incorporado al sótano de la bomba. El funcionamiento constante de la bomba es de vital importancia, por ello el sótano de la misma debe de ser diseñado con mucha responsabilidad porque en esta parte el efecto de golpe de ariete puede ocasionar fatiga.

- La tubería de suministro, uno de los últimos elementos es esta tubería la cual lleva el agua de la bomba al tanque de almacenamiento. GFS: la presión del agua de entrega, este es un parámetro fundamental para el diseño de esta tubería, además para la correcta elección del tipo de tubería en el sistema, el flujo de agua de entrega y su ruta son las constantes necesarias.

1.3.4.1 Aplicaciones

Como toda bomba este tipo de dispositivo puede estar destinado para una serie de aplicaciones entre las cuales destacan:

- Sistemas de riego



Figura 6. Bomba de ariete en sistemas de riego. [11]

- Sistemas de captación del tipo doméstico



Figura 7. Bomba de ariete doméstica. [11]

- Distribución de agua en sistemas pequeños



Figura 8. Bomba de ariete. [6]

1.3.4.2 Ventajas – Desventajas

Como todo dispositivo, la bomba de ariete presenta una serie de ventajas y desventajas las cuales se deben considerar a la hora del diseño y aplicación en el lugar determinado anteriormente. Considerando ello se tiene:

Ventajas:

- Costo bajo del sistema para adaptación de bomba de ariete.
- Fácil acceso a las partes que forman la bomba por parte de los distribuidores, dependiendo de la situación, muy factible el recambio de piezas.
- No requiere mucho mantenimiento, sin embargo, supervisión sencilla y constante de una manera programada, con el afán de verificar el correcto funcionamiento.
- La bomba no requiere de un tipo de energía externa, como electricidad o combustible para activarse, siempre y cuando cuente con un suministro de agua constante.
- Dependiendo del cuerpo de agua que se tenga a disposición, la bomba puede llegar a tener un uso continuo pasado el año, [12].

Una vez revisadas las ventajas de este tipo de dispositivo al ser posiblemente utilizado o instalado, como desventajas se tienen:

- El caudal de salida es bajo comparado con bombas del tipo convencional o comercial

- Si se lo compara con las bombas actuales se puede decir que la eficiencia es baja
- El bombeo generado es producido mediante pulsos
- La asistencia técnica estará reducida estrictamente a la persona responsable de su supervisión

A pesar de lo detallado anteriormente, la bomba de ariete hidráulico puede ser considerada como un dispositivo altamente aplicable a la hora de hablar de aplicaciones como el riego de agua. Los ríos y arroyos cuya pendiente sea lo suficientemente adecuada tienden a ser muy buenas opciones a la hora de hablar de suministros constantes para la bomba [12].

1.3.6 Fenómeno del golpe de ariete

El término "golpe de ariete" se refiere a las fluctuaciones de presión provocadas por un aumento o disminución repentinos del caudal. Este fenómeno de estado estacionario es la causa del cambio entre la energía cinética y la energía de presión, que puede ser positiva o negativa. Si la presión cae por debajo de la presión de vapor del líquido cuando la tubería está cerrada, se formará un espacio o cavidad. Este fenómeno se denomina separación de la columna de agua, que es el fenómeno de golpe de ariete más grave, que provoca el colapso de la tubería debido a la falla de fuerzas externas. Esto puede ser un problema para tuberías de paredes delgadas de gran diámetro y tuberías de plástico con rangos de presión más bajos o que transportan líquidos calientes. La respuesta de la columna de agua separada puede ser Generar alta presión y poner en peligro la tubería. [15]

El golpe de ariete es el resultado de una transformación repentina de energía cinética a energía de presión

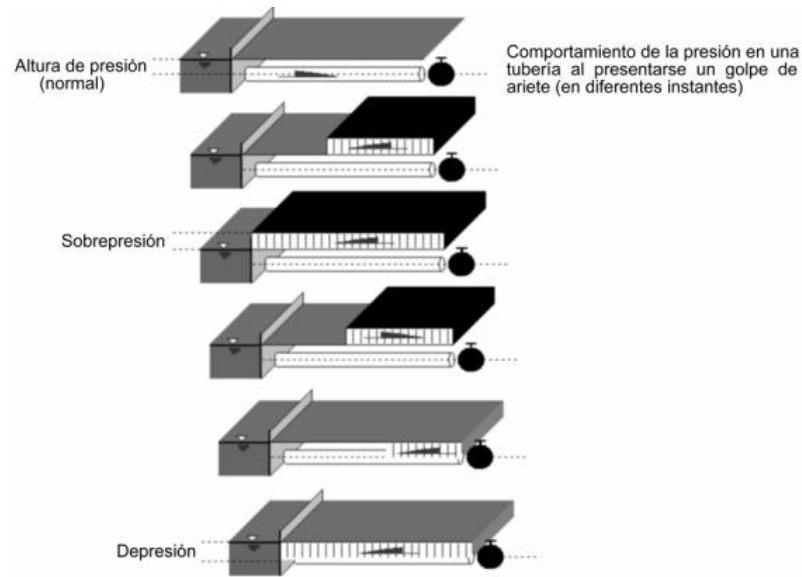


Figura 9. Fenómeno del golpe de ariete. [16]

Como se mencionó anteriormente, el golpe de ariete se origina por variaciones repentinas en el flujo dentro de una tubería, en sistemas de abastecimiento de agua potable las causas principales que lo generan son las siguientes:

- Operación de bombas.
- Manipulación momentánea de válvulas.

1.3.7 Simulación

Hablando en términos generales se conoce como simulación a la acción de prever el comportamiento de: un material, de una estructura, de un fluido y demás, sometidos a fuerzas externas con la ayuda de herramientas computacionales. Estas son denominadas programas, simulares unos entre otros con ventajas y desventajas, mismo que están diseñados con lenguaje de programación altamente calificado que permite al usuario poder simular el comportamiento físico de lo que se requiera. Hoy en día existen numerosos programas, de estatus libre y pagada, de acuerdo a la necesidad. Uno de ellos es ANSYS Fluent, dicho software nos ayuda a poder observar el comportamiento de los fluidos [16].

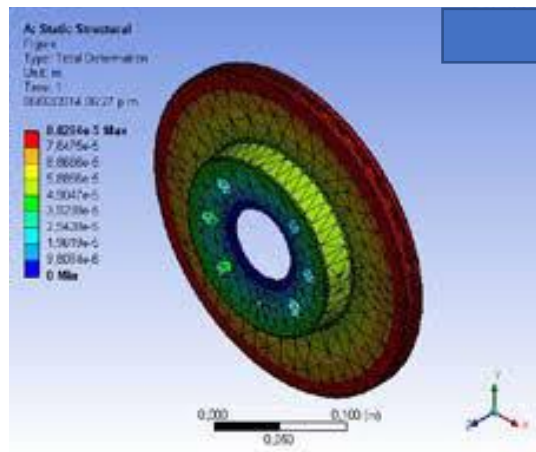


Figura 10. Detalles de simulación de discos cerámicos. [16]

1.3.7 Dinámica de fluidos computacionales

1.3.7.1 Reseña histórica

La dinámica de fluidos computacionales (CFD) creados inicialmente a partir de los logros punteros de aficionados como Richardson (1910) y Courant, Friedrichs y Lewy (1928), quienes en sus esfuerzos por adquirir información sobre movimientos de fluidos incitaron a la mejora de increíbles procedimientos matemáticos que han progresado la descripción matemática de una amplia gama de corrientes líquidas [3]. Se está convirtiendo en un instrumento asombroso y omnipresente en numerosas empresas, y cada arreglo aborda una rica obra de arte tejida de ciencia física numérica, estrategias matemáticas, interfaces de usuario y los mejores procedimientos de representación de su clase. Tan increíble ha sido la fuerza para seguir adelante que en la actualidad se utiliza tanto como las estrategias de entrenamiento convencionales para la experimentación y la exhibición científica para ocuparse de los problemas de corrientes líquidas. Esta nueva recepción ha sido inevitable y reformista, ya que los importantes y tediosos gastos relacionados con la experimentación han bloqueado con frecuencia el anhelo de crear resultados efectivos por dentro y por fuera. Además, las sospechas, especulaciones y aproximaciones relacionadas con los modelos científicos han impactado su disminución en el avance de los arreglos fluviales. Al considerar estas condiciones junto con las nuevas ventajas de crear respuestas matemáticas para las condiciones de Navier-Stokes y desarrollar aún más la fuerza de

procesamiento y la productividad, es evidente por qué la confianza se ha expandido y ha funcionado en la aplicación como otra opción. factible en la industria y la ciencia [17].

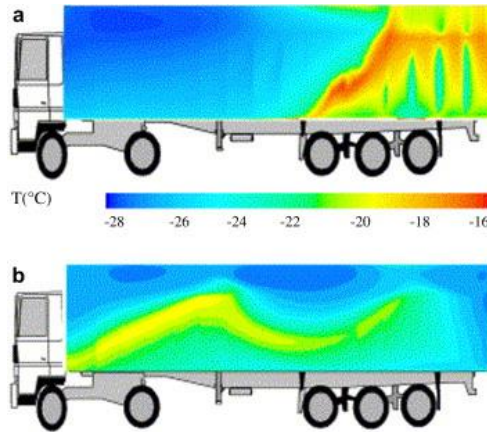


Figura 11. Simulación de fluidos dentro de un camión. [17]

Los vínculos entre CFD y los procesos asociados con la industria de alimentos y bebidas, como mezclar, secar, cocinar, esterilizar, enfriar y almacenar en frío, son profundos. Estos procesos se utilizan con regularidad para mejorar la calidad, la seguridad y la vida útil de los productos alimenticios. Con beneficios directos tanto para el consumidor como para el medio ambiente natural, las aplicaciones se han generalizado en la industria alimentaria. La investigación ha significado que los productos se pueden procesar y almacenar en sistemas más eficientes. Además, pueden ayudar a las empresas alimentarias a responder a un mercado en expansión mejorando y desarrollando estrategias de procesamiento, mientras se esfuerzan por mantener altos niveles de calidad del producto [17].

1.3.7.2 Paquetes comerciales

Durante los últimos veinte años, ha habido una mejora colosal de los códigos CFD comerciales para actualizar su compatibilidad con las necesidades de visualización modernas de muchos campos de examen, enfatizando de esta manera su flexibilidad y calidad atractiva. Spalding iluminó los numerosos obstáculos que enfrenta el área local al crear códigos para abordar campos de usos en constante crecimiento, como el negocio de alimentos. Estas dificultades han provocado una rivalidad poco común entre los ingenieros

de negocios y han acelerado el giro no uniforme de los acontecimientos, lo que ha provocado que el alcance de la utilidad presentada difiera de un código a otro. De esta manera, entre los muchos códigos que existen en la actualidad, no todos dan las cualidades que necesita el diseñador. Tales necesidades incorporan la disposición de increíbles condiciones de preprocesador, solucionador y posprocesador, la capacidad de importar cálculos de red, condiciones límite y condiciones introductorias desde un documento de texto externo, y la capacidad de demostrar líquidos no newtonianos, flujos de dos etapas, , transmitir propiedades subordinadas, cambio de escenario y curso a través de medios permeables. De esta manera, las contemplaciones prácticas naturales de un código deben ser consideradas antes de su determinación. Los paquetes de programación empresarial presentados en esta entrega fusionan no menos de un número básico de estas funcionalidades, utilizan interfaces de usuario gráficas y son viables con las etapas de Windows, UNIX y Linux. Una de las programaciones gratuitas más utilizadas es Openfoam [17].

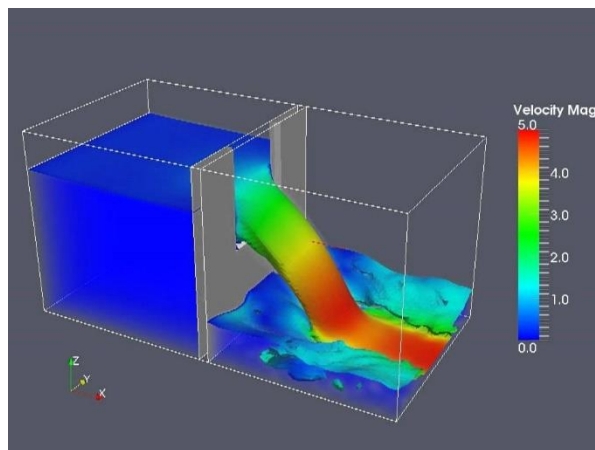


Figura 12. *Detalles de post-procesado en openfoam. [17]*

1.3.8 Mallado

La parte que más se considera al momento de tratar con el método de elementos finitos, tiene que ver con la discretización del dominio. La obtención de resultados llega a través de esta etapa, al momento de analizar y evaluar los recursos y variables necesarias. Estos son: Memoria utilizable, velocidad de obtención de resultados, precisión de respuestas [18].

Los diferentes modelos de discretización son: Elementos finitos, volúmenes finitos, diferencias finitas, entre otros, estos están en dependencia en base al tipo de estudio. Las ecuaciones de resolución en estos modelos se los obtiene a través de la discretización geométrica y esta a su vez se la puede realizar de dos maneras como se muestra a continuación:

- **Mallado no estructurado**

No existe un orden característico de los nodos y las celdas. En 2D existe una mezcla de elementos de triángulos y cuadriláteros. En 3D existe la presencia de hexaedros y tetraedros [18], Figura 12.

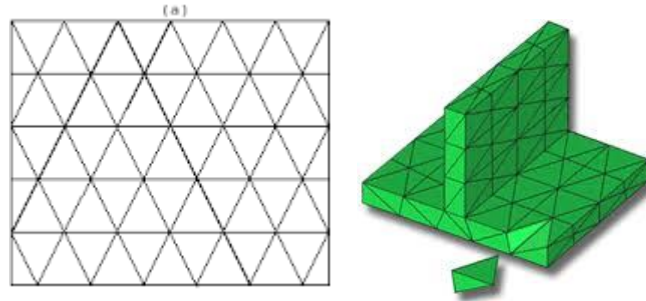


Figura 13. Mallado 2D y 3D no estructurado. [18]

El mallado no estructurado, presentada una buena flexibilidad en el acondicionamiento a geometrías de alta complejidad, además el tiempo de generación es mucho menor al de una malla estructurada. Los resultados que se obtengan están en relación directa al refinamiento que sufra el mallado en la geometría [17].

Los métodos utilizados para la generación de este tipo de malla son:

- Multibloque
- Frente de Avance
- Delaunay – Voronoi
- Mallado estructurado

Este tipo de mallado se caracteriza porque cada punto está identificado mediante coordenadas del tipo cartesianas (i, j, k) . Además, las celdas son del tipo cuadriláteros y hexaedros en 2D y 3D respectivamente [19], Figura 13.

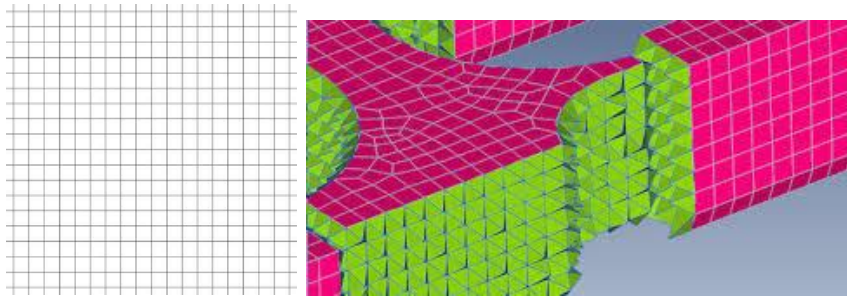


Figura 14. Mallado 2D y 3D estructurado. [7]

Las mallas estructuradas a su vez pueden tener la siguiente clasificación:

- Ortogonales
- No Ortogonales

Este tipo de mallados son de fácil implementación en contraparte, es recomendable que el dominio sobre el cual sea aplicada sea del tipo simple [8].

Los métodos que gobiernan en la generación de este mallado son:

- Algebraicos
- Basados en EDP (Ecuaciones Diferenciales Parciales)

1.3.9 Métrica

Se puede considerar a la métrica de malla como la calidad del mallado del modelo en cuestión. Para evaluar la calidad se consideran rangos y más que nada el tipo de análisis que se esté llevando a cabo, para ello, a continuación, se describen dos tipos de métrica comúnmente utilizados en el campo del análisis CFD.

1.3.10 Calidad Ortogonal

La calidad Ortogonal, es donde se realiza los cálculos utilizando el vector normal de la cara, el vector del centroide de una celda, al centroide de cada una de las celdas adyacentes, y el vector del centroide de la celda a cada una de las caras. En consecuencia, a la dificultad de explicación, se utiliza un método de guía a través de una escala, lo que debe ser de mucha atención para una mejor calidad Ortogonal es necesario que en la escala el promedio sea cercano a 1 [20]. La Figura 14, detalla la escala en mención, en donde mientras menor sea (llegando a 0) la calidad de la malla será peor.

Orthogonal Quality mesh metrics spectrum



Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

Figura 15. Escala para orthogonal quality. [21]

1.3.11 Oblicuidad

La constante que se toma entre la representación de la celda y la forma de otra equilátera de volumen similar se denomina “Skewness”. Es importante acotar que las celdas mínimamente definidas pueden reducir la precisión y desmoronar la solución. Así mismo como en el punto de atrás, posee una escala y cuando esta contine el valor que está más cercano a 0, se considera como excelente, es decir la celda será casi equilátera. Entre más alejado esté del cero la celda tendrá menos definición y por tanto será inadmisibile [20], la Figura 15 muestra lo aquí mencionado.

Skewness mesh metrics spectrum



Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Figura 16. Escala para skewness. [21]

1.3.12 Fluido

La Dinámica de fluidos computacional (CFD), engloba todos los cálculos numéricos requeridos para la solución de problemas relacionados a los fluidos. El comportamiento de un fluido es una de las principales metas de solución incluyendo también la transferencia de calor, así como otro tipo de problemas. Las resoluciones de las ecuaciones dependen de la discretización del modelo realizado anteriormente. A partir de allí, y gracias, a los algoritmos del software es posible la obtención de resultados que describen el comportamiento del fluido dentro del sistema propuesto.

CFD, se basa en la resolución de las ecuaciones de conservación de los fluidos. La Tabla 6, detalla las principales ecuaciones diferenciales que son resueltas mediante algoritmos algebraicos.

Tabla 6. Ecuaciones de estado [4]

ECUACIÓN	DESCRIPCIÓN
Masa	$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho u) = 0$
X-Momentum	$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \text{div}(\rho)Uu = \frac{\partial \rho}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad}U) + SM_x$
Y-Momentum	$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \text{div}(\rho)Uu = \frac{\partial \rho}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad}V) + SM_y$
Z-Momentum	$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \text{div}(\rho)Uu = \frac{\partial \rho}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad}W) + SM_z$
Energía	$\frac{\partial(\rho i)}{\partial t} + \text{div}(\rho)iu = -p \text{div}u + \text{div}(\mu \text{grad}T) + SM_x$
Ecuaciones de estado	$p = p(p, T) \text{ y } i = i(p, T)$

Dentro de las principales aplicaciones de la dinámica de fluidos se encuentran:

- Turbo Máquinas
- Bombas
- Aerodinámica
- Hidrodinámica
- Hidráulica

- Motores de todo tipo
- Reacciones del tipo químico

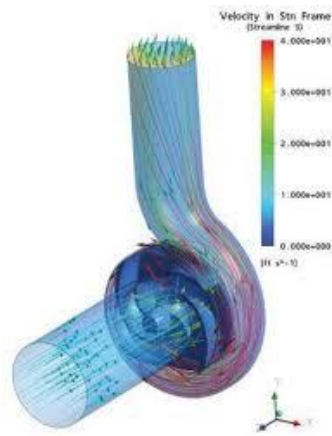


Figura 17. Dinámica de fluidos CFD. [10]

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

El siguiente proyecto técnico se llevó a cabo con el fin de poder observar el funcionamiento de un sistema de bombeo con golpe de ariete, partiendo primero de un diseño en base a condiciones del lugar de estudio; como por ejemplo caudal del río además de alturas de desniveles y entre otros. En primer lugar, se desempeñó un estudio de ponderación para poder saber qué tipo de bomba debemos usar de acuerdo a los parámetros ya mencionados con anterioridad. Se utilizó una matriz de criterios ponderados con tres opciones para la elección. Se aplicó cálculos hidráulicos mediante el método de Krol para diseñar la bomba, el mismo que reflejó parámetros que sirvieron para modelar el sistema. Se efectuó el modelado de la bomba en un programa CAD donde se tiene mayor destreza para el desarrollo del mismo, con esto se pudo dibujar cada una de las partes del sistema gracias a los resultados de los cálculos del diseño, las partes fueron ensambladas y posteriormente se les agregó material.

Una vez obtenido toda la primera parte y con el fin de verificar los resultados de los cálculos se optó por realizar una simulación de Dinámica de Fluidos Computacionales (CFD). Con esta simulación se pudo observar el comportamiento de los fluidos dentro del sistema de bombeo, se alcanzó a observar el fenómeno de golpe de ariete, además de resultados de parámetros físicos al inicio y al final del sistema. El software utilizado está basado con resolución en el método de volúmenes finitos, caso muy similar y que se encuentra englobado en lo que refiere al método de elementos finitos. Con esto además se observará el funcionamiento del sistema para futura construcción de la misma.

Como punto final los resultados de cálculos teóricos fueron evaluados junto con los resultados de la simulación, buscando comprobar un nivel de error relativo, además siendo de conocimiento público que toda simulación debe ser comprobada mediante un método experimental para su verificación y validación de resultados.

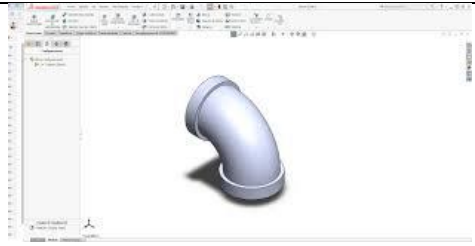
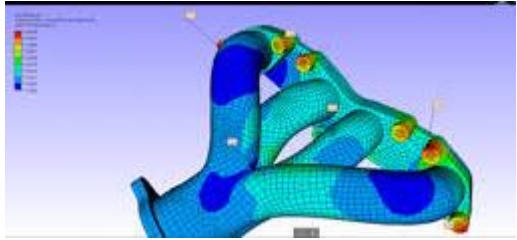

2.1 Materiales

Tabla 7. Descripción de materiales. [Autor]

<i>ELEMENTO</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>ILUSTRACIÓN</i>
Tubería de acero	Tubería del tipo sólido con recubrimiento galvanizado para conducción de líquidos	
Bridas	Sistema de conexión entre los diferentes tramos de tubería	
Tubería de PVC	Tubería para el uso domiciliario utilizada en la salida de la bomba	
Válvula de impulso	Parte fundamental dentro de la configuración de la bomba de ariete. Elemento principal en la formación del golpe de ariete necesitado	

<p>Codos (PVC y Acero recubierto)</p>	<p>Aportan a la conexión del sistema de tuberías en zonas donde es necesario realizar un cambio de dirección del fluido de trabajo</p>	
<p>Válvula Check</p>	<p>Dispositivo destinado a evitar en retorno del fluido en cualquier tramo de la configuración de la bomba</p>	
<p>Cámara de Aire (Tubo de Acero)</p>	<p>Debido a la configuración de la cámara de presión su geometría se basa en un tubo de acero el cual deberá ser manufacturado de acuerdo a los requerimientos</p>	
<p>Hectómetro</p>	<p>Realización de las medidas necesarias en el lugar de aplicación de la bomba</p>	

Tabla 8. Descripción de materiales para la simulación. [Autor]

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	ILUSTRACIÓN
Software de diseño CAD	Software centrado en el diseño de la bomba y de sus elementos constitutivos	
Software de Simulación	Programa especializado en la simulación y obtención de los resultados requeridos sobre el fenómeno en tratamiento	
Ordenador	CPU con tarjeta gráfica, CORE i9 de décima generación, SSD.	

2.2 Métodos

2.2.1 Diseño de la investigación

Dado que el objetivo de la investigación será diseñar una bomba de ariete para el abastecimiento de agua en el área de pastoreo en la comunidad Chilcapamba se recurrió a un diseño experimental que se aplicará de una manera óptima, tomando en cuenta que el tema de investigación tiene información teórica sustentable, se procederá a realizar una investigación de tipo explorativa y documental con el fin de obtener información, datos bibliográficos, escritos, informes, teorías y reuniones con expertos en el territorio de la energía donde se detallada el diseño y simulación.

Para el avance de la propuesta seleccionada, se realizara prototipos mecánicos en programas de diseño y simulación, los cuales serán enfocados en el principio de golpe de ariete, considerando los límites del marco de investigación (velocidad en tuberías, caudal, perdidas, sobrepresiones), las preocupaciones más comunes que se dan en la cámara de aire y el innovador procedimiento se podrán solucionar utilizando láminas de mecanizado para el desarrollo de la bomba de ariete, la cual se realizara en el taller mecánico.

2.2.2 Enfoque de la investigación

El trabajo actual tendrá un centro cuantitativo dominante ya que trataremos con cualidades numéricas; Total y parcial, estos serán creados por la variedad de los límites de ejecución de vitalidad que tiene la bomba de la cavitación. Estará también enfocado en el desarrollo de una simulación con el fin de poder observar el comportamiento de los fluidos buscando así mejoras a corto plazo.

2.2.3 Población y muestra

El ejemplo a tomar será recolectar información de 10 días sobre el flujo del caudal, peso del fluido en la salida del sifón, número de transformaciones del sifón y ruido en el empaque de las atracciones del sifón así también como estas variables afectan la eficiencia de la bomba de ariete.

2.2.4 Técnica de recolección de datos

La observación, análisis de documentos y la experimentación son las técnicas más apropiadas para utilizarse en el presente trabajo El examen es de tipo exploratorio, ya que se trata de tener información general o inexacta sobre el impacto del motivo que tiene la maravilla de cavitación en la actividad del sifón radial. La exploración es ilustrativa a la luz del hecho de que explicará las condiciones que producen cavitación en una bomba. El examen es claro, ya que detallará la presentación de una bomba de cavitación externo a su rendimiento.

2.2.5 Instrumentos de recolección de datos

El tipo de instrumento que se utilizará para la obtención de datos se divide en dos aspectos: el miembro, que son registros episódicos, un documento de notas de convenciones o un diario de campo, que incorpora un control de percepción, un resumen de recurrencia, una agenda o examen, una escala de estimación o una celosía de investigación. Tener la opción de decidir perspectivas meteorológicas y sociales distintivas en la región de investigación.

2.2.6 Herramientas para el procesamiento de datos

Considerando que el proyecto que se va realizar propone una especulación cuantitativa, en ese punto a través de este el método a utilizar para el manejo de la información será el de las medidas ilustrativas, que prevé contar con muchos sistemas para introducir diversas recolecciones de información con la utilización de diagramas, tablas ponderadas como resumen, así como programas de ingeniería para facilidad de diseño e investigación de experimentación.

2.2.7 Método de proceso de diseño y simulación

En la figura 2.1 Se detalla el proceso con que se lleva a cabo para el diseño, posterior modelado y la simulación del sistema de bombeo de ariete.

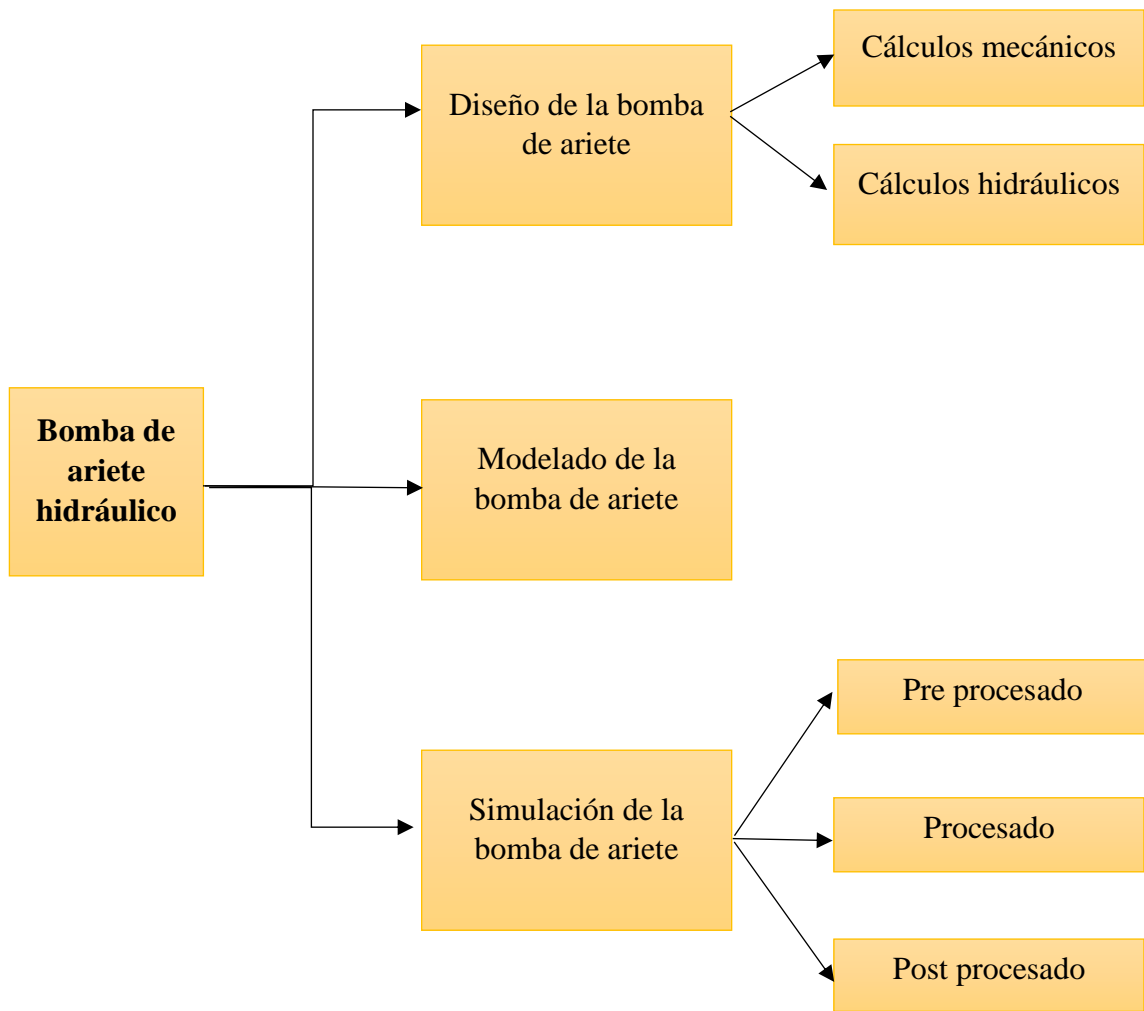


Figura 18. Diagrama general del desarrollo del proyecto. [Autor]

El proceso de diseño y modelado se especifica en la figura 2.2.

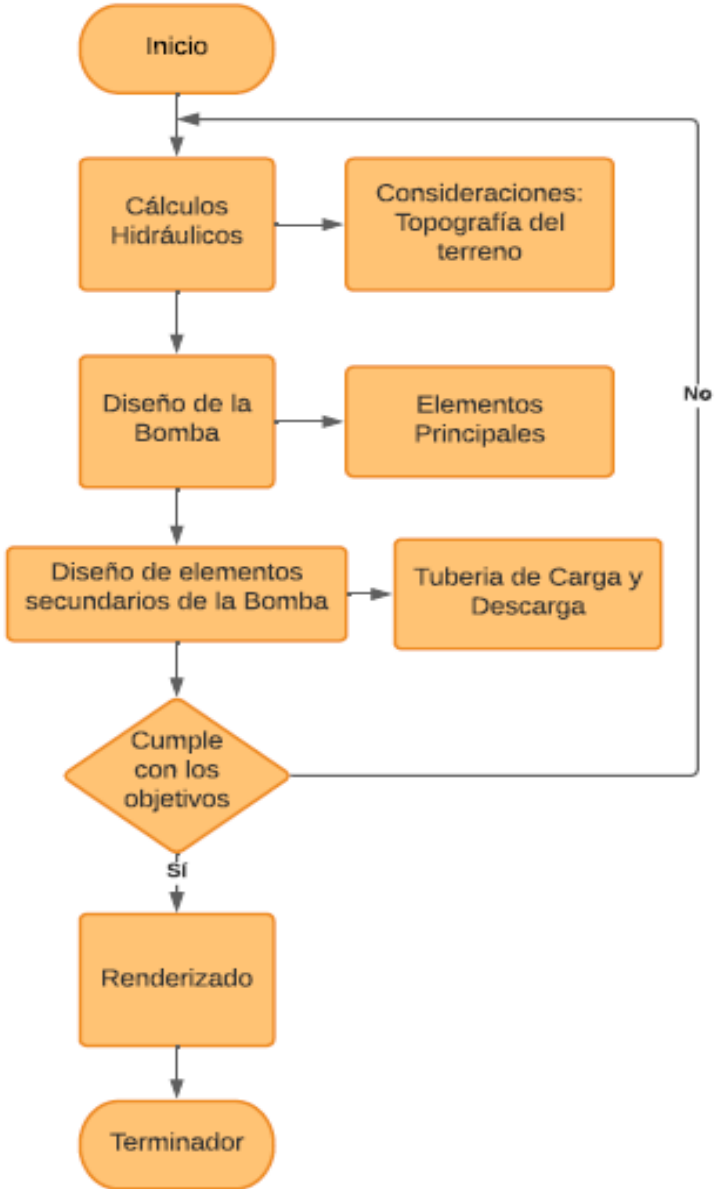


Figura 19. Flujograma del proceso de diseño. [Autor]

El proceso de simulación se detalla en la figura 2.3.



Figura 20. Diagrama del proceso de simulación. [Autor]

Mallado

Para el proceso de mallado se toma en consideración la malla de tipo tetraedro, siendo esta de tipo estructural garantizando con esto una simulación con resultados acercados a la realidad. Para el estudio de métrica de malla se usa el método de Element Quality con el cual sabremos mediante el software si tenemos una malla de calidad o no. Los valores de métrica se detallan en la figura 1.14.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Selección de alternativas

Factores de importancia para la selección de alternativas.

1. **Requerimiento del entorno:** En dependencia al sitio de implementación y demandas del usuario.
2. **Supervisión:** Direccionado al control que se debe implementar a la hora de poner en marcha al dispositivo hidráulico.
3. **Tiempo:** Tiempo de cumplimiento de un ciclo de trabajo por parte de la bomba.
4. **Factibilidad de operación:** Grado de dificultad a la hora de poner en marcha al dispositivo.

Alternativas de proyecto.

Alternativa 1.

Bomba de ariete mono impulsora

Bomba de ariete de uso tradicional destinada al bombeo de fluido. Se caracteriza por tener una sola válvula de impulsión la cual puede estar ubicada antes o en la cámara de presión. Este tipo de configuraciones funcionan bastante bien cuando la aplicación de la bomba está dentro del uso residencial.



Figura 21. Bomba de ariete con una sola válvula de impulsión. [Autor]

Alternativa 2.

Bomba de ariete multi impulsora

La bomba de ariete multi impulsora, como su nombre lo dice, posee dos o más válvulas de impulsión dentro de su configuración. Las válvulas se encuentran instaladas en serie antes de la cámara de presión.



Figura 22. Bomba de ariete multipulsor. [Autor]

Alternativa 3.

Bomba de ariete sin cámara de aire.

Bomba de sencilla construcción, la diferencia radica en que este dispositivo utiliza una tubería del tipo flexible cuya función principal está en la absorción de los golpes provocados por el ariete. Debido a la no utilización de una cámara, esta bomba debe sujetarse al suelo para evitar daños por movimiento excesivo.



Figura 23. Bomba de ariete sin cámara de aire. [Autor]

Selección de alternativas.

De acuerdo al método "ordinal corregido de criterios ponderados", se instaura la generación de un resultado significativo, estableciendo un peso a cada criterio señalado previamente. Para ellos se ha determinado que:

- 1. Criterio o solución de las filas superior o más importante que el de las columnas.
- 0.5 Criterio de filas es equivalente al de las columnas.
- 0 criterio de la fila inferior al de la columna.

La tabla 3.1, muestra las alternativas consideradas para la elección del proyecto a realizarse en el presente trabajo. De la tabla 3.2 a 3.7, se hace alusión a la evaluación de cada una de las alternativas respecto a los criterios establecidos anteriormente.

Tabla 9. Alternativas. [Autor]

<i>Alternativa 1</i>	Bomba de Ariete mono Impulsora
<i>Alternativa 2</i>	Bomba de Ariete Multi Impulsora
<i>Alternativa 3</i>	Bomba de Ariete sin Cámara de Aire.

Tabla 10. Evaluación de alternativas 1. [Autor]

<i>Criterio</i>	<i>Requerimiento del Entorno</i>	<i>Supervisión</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Factibilidad de Operación</i>	$\Sigma+1$	<i>Ponderación</i>
<i>Requerimiento del Entorno</i>		0.5	1	0.5	3	0.3
<i>Supervisión</i>	0		0.5	0.5	2	0.2
<i>Tiempo</i>	0.5	0.5		0.5	2.5	0.25
<i>Factibilidad de Operación</i>	0.5	0.5	0.5		2.5	0.25
<i>Suma</i>					10	1

Tabla 11. Evaluación de alternativas 2. [Autor]

<i>Requerimiento de la Empresa</i>	<i>Alternativa 1</i>	<i>Alternativa 2</i>	<i>Alternativa 3</i>	$\Sigma+1$	<i>Ponderación</i>
<i>Alternativa 1</i>		1	1	3	0.46
<i>Alternativa 2</i>	0.5		0	1.5	0.23
<i>Alternativa 3</i>	0.5	0.5		2	0.31
<i>Suma</i>				6.5	1

Tabla 12. Evaluación de alternativas 3. [Autor]

<i>Supervisión</i>	<i>Alternativa 1</i>	<i>Alternativa 2</i>	<i>Alternativa 3</i>	$\Sigma+1$	<i>Ponderación</i>
<i>Alternativa 1</i>		0.5	0	1.5	0.25
<i>Alternativa 2</i>	0.5		0	1.5	0.25

<i>Alternativa 3</i>	1	1		3	0.5
<i>Suma</i>				6	1

Tabla 13. Evaluación de alternativa 4. [Autor]

<i>Tiempo</i>	<i>Alternativa 1</i>	<i>Alternativa 2</i>	<i>Alternativa 3</i>	$\Sigma+1$	<i>Ponderación</i>
<i>Alternativa 1</i>		1	1	3	0.44
<i>Alternativa 2</i>	0.5		0.5	2	0.28
<i>Alternativa 3</i>	0.5	0.5		2	0.28
<i>Suma</i>				7	1

Tabla 14. Evaluación de alternativas 5. [Autor]

<i>Factibilidad de Operación</i>	<i>Alternativa 1</i>	<i>Alternativa 2</i>	<i>Alternativa 3</i>	$\Sigma+1$	<i>Ponderación</i>
<i>Alternativa 1</i>		1	1	3	0.375
<i>Alternativa 2</i>	0.5		1	2.5	0.313
<i>Alternativa 3</i>	0.5	1		2.5	0.313
<i>Suma</i>				8	1

Tabla 15. Evaluación de alternativas 6. [Autor]

<i>Criterio</i>	<i>Alternativa 1</i>	<i>Alternativa 2</i>	<i>Alternativa 3</i>
<i>Requerimiento del Entorno</i>	0.138	0.069	0.093
<i>Supervisión</i>	0.05	0.05	0.1
<i>Tiempo</i>	0.11	0.07	0.07
<i>Factibilidad de Operación</i>	0.093	0.078	0.078
Σ	0.391	0.267	0.341
<i>Prioridad</i>	1	3	2

Descripción de la alternativa seleccionada.

Alternativa 1.

La bomba de ariete mono impulsora es la alternativa seleccionada para la continuación de este trabajo, esta bomba se caracteriza por tener únicamente un ariete en serie y funciona por ciclos utilizando la energía cinética de un golpe de ariete sobre un fluido.

3.2 Diseño de la bomba de ariete hidráulico

3.2.1 Parámetros de diseño

Cada pequeño detalle es importante en el planteamiento del diseño de una bomba de ariete hidráulico. En los estudios que se han logrado en torno al ariete se pueden dividir en 3 principales agencias técnica empírica, analítica y racional.[22]

El primer paso para diseñar un elemento o una máquina es establecer los parámetros o fenómenos que influyen directamente en su funcionamiento, con ello garantizamos estabilidad de operación en caso de construcción. Para ello se establecen 3 parámetros de acuerdo al tipo de bomba seleccionada y se muestran en la tabla 3.9.

Tabla 16. Parámetros para una bomba de ariete hidráulico mono impulsora. [22]

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
Caudal disponible [C_d]	Este parámetro depende directamente de cuál sea el origen del fluido que se desee bombear, puede ser ríos, lagos y demás. Con este parámetro podemos obtener tanto el diámetro de alimentación como el de descarga.

Altura de alimentación [A_a]	Viene dado por la longitud perpendicular al origen de donde se va a obtener el caudal.
Altura de entrega [A_d]	Tiene que ver con la longitud a la que se va elevar el fluido, por lo general viene dada de acuerdo a la necesidad.

Krol, fundamenta sus ecuaciones con el modelo de Schiller, y usa una versión teórica, además, para una mirada aceptable, divide el ciclo hidráulico del ariete en siete períodos, a los cuales se sustentan con leyes Físicas.

El modelo de Krol, es el que mejor correlaciona las experimentaciones con lo teórico, lo cual lo hace que este método sea el más utilizado para tareas sencillas de hidráulica. [23]

En estudios anteriores en el año 2016 se logra la toma de datos del caudal en el río Chicalpamba en la comunidad del mismo nombre. Según el estudio de campo, el caudal que se requiere para las piscinas es de 5 a mayores $\frac{Lt}{min}$ siendo este el caudal que se acoge a la recomendación. Según las mediciones y la toma de agua ya existente el caudal que maneja la comunidad es de 30 a 50 litros por minuto dependiendo la época en la que se encuentre. Es por eso que para motivos de diseño se va tomar el caudal de 40 litros por minuto. Con respecto a la altura de entrega para este proyecto en especial se requiere un recorrido de 12 a 15 metros teniendo en cuenta que el ángulo ideal para este tipo de bombas es de 35 a 45 grados.





Figura 24. Fotografías del terreno. [Autor]

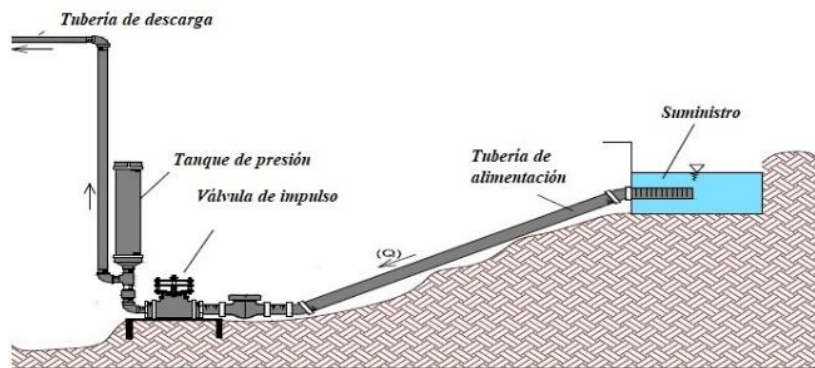


Figura 25. Partes de la bomba.

3.3 Cálculo de la longitud de la tubería de alimentación

De acuerdo a [23] la relación que permite determinar la longitud de la tubería de alimentación es:

$$L_a = \frac{A_a}{\text{sen}\phi} \quad (\text{Ec.3.1})$$

Donde:

L_a = Longitud de la tubería de alimentación (m)

A_a = Altura de alimentación (m)

ϕ = Ángulo de inclinación ($^{\circ}$)

$$L_a = \frac{5[m]}{\text{sen}35^\circ}$$

$$L_a = 8,717 \text{ m} \approx 9 \text{ m}$$

Tabla 17. Rangos de Longitudes de la tubería. [4]

Diámetro (mm)	Longitud (m)	
	Mínimo	Máximo
13	2	13
20	3	20
25	4	25
30	4.5	30
40	6	40
50	7.5	50
80	12	80
100	15	100

3.4 Cálculo del diámetro de la tubería de alimentación (unidades)

Numerosos estudios como [25] señalan que no existe una relación exacta para el cálculo para una tubería de alimentación, pero existen algunas relaciones para determinar el diámetro de la tubería de alimentación que se conecta con el cuerpo del ariete, de acuerdo a experimentaciones se logra obtener este tipo de expresiones, las cuales se muestran a continuación:

$$\frac{L_a}{\phi_a} = 150 \quad (\text{Ec. 3.2}) ;$$

$$\frac{L_a}{\phi_a} = 500, \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Donde:

$\phi_a =$ Diámetro de la tubería de alimentación (m)

Por lo que aplicando procesos algebraicos tenemos que:

Para el primer caso se obtienen valores de un diámetro máximo.

$$\phi_{amax} = \frac{L_a}{150}$$

$$\phi_{amax} = \frac{9}{150}$$

$$\phi_{amax} = 0,06 \text{ m}$$

Para el segundo caso se tiene valores de diámetro mínimo:

$$\phi_{amin} = \frac{L_a}{500}$$

$$\phi_{amin} = \frac{9}{500}$$

$$\phi_{amin} = 0,018 \text{ m}$$

Con esto se tiene un parámetro máximo de diámetro mismo que no se debe sobrepasar y un mínimo de igual manera lo cual permite por media de un promedio obtener el diámetro adecuado para un óptimo funcionamiento de la bomba de ariete.

$$\phi_{af} = \frac{\phi_{amin} + \phi_{amax}}{2} \quad (\text{Ec.3.4})$$

Donde:

ϕ_{af} = Diámetro de alimentación final (m)

ϕ_{amin} = Diámetro de alimentación mínimo (m)

ϕ_{amax} = Diámetro de alimentación máximo (m)

$$\phi_{af} = \frac{0,06 + 0,018}{2}$$

$$\phi_{af} = 0,039 \text{ m}$$

Con esto se obtiene un valor de 0,039 m por lo cual en este caso de estudio se ocupa una tubería con diámetro de 2 pulgadas, cedula 40 siendo este el más común dentro del mercado para una futura construcción.

Considerando un diámetro de 2 pulgadas de acuerdo al estudio mencionado con anterioridad y en base a un catálogo de DIPAC MANTA de tuberías de acero de serie liviana (ANEXO 2) tenemos las siguientes características:

Tabla 18. Características de la tubería de alimentación de 1,5 pulgadas [Autor]

Tubería de 2 pulgadas	Valor	Unidades
Espesor	2,65	<i>mm</i>
Peso	3,79	$\frac{kg}{6 m}$
Área	4,89	<i>cm²</i>
Momento de inercia (I)	20,26	<i>cm⁴</i>
Módulo de sección(W)	7,04	<i>cm³</i>
Radio (i)	2,04	<i>cm</i>

3.5 Cálculo de la tubería de descarga

Según el estudio [25] y métodos experimentales el diámetro óptimo de la tubería de descarga debe ser igual a dos veces el diámetro de la tubería de alimentación en caso que el caudal sea alto o caso contrario será a cuatro veces el diámetro de la tubería.

El diámetro de la tubería de descarga viene dado con la siguiente ecuación matemática:

$$D_d = \frac{D_a}{2} \quad \text{Ec (3.5)}$$

Donde:

$D_d =$ Diámetro de descarga (m)

$D_a =$ Diámetro de alimentación (m)

$$D_d = \frac{2[in]}{2}$$

$$D_d = 1 [in]$$

$$D_d = 25,4 \text{ mm} = 0,025m$$

3.6 Longitud de la tubería de descarga

Se debe intentar que la tubería de descarga sea 3 veces la longitud de la tubería de alimentación esto según menciona [25] ya que se debe obtener una altura considerable en cuanto a la geografía del terreno.

Para esto se utiliza la siguiente expresión:

$$A_d = 3 * A_a \quad \text{Ec (3.6)}$$

Donde:

$A_d =$ *Altura de la tubería de descarga* (m)

$$A_d = 3 * 5$$

$$A_d = 15 \text{ m}$$

Con esto se dice que la altura de descarga es de 15 m en el caso más óptimo y sin considerar las pérdidas existentes.

3.7 Cálculo de velocidad a lo largo de la tubería

En primer lugar, se calcula la velocidad del fluido de la tubería, teniendo en cuenta el caudal antes mencionado y considerando el diámetro de la tubería de alimentación. Para ello se tiene un valor de 2" o 0,0508 m, se utiliza la siguiente expresión matemática [27]:

$$Q = A * v \quad \text{(Ec 3.7)}$$

Donde:

$Q =$ *caudal disponible* ($\frac{m^3}{s}$)

$A =$ *área transversal de la tubería* (m^2)

$v = \text{velocidad del fluido } \left(\frac{m^2}{s}\right)$

Teniendo como resultado [27]:

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

Para ello se obtiene el área transversal:

$$A = \frac{\pi * D_a^2}{4} \quad (\text{Ec 3.8})$$

$$A = \frac{\pi * 0,0508^2}{4}$$

$$A = 0,00202[m^2]$$

Ya con el área determinada se tiene la siguiente velocidad

$$v = \frac{0,00066 \frac{m^3}{s}}{0,00202}$$

$$v = 0,326 \frac{m}{s}$$

3.8 Determinación del régimen de fluidos

Ahora obtenemos el Número de Reynolds mediante la siguiente expresión matemática [26]:

$$Re = \frac{v * D_a}{\nu} \quad (\text{Ec 3.9})$$

Donde:

$\nu = \text{viscosidad cinemática } \left(\frac{m^2}{s}\right)$

Teniendo en cuenta que la dicha viscosidad en el territorio ecuatoriano tiene un valor de $1,14 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$ (ANEXO 5), tenemos:

$$Re = \frac{0,326 * 0,0508}{1,14 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 14527,07$$

3.9 Rugosidad relativa

Para este cálculo se toma en cuenta el material de la tubería, en este caso se tiene acero galvanizado con una rugosidad absoluta entre 0,06 y 0,24 mm, porque se realiza se escoge un valor promedio, dando como resultado 0,15mm. Además, el diámetro interno de la tubería es de 3,77” o 0,095 m [5].

Para esto tenemos la siguiente expresión matemática [26]:

$$R_r = \frac{D_{ia}}{\varepsilon} \quad (\text{Ec 3.10})$$

Donde:

D_{ia} = *Diámetro interno de la tubería* (m)

R_r = *Rugosidad relativa*

ε = *Rugosidad absoluta del material* (m)

$$R_r = \frac{0,04815}{0,00015}$$

$$R_r = 321$$

3.10 Factor de fricción

Para este cálculo existen números métodos, teniendo en cuenta el más confiable en base a la teoría de fluidos se utiliza Swamme, con la siguiente fórmula matemática [26]:

$$f_f = \frac{0,25}{[\log(\frac{1}{3,7R_r} + \frac{5,74}{Re^{0,9}})]^2} \quad (\text{Ec 3.11})$$

Donde:

$f_f =$ factor de fricción

$$f_f = \frac{0,25}{[\log(\frac{1}{3,7 * 321} + \frac{5,74}{(14527,07)^{0,9}})]^2}$$

$$f_f = 0,033$$

3.11 Pérdidas por fricción

Con la velocidad obtenida de acuerdo a nuestro caudal circulante en la tubería se calcula las pérdidas debido a la fricción a lo largo de la tubería [27], para lo cual se procede a utilizar la ecuación de Darcy [26].

$$h_{fr} = \frac{f_f * L * v^2}{2g * D_a} \quad (\text{Ec 3.12})$$

Donde:

$h_{fr} =$ Pérdida por fricción en la tubería (m.c.a)

$L =$ Longitud de la tubería (m)

$g =$ aceleración de la gravedad ($\frac{m^2}{s}$)

$$h_{fr} = \frac{0,033 * 9 * 0,044^2}{2(9,81) * 0,038}$$

$$h_{fr} = 0,00077 \text{ m.c.a}$$

3.12 Presión al inicio del ariete

Para poder calcular la presión al inicio del ariete se ocupa la ecuación de Bernoulli, misma que se presenta a continuación [5]:

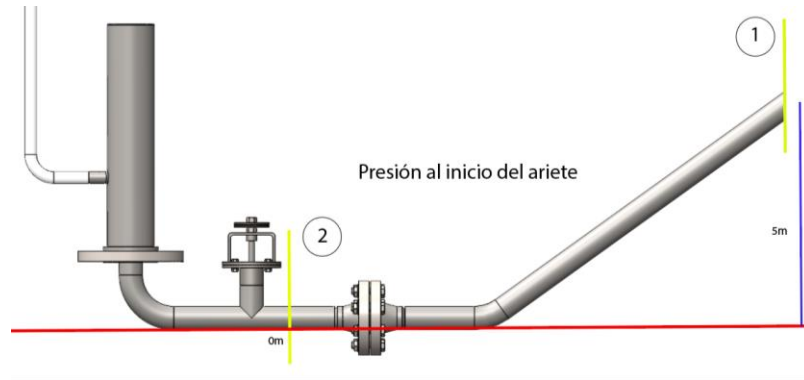


Figura 26. Puntos a considerar [Autor]

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f + h_a \quad (\text{Ec 3.13})$$

Donde:

P = Presión (Pa)

Z = Altura desde el punto de referencia (m)

γ = Peso específico del agua ($\frac{kN}{m^3}$)

h_f = Pérdidas por fricción (m)

h_a = Pérdidas por accesorios (m)

Para este caso debido a la poca presencia de accesorios en la tubería las pérdidas por accesorios tienen un valor de 0, al mismo tiempo que las velocidades se anulan y la presión en el inicio de la tubería de alimentación es cero debido a que se toma como atmosférica.

Para lo cual se tiene la siguiente expresión [5]:

$$P_2 = P_1 + \gamma g Z_1 - \gamma g Z_2 - \gamma g h_f \quad (\text{Ec 3.14})$$

Considerando también que el punto de referencia es el piso la altura 2 tiene un valor de cero por lo que se anula, por lo cual el valor de la presión es de:

$$P_2 = 48,89 \text{ Kpa}$$

3.13 Válvula de impulso

3.13.1 Selección de la válvula de impulso

Para la selección de esta válvula se tiene los siguientes criterios:

- Debe garantizar hermeticidad con lo cual de la misma manera se asegura un buen funcionamiento de la bomba.
- Debido a que debe resistir a distintos esfuerzos debe ser altamente resistente.
- Debe garantizar la regulación del líquido y posterior llenado de la cámara de presión.

De acuerdo con esto se opta por utilizar la válvula con pesas encima.

La válvula de impulso con pesas en su parte superior es una válvula cuya configuración es robusta y a la vez ligera. El cierre de esta válvula permite que el cierre y la apertura sean libres y rápidas, lo cual es una ventaja a la hora de utilizarla en la bomba. Otra de las ventajas de este tipo de válvulas es el cierre hermético que posee en su funcionamiento. Esta es una válvula que permite una amplia gama de regulación. Su precisión y repetibilidad son muy buenas características a la hora de su funcionamiento.

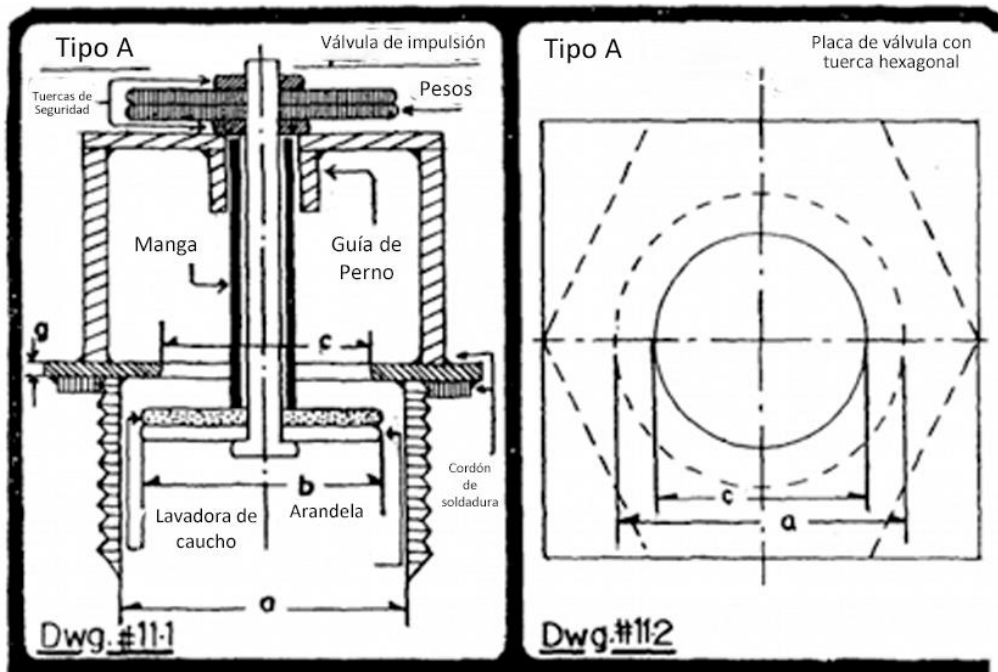


Figura 27. Esquema de la válvula de impulso. [28]

Tabla 19. Características técnicas de la válvula. [28]

Descripción	1.5"38		2" *51		2.5" *63		3"76		4"102	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
a) Acople I.	37	37	42	42	55	55	78	78	106	106
b) Arandela	30	37	35	36	42	49	61	67	85	88
c) Vaciado	22	30	25	30	35	42	48	60	66	80
d) Pernos acople	-	9	-	12	-	12	-	12	-	20
e) Agujeros Pequeños	-	4	-	4	-	5	-	9	-	9
f) Segundo Agujero	-	28	-	28	-	24	-	20	-	44
g) Placa	3	3	3	3	5	5	6	6	8	8
h) Longitud De pernos	150	150	150	150	165	165	175	175	190	190

3.13.2 Determinación del peso de la válvula de impulso

El peso de la válvula de impulsión es inversamente proporcional a la carrera de la misma, muchos experimentos recomiendan que los valores más óptimos son 4 mm o 5 mm con un peso de 0,76 Kg obteniendo la mejor eficiencia con esos valores.

3.13.3 Pérdidas hidráulicas

En base a experimentos Krol desarrollo un modelo matemático en la cual relaciona a la carrera de la válvula de impulso con las pérdidas a lo largo del ariete, la cual queda expresada como [29]:

$$\frac{h_{val}}{im} = \frac{2,43 - (1,06*s) + 10^{(0,95 - 13,05*s)}}{s} \quad (\text{Ec 3.15})$$

Donde:

$h_{val/imp}$ = Pérdidas en la válvula de impulso (m)

s = carrera de la válvula (m)

Para este tipo de válvulas es decir de hasta 0,076 Kg según [25] la carrera es de 0,4 m, con esto tomando en cuenta los modelos matemáticos establecidos por Krol, teniendo en cuenta que el modelo está basado en relaciones entre la teoría y la experimentación se tiene el valor de:

$$\frac{h_{val}}{im} = \frac{2,43 - (1,06*0,40) + 10^{(0,95 - 13,05*0,40)}}{0,40}$$

$$h_{val/imp} = 5,015 \text{ m}$$

3.13.4 Velocidad de entrada

Realizando un artificio matemático de la ecuación de Darcy se procede a despejar la velocidad de flujo en la entrada de las válvulas, de esta velocidad depende si las válvulas se pueden abrir o cerrar, es un parámetro importante en el diseño, en caso de no tener un valor adecuado se tendrá que replantear esta variable [27].

Según [29] plantea la siguiente expresión matemática.

$$V_{va/im} = \sqrt{\frac{2 * A_a * g}{h_{val/imp} + 1 + f f \frac{L}{\phi}}} \quad (\text{Ec 3.16})$$

Donde:

$V_{va/im}$ = Velocidad en la válvula de impulsión ($\frac{m}{s}$)

g = aceleración de la gravedad ($\frac{m}{s^2}$)

$$\frac{V_{va}}{im} = \sqrt{\frac{2 * 5 * 9,81}{5,015 + 1 + 0,033 \frac{9}{0,0508}}}$$

$$\frac{V_{va}}{im} = 2,87 \frac{m}{s}$$

3.13.5 Presión dinámica

Este tipo de presión se genera una vez que el caudal está fluyendo por el cuerpo del ariete y está dada por la siguiente ecuación, de acuerdo a [29] este parámetro depende directamente de la velocidad, misma que tiene que ser la necesaria para poder vencer la resistencia de la válvula y que se pueda cerrar.

A su vez esto se deriva del modelo matemático de Krol teniendo la siguiente expresión matemática:

$$P_{d/v} = \frac{V_{va}^2 * \rho}{2} \quad (\text{Ec 3.17})$$

Donde:

$P_{d/v}$ = Presión dinámica de la válvula (Pa)

ρ = Densidad de fluido ($\frac{Kg}{m^3}$)

$$P_{d/v} = \frac{2,87^2 * 998,2}{2}$$

$$P_{\frac{d}{v}} = 8222,07 Pa$$

3.13.6 Velocidad o celeridad de propagación

Continuando con el modelo de Krol [29], al momento en que la válvula está cerrada el fluido pasa a gran velocidad con esto formando una onda de propagación de agua. Este parámetro depende el espesor de tubería y la longitud de la tubería, viene dada por la siguiente ecuación [27]:

Esta ecuación denominada de Joukowski:

$$V_p = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{\phi_i}{e} * \frac{\epsilon_f}{\epsilon_t}}} \quad (\text{Ec 3.18})$$

Donde:

V_p = Velocidad de propagación ($\frac{m}{s}$)

e = Espesor de la tubería (m)

ϵ_f = Módulo volumétrico de elasticidad del agua (MPa)

ϵ_t = Módulo del material de tubería (Mpa)

ϕ_i = diámetro interior de tubería (m)

$$V_p = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{0,04815}{0,0026} * \frac{2200 Mpa}{200 Mpa}}}$$

$$V_p = 99,59 \frac{m}{s}$$

3.13.7 Tiempo de cerrado

Para esto se utiliza la siguiente ecuación [27]:

$$T = \frac{2 * La}{V_p} \quad (\text{Ec 3.19})$$

Donde:

$T = \text{Tiempo de cerrado (s)}$

$$T = \frac{2 * 9}{1298,83}$$

$$T = 0,013 \text{ s}$$

3.13.8 Cálculo de caudal en un ciclo

Krol desarrolla el modelo matemático para el cálculo de caudal en un ciclo, para este caso se toma en cuenta el tiempo de duración de ciclo que se lo estima en 1 segundo, este tiempo dividido en el periodo de aceleración con 0,9 s, tiempo que ocupa en bombear 0,05 s y el de retroceso igual de 0,05 s de acuerdo a datos experimentales.

La fórmula está dada por [29]:

$$Q_{b/c} = \frac{\pi * \emptyset_{ch}^2}{4t} \int_{TA}^{TA+TD} v(t) x dt \quad (\text{Ec 3.20})$$

Donde:

$Q_{b/c} = \text{Caudal de bombeo por ciclo } \left(\frac{m^3}{s}\right)$

$\emptyset_{ch} = \text{Diámetro válvula check (m)}$

$TA = \text{tiempo de aceleración (s)}$

$TD = \text{Tiempo de descarga (s)}$

$$Q_{b/c} = \frac{\pi * 0,0508^2}{4} \int_{0,9}^{0,95} 2,87 dt$$

$$Q_{b/c} = 0,00029 \frac{m^3}{s}$$

3.13.9 Cálculo de la energía cinética

Para esto se utiliza la expresión dada para la energía cinética [5]:

En primer lugar, se obtiene la masa de acuerdo al caudal utilizado.

$$m = Q * \rho * T \quad (\text{Ec 3.21})$$

Donde:

$m = \text{masa (Kg)}$

$$m = 0,00066 * 998,4 * 1$$

$$m = 0,658 \text{ Kg}$$

Entonces:

$$E_{cine} = 0,5 * m * V_{val/imp}^2$$

Donde:

$E_{cine} = \text{Energía cinética (Nm)}$

$$E_{cine} = 0,5 * 0,658 * 2,87^2$$

$$E_{cine} = 2,71 \text{ Nm}$$

3.13.10 Cálculo de presiones máximas y mínimas en el interior del ariete

Para el desarrollo de este cálculo en primer lugar se obtiene la sobrepresión que se ejerce en el ariete, para esto se utiliza las ecuaciones dadas por el modelo matemático de Krol correspondiente a la etapa cuando se ejerce la mayor presión en el cuerpo del ariete, el modelo matemático es el siguiente [29]:

$$S_p = \frac{V_p * V_{val/imp}}{g} \quad (\text{Ec 3.22})$$

Donde:

$S_p = \text{Sobrepresión (m.c.a)}$

Entonces:

$$S_p = \frac{99.59 * 2,87}{9,81}$$

$$S_p = 29,13 \text{ m.c.a}$$

Posterior a esto se calcula la carga máxima y mínima, parámetro dependiente a la sobrepresión y la altura de alimentación, está dada por la siguiente ecuación [29]:

$$C_{Max} = S_p + A_a ; C_{Min} = S_p - A_a \quad (\text{Ec 3.23})$$

Donde:

$C_{Max} = \text{Carga máxima (m.c.a)}$

$C_{Min} = \text{Carga mínima (m.c.a)}$

$$C_{Max} = 29.13 + 5$$

$$C_{Max} = 34,14\text{m}$$

$$C_{Min} = 29,13 - 5$$

$$C_{Min} = 24,13\text{m}$$

Ahora se procede a calcular la presión máxima y mínima:

$$P_{min} = \rho * g * C_{Min}; P_{max} = \rho * g * C_{Max} \quad (\text{Ec 3.24})$$

Donde:

P_{min} = Presión mínima en el cuerpo del ariete(MPa)

P_{max} = Presión máxima en el cuerpo del ariete(MPa)

$$P_{max} = 998,4 * 9,81 * 34.14\text{m.c.a}$$

$$P_{max} = 0,3343\text{Mpa}$$

$$P_{max} = 998,4 * 9,81 * 24.13$$

$$P_{max} = 0,236\text{Mpa}$$

3.14 Cálculo y dimensionamiento del tanque de presión

3.14.1 Presión inicial en el tanque

La presión inicial se detalla como la existente cuando el tanque se encuentra vacío, para esto se utiliza la siguiente expresión [27]:

$$P_1 = P_a + S_p * \rho * g \quad (\text{Ec 3.25})$$

Donde:

P_1 = Presión inicial en el tanque de presión (Mpa)

P_a = Presión atmosférica (Pa)

$$P_1 = 74695 + 29,13 * 998,4 * 9,81$$

$$P_1 = 0,36 \text{ Mpa}$$

3.15 Volumen del tanque

3.15.1 Volumen de la cámara de aire

El cilindro de aire se encarga de comprimir y amortiguar los choques de presión, función esencial para el funcionamiento de la bomba de ariete. El aire contenido en la cámara es como un elemento elástico. Cuando se comprime (fase de sobrepresión), la cámara tomará una cierta cantidad de agua y comprimirá parcialmente la tendencia a la sobrepresión alta; y cuando se expanda (fase de hundimiento) un volumen de agua almacenada en la etapa antes de la tubería de descarga, esto asegura un flujo continuo de agua a través de ella.

Basándonos en el diámetro calculado en apartados anteriores, se tiene el valor es de 2” considerando para la simplicidad del diseño se escoge una tubería de cedula 40 por motivos de stock en el mercador local el diámetro del ingreso al tanque de presión nos imponemos un diámetro de 4 pulgadas, imponiéndonos una longitud estándar de acuerdo a métodos experimentales de 19 pulgadas (0.4826 m). Teniendo en cuenta que si mayor longitud tiene tanque de presión, el efecto de ariete mejora considerablemente.

Tabla 20. Propiedades mecánicas tubería cedula 40 [27]

Resistencia Mecánica		Punto de Fluencia	
kg/mm^2	Psi	kg/mm^2	Psi
42.2	60000	24.6	35000

DIÁMETRO		PROPIEDADES					
INTERIOR	EXTERIOR (D)	ESPESOR (e)			PRESIÓN/PRUEBA		PESO
pulg	mm	pulg	mm	pulg	kg/cm ²	lb/pulg ²	kg/mts
1/2"	21.30	0.84	2.77	0.10	49	700	1.27
3/4"	26.70	1.05	2.87	0.11	49	700	1.68
1"	33.40	1.31	3.38	0.13	49	700	2.50
1 1/4"	42.20	1.66	3.56	0.14	91	1300	3.38
1 1/2"	48.30	1.90	3.68	0.14	91	1300	4.05
2"	60.30	2.37	3.91	0.15	176	2500	5.44
2 1/2"	73.00	2.87	5.16	0.20	176	2500	8.62
3"	88.90	3.50	5.49	0.21	176	2500	11.29
4"	114.30	4.50	6.02	0.23	155	2210	16.07
5"	141.30	5.56	6.55	0.25	137	1950	21.78
6"	168.30	6.62	7.11	0.28	125	1780	28.26
8"	219.10	8.62	8.18	0.32	110	1570	42.53
10"	273.00	10.75	9.27	0.36	101	1430	60.29
12"	323.80	12.75	10.31	0.40	94	1340	79.65
14"	355.60	14.00	11.13	0.43	92	1310	94.55

3.15.2 Volumen de agua en el tanque de presión

De acuerdo a bibliografías referentes a diseño de cámaras de aire de sistemas de bombeo de ariete hidráulico, tenemos que la expresión utilizada es la siguiente [27]:

$$V_{h20} = \frac{\pi * D_t^2 * h_{h20}}{4} \quad (\text{Ec 3.27})$$

Donde:

V_{h20} = Volumen de agua en el tanque de presión (m^3)

h_{h20} = Longitud del agua en la cámara (m^3)

Además, dice que el volumen de agua es alrededor del 43% del total de la longitud de la cámara de aire, entonces se dice que [27]:

$$V_{h20} = \frac{\pi * 0,1016^2 * 0,20751}{4}$$

$$V_{h20} = 0,00168m^3$$

3.15.3 Cálculo de volumen de aire al inicio del proceso

Para calcular este volumen se procede hacer la diferencia entre el volumen total de la cámara y el volumen de agua, con esto se tiene que [27]:

$$V_{aire1} = V_t - V_{h20} \quad (\text{Ec 3.28})$$

Donde:

V_{aire1} = Volumen de aire en el tanque al inicio del proceso (m^3)

V_t = Volumen total del tanque (m^3)

$$V_{aire1} = 0,00810 - 0,00168$$

$$V_{aire1} = 0,0065 m^3$$

3.15.4 Volumen al final del proceso

Para esto se tiene la siguiente expresión matemática [27]:

$$V_{aire2} = V_{aire1} - V_{h20/c} \quad (\text{Ec 3.29})$$

Donde:

$$V_{aire2} = \text{Volumen al final del proceso } (m^3)$$

$$V_{h20/c} = \text{Volumen de agua por ciclo } (m^3)$$

$$V_{aire2} = 0,0065 - 0,00168$$

$$V_{aire2} = 0,00482m^3$$

3.15.5 Presión final en la cámara

Tomando en cuenta que no existe transferencia de energía al medio (proceso adiabático) y además que no existe variación de temperatura (proceso isotérmico) se toma en cuenta al aire como gas ideal, por lo tanto, tenemos la ecuación del gas ideal expresada a continuación [31]:

$$\frac{V_{aire1}}{V_{aire2}} = \frac{P_2}{P_1} \quad (\text{Ec 3.30})$$

$$P_2 = \frac{V_{aire1} * P_1}{V_{aire2}}$$

$$P_2 = \frac{0,0065 * 0,36 \times 10^6}{0,00482}$$

$$P_2 = 0,485 \text{ Mpa}$$

La figura 3.8, hace referencia al esquema de una bomba de ariete mono impulsor en la cual se encuentran especificados la ubicación de los elementos antes mencionado.

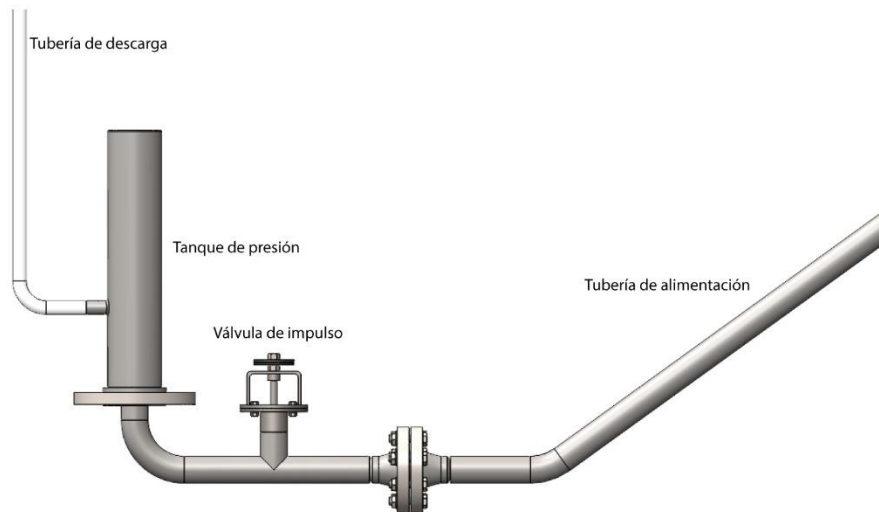


Figura 28. Esquema del sistema terminado. [Autor]

3.16 Modelamiento de la bomba de ariete

Para el diseño 3D de la Bomba de Ariete se debe considerar todos y cada uno de los elementos que lo conforman como son:

- Tubería con las debidas especificaciones técnicas.
- Codos (Normalizados y codos no normalizados)
- Pernos
- Tuercas
- Bridas
- Arandelas
- Válvulas
- Tanque de Presión

Todos y cada uno de estos elementos están en directa relación a la geografía del terreno, requerimientos y sobre todo diseño. A partir de ello, y gracias a la ayuda de un software CAD se procede con el modelamiento.

3.16.1 Diseño de las partes

3.16.1.1 Cuerpo de la bomba

El primer diseño del modelo está centrado en el cuerpo de la bomba. El cuerpo del ariete está conformado por:

- Ingreso
- Salida
- Lugar de aplicación de la válvula de impulso
- Acoples para las bridas

Considerando todos estos aspectos se tiene el primero diseño el cual está conformado de la siguiente manera, figura 3.9:

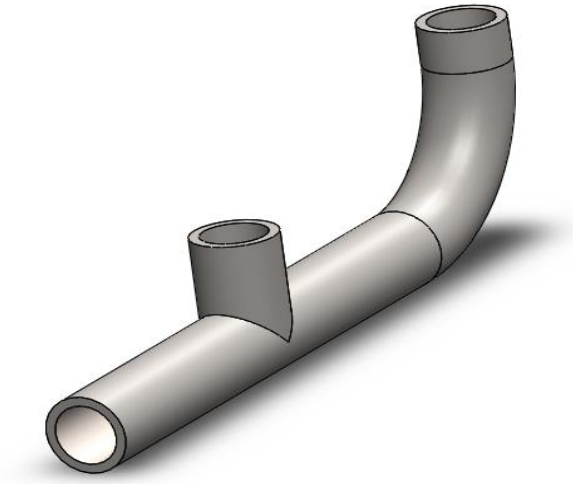


Figura 29. Cuerpo de la bomba. [Autor]

3.16.1.2 Válvula de impulso

La válvula de impulso está conformada por una serie de partes internas, por lo que, se considera como un ensamble. Dentro de las principales partes de este elemento se tiene:

- Vástago
- Acople a Tubería
- Tuercas
- Arandelas de Presión
- Cuerpo de la Válvula

Una de las consideraciones especiales de esta pieza radica en la normalización. Al ser un elemento que puede ser adquirido mediante una compra es imperativo el hecho de apegarse a los planos de los fabricantes, La figura 3.10 es el producto final del diseño.

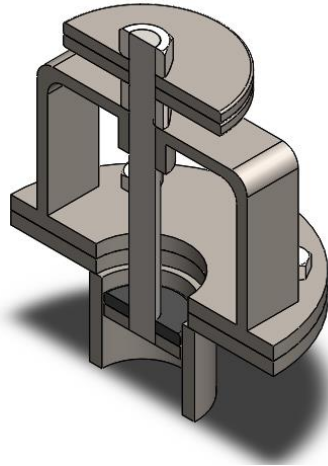


Figura 30. Válvula de impulso. [Autor]

3.16.1.3 Cilindro

El cilindro de presión está diseñado acorde a los cálculos realizados anteriormente. Cabe recalcar que tanto las paredes como la salida a la tubería de descarga están en estricta relación a las necesidades de este proyecto. Entre las principales partes a tomar en cuenta en este diseño se tiene:

- Altura del cilindro
- Diámetro de acople a la brida
- Diámetro de salida
- Espesor de la pared
- Diseño exterior (Cilíndrico o redondeado)

La figura 3.11, muestra el diseño final del cilindro.



Figura 31. Cilindro de presión. [Autor]

3.16.1.4 Bridas

Las bridas son los elementos de acople considerados para este proyecto. Este tipo de elementos están en estricta relación a normativas y regulaciones tanto internacionales como nacionales, por lo que, el diseño de las mismas es considerado como un diseño normalizado.

A partir de ello tenemos que, para una tubería de 4 in, las bridas recomendadas son las mostradas por la figura 3.12.

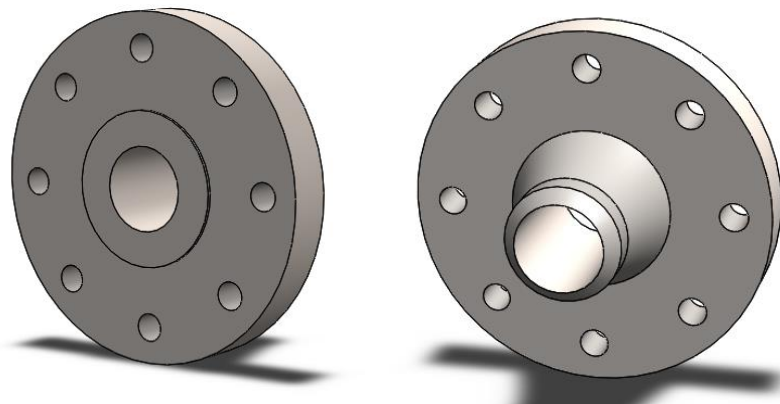


Figura 32. Brida. [Autor]

3.16.1.5 Tubería

La tubería es el medio por el cual se producirá la circulación del fluido (Agua). Al ser un elemento cuya morfología varía de acuerdo a la topografía del terreno. Es decir, la ruta de la tubería deberá considerar aspectos como:

- Angulo de inclinación
- Altura de descarga
- Distancia total

A partir de ello tenemos el primer grupo de tuberías las cuales corresponden al ingreso del fluido hacia la bomba, figura 3.13.

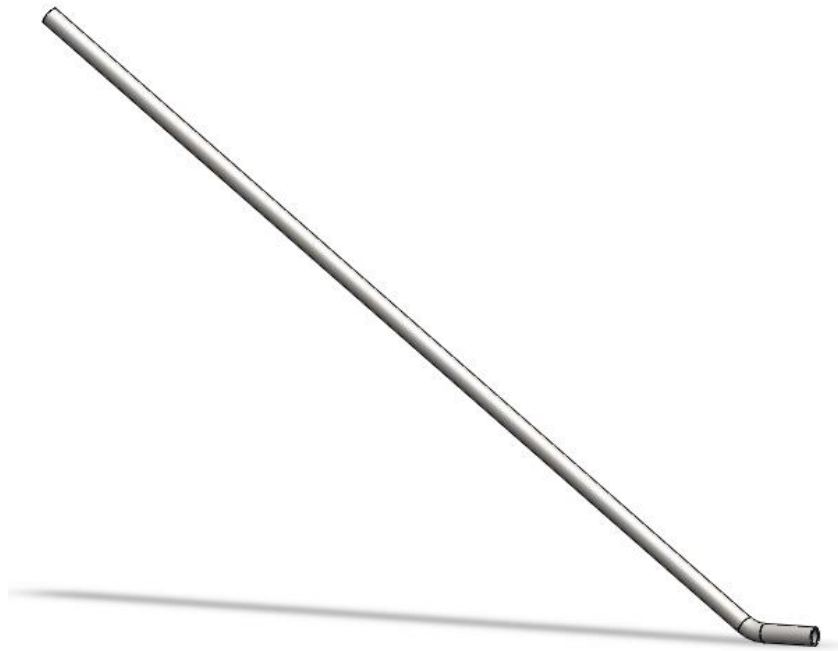


Figura 33. Tubería de ingreso. [Autor]

El segundo grupo de tuberías corresponde a las tuberías de descarga las cuales difieren en diámetro con las de ingreso para lo cual la figura 3.14, muestra cómo será la misma:

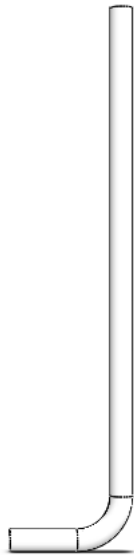


Figura 34. Tubería de descarga. [Autor]

3.16.1.6 Codos

Los codos son parte del conjunto de transporte del fluido, sin embargo, para este proyecto, es muy necesaria la utilización de un codo no normalizado, figura 3.15. El codo tiene una inclinación de aproximadamente 35.6° . Este tipo de piezas comercialmente no se las encuentra por lo que si lo trasladamos a la realidad debería ser manufacturada para el uso en este trabajo.

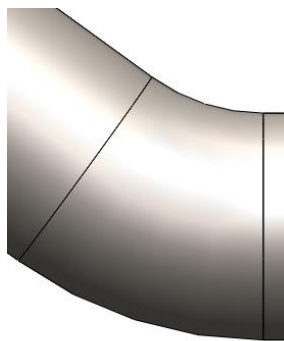


Figura 35. Codo no normalizado. [Autor]

Lo demás codos (figura 3.16) son a 90° normalizados y distribuidos a nivel comercial.



Figura 36. Codo normalizado. [Autor]

3.16.1.7 Tuercas, tornillos y arandelas

Este tipo de elementos de sujeción al igual que las bridas son distribuidos a nivel comercial y normalizados. Por lo que el diseño de este tipo de piezas debe hacer referencia a la respectiva norma AISI. La figura 3.17, muestra los elementos antes mencionados utilizados en el modelado.

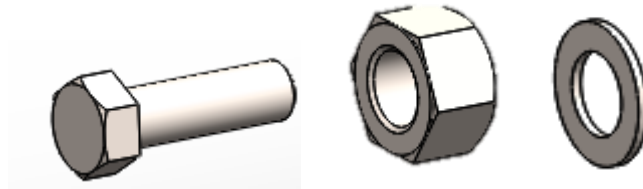


Figura 37. Tornillo, tuerca y arandela. [Autor]

Observación

El modelo de la bomba presentado, se encuentra parametrizado. Es decir, el diseño de la bomba variará de acuerdo a la variación de la tubería de ingreso de fluido. La figura 3.18, presenta la bomba original diseñada. Por otro lado, la figura 3.19, muestra el cambio que tendría la bomba cuando existe la necesidad de variar la tubería de ingreso especialmente.

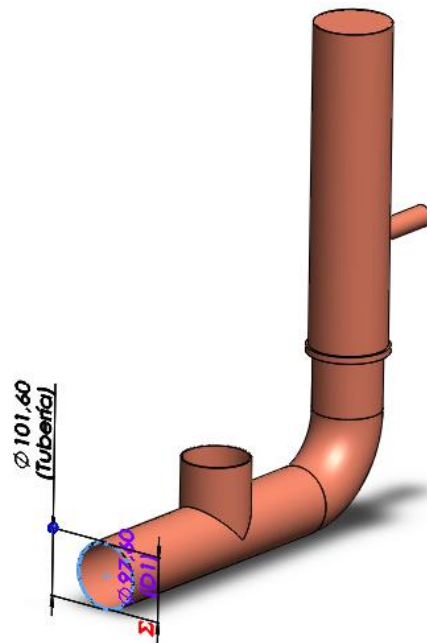


Figura 38. Modelo parametrizado frontal. [Autor]

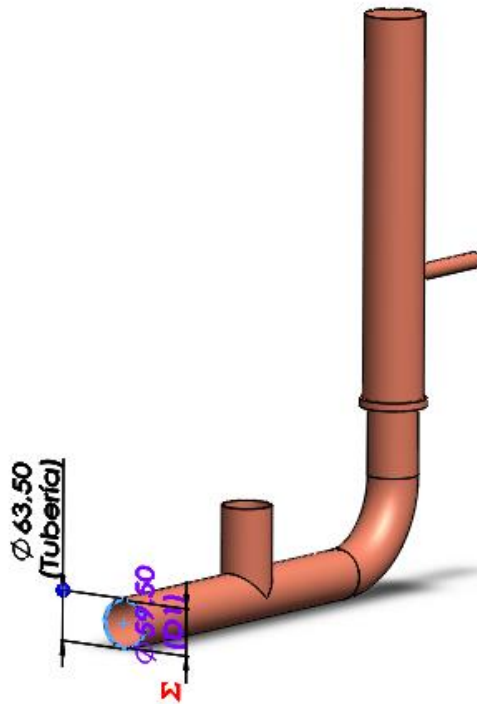


Figura 39. Modelo parametrizado lateral. [Autor]

3.16.1.8 Ensamble

La unión de todos los elementos anteriores da como resultado la bomba de ariete tal y como se debería ver en la realidad. Con todos y cada uno de los elementos cumpliendo con su función. La figura 3.20, muestra el producto final del diseño de la bomba en cuestión.

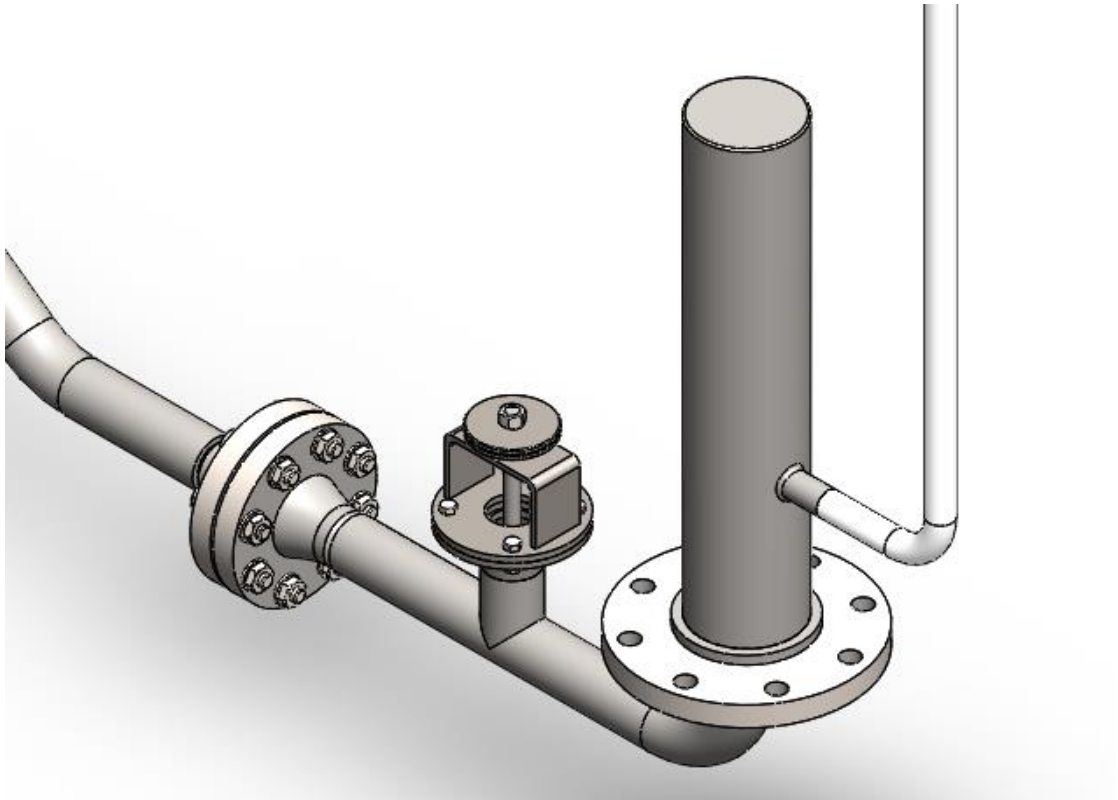


Figura 40. Ensamble de la bomba de ariete. [Autor]

La figura 3.21, muestra los elementos antes de ser ensamblados (Vista Explosionada).

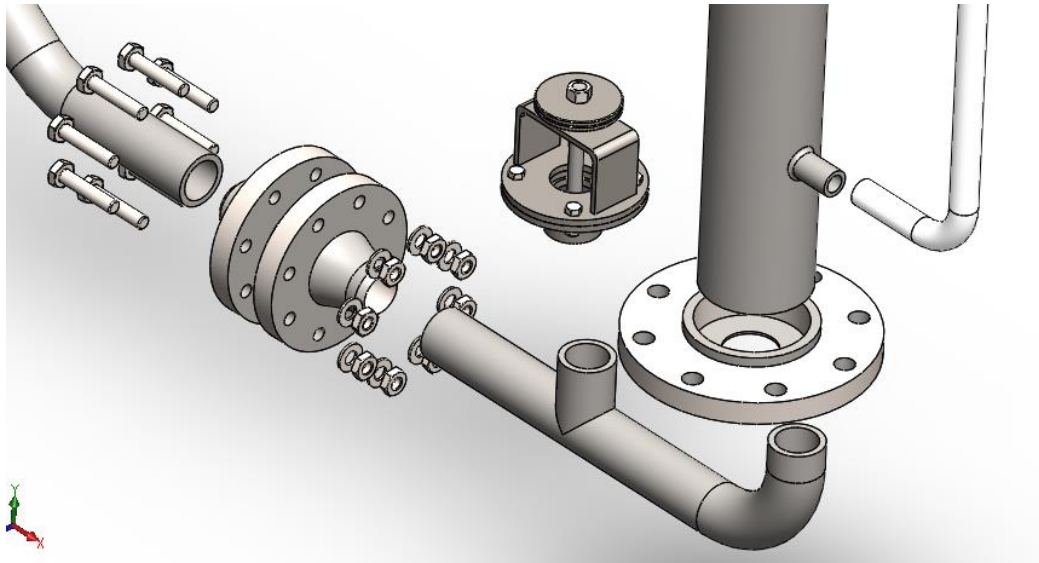


Figura 41. Vista explosionada. [Autor]

3.16.1.9 Renderizado

El paso final a cumplir es el renderizado de los elementos modelados. En este punto el software de diseño CAD intenta mostrar de manera más real todos los elementos de la bomba de ariete. Este proceso arroja como resultado las siguientes figuras (Figuras 3.22,23,24).



Figura 42. Renderizado del modelo frontal. [Autor]



Figura 43. Renderizado del modelo detalle. [Autor]



Figura 44. Renderizado del modelo final. [Autor]

3.17 Propuesta de simulación

Para la simulación se realiza una simplificación de geometría remitiéndose únicamente al cuerpo del ariete sin contar la tubería inclinada. Esto con el fin de reducir el gasto computacional y teniendo en cuenta que los efectos a verificar están en el cuerpo del ariete.

Teniendo en cuenta fases antes del procesado se tiene la definición de la geometría, la figura 3. 7 muestra el cuerpo de la bomba que va a ser simulado.

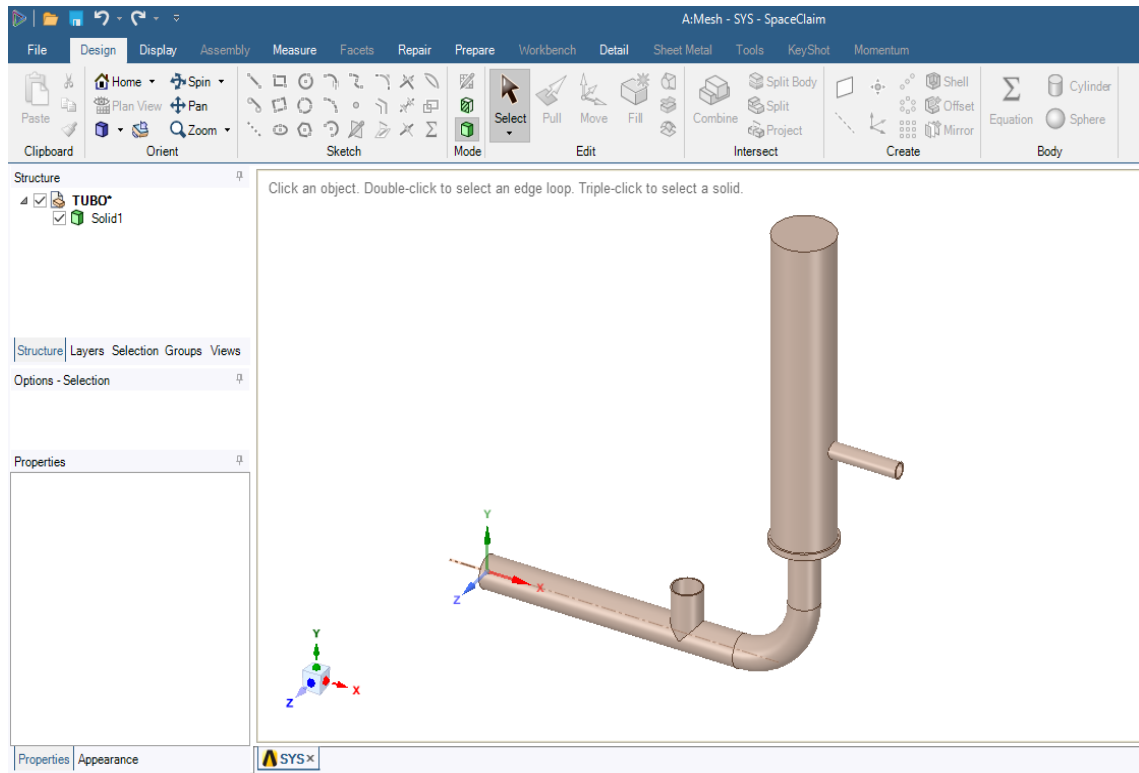


Figura 45. Geometría a simular. [Autor]

Para efectos de simulación CFD se necesita extraer el volumen interior por donde circula el flujo, en este caso agua, para ello Spaceclim permite desarrollar este paso mediante la herramienta de extrusión.

Una vez realizada la operación se tiene el siguiente resultado, la figura 3.10 muestra el volumen extraído.

Select faces that enclose a region, then click the Select Seed Face tool guide to continue.

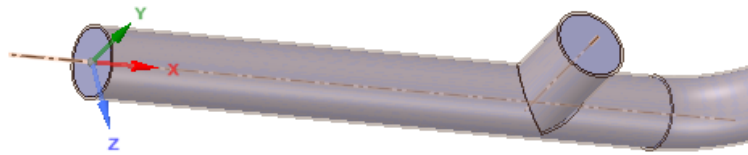


Figura 46. Detalles de extracción de volumen. [Autor]

Click an object. Double-click to select an edge loop. Triple-click to select a solid.

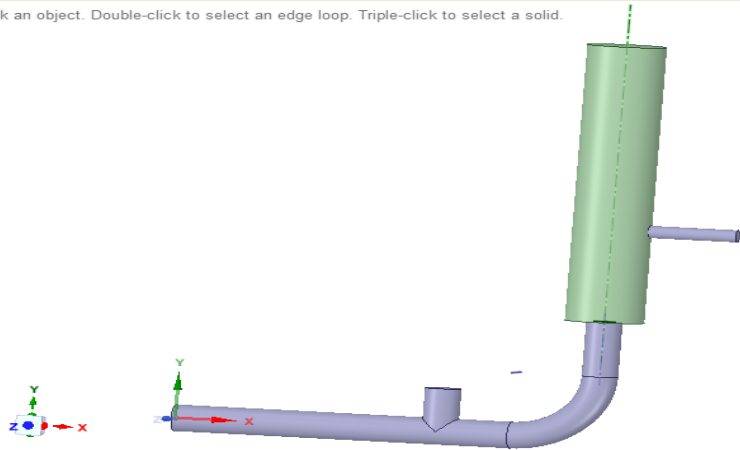


Figura 47. Resultado del volumen extraído para simulación. [Autor]

Una vez definida la geometría se procede a mallar el elemento, en la siguiente figura se presenta el interfaz de mallado.

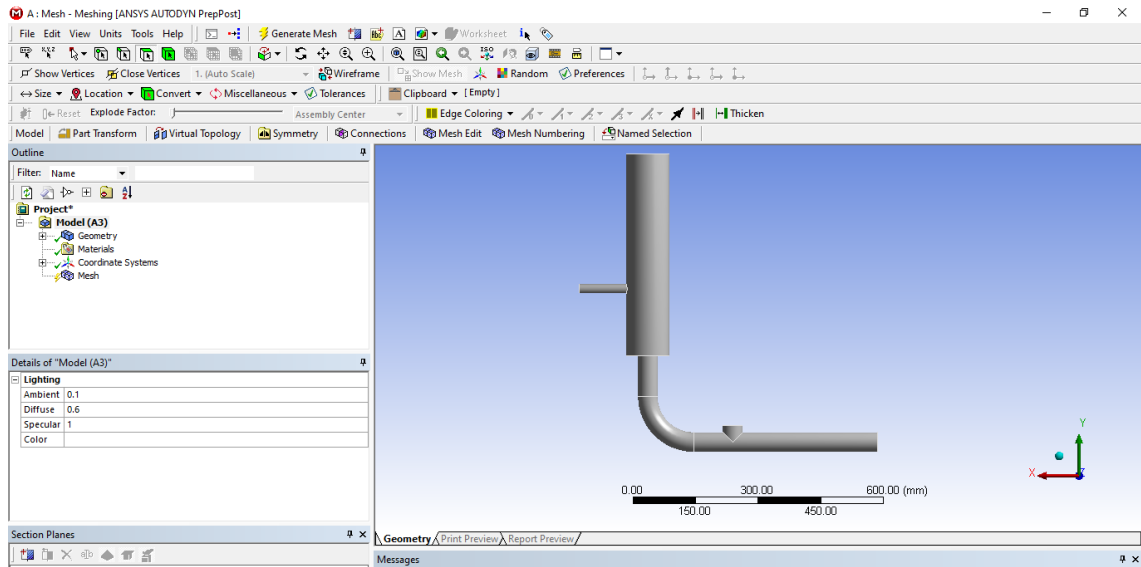


Figura 48. Módulo de mallado. [Autor]

Para el mallado como se menciona en el capítulo II se obtendrá valores de métrica acordes a niveles muy buenos o excelentes, para lo cual se procede hacer un mallado refinado con las distintas técnicas de malla. El programa automáticamente genera una malla de calidad baja como se muestra a continuación.

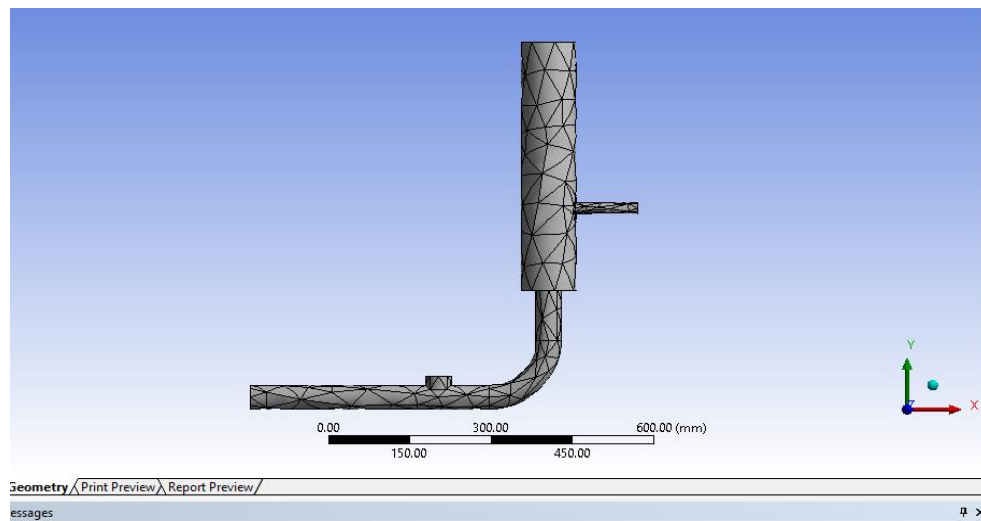


Figura 49. Mallado automático 1. [Autor]

Con pequeños cambios en la estructura de la malla global se tiene el siguiente resultado:

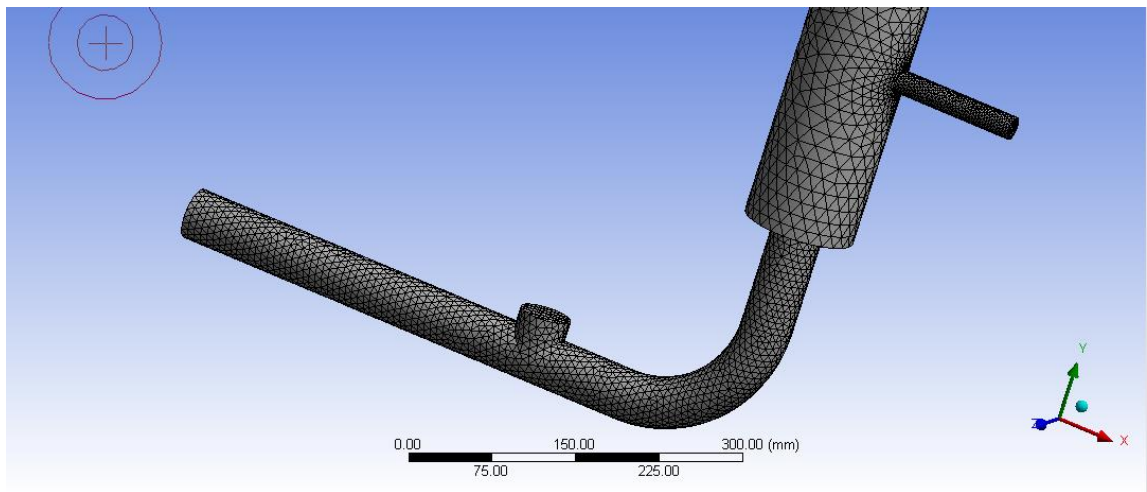


Figura 50. Mallado automático. [Autor]

La figura 3 muestra un mallado más estructurado, pero con una métrica que aún no llega a la excelencia. Las siguientes figuras muestran detalles de métrica de malla.

Details of "Mesh"	
<input type="checkbox"/> Target Skewness	Default (0.900000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	0.31399
<input type="checkbox"/> Max	0.99994
<input type="checkbox"/> Average	0.83815
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	9.4405e-002
+ Inflation	
+ Assembly Meshing	
+ Advanced	

Figura 51. Mallado automático 2. [Autor]

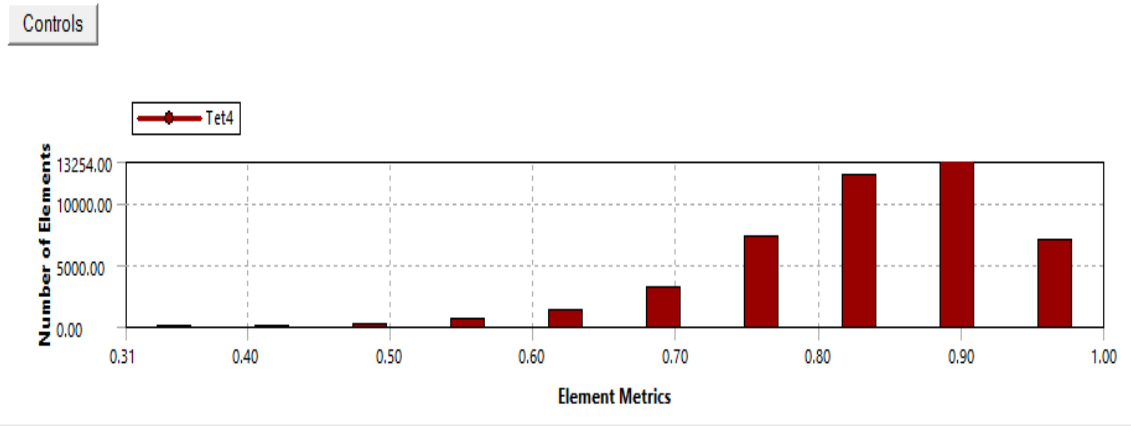


Figura 52. Mallado automático 3. [Autor]

Se realiza un mallado más refinado en la parte de la válvula de impulso mediante el método de la esfera de influencia.

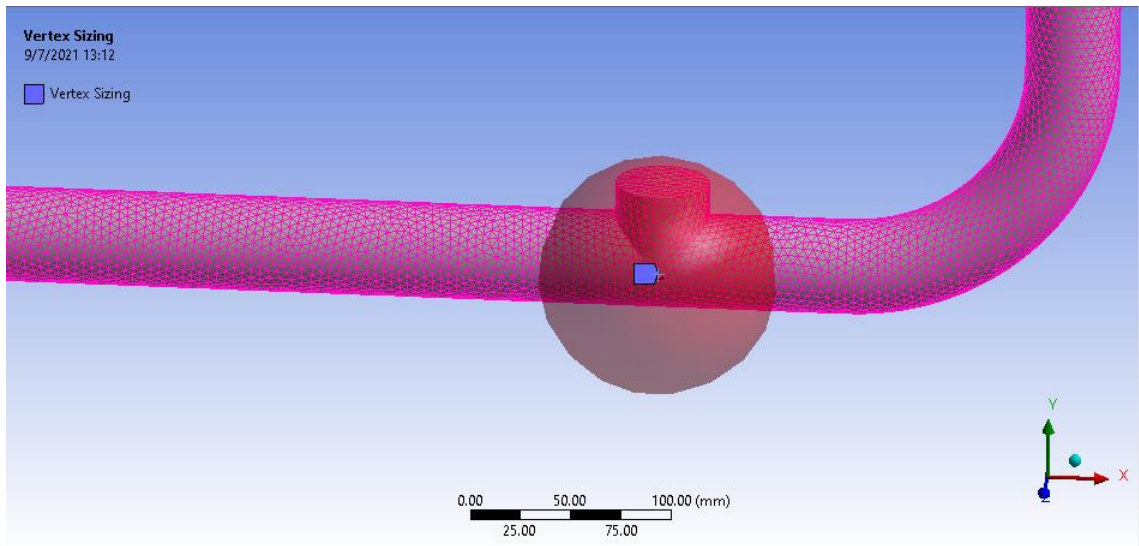


Figura 53. Mallado automático 4. [Autor]

Con esto se tiene un resultado de malla más fina en esa parte como se muestra a continuación:

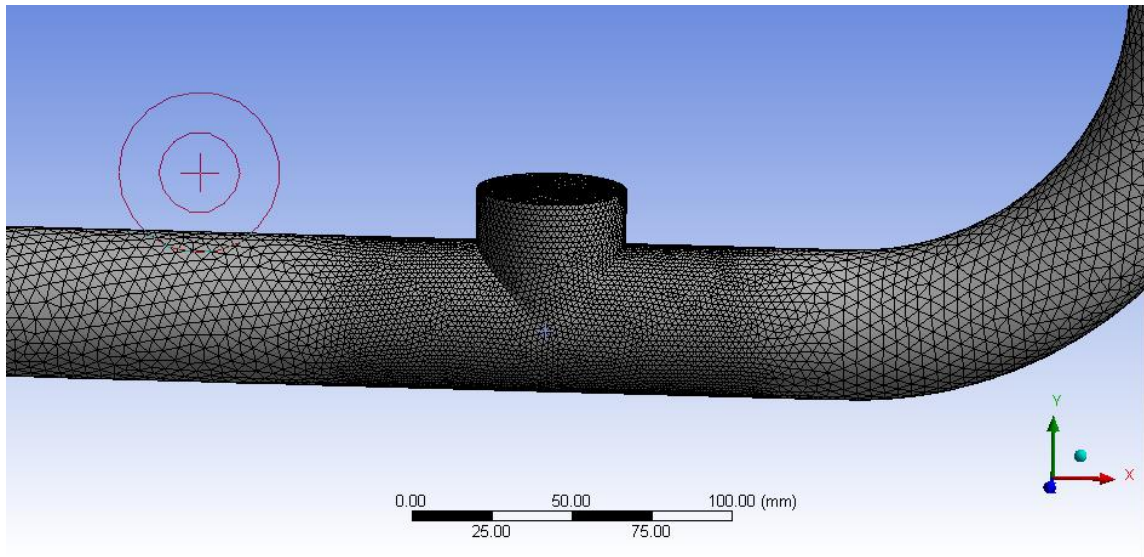


Figura 54. Mallado automático 5. [Autor]

Las estadísticas son las siguientes:

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	73291
<input type="checkbox"/> Elements	389789

Figura 55. Mallado automático. [Autor]

El paso siguiente es la identificación de las caras por donde el fluido va entrar o salir, dependiendo del fenómeno que se busca encontrar estos varían, para este caso los “nombres de selección” son los siguientes:

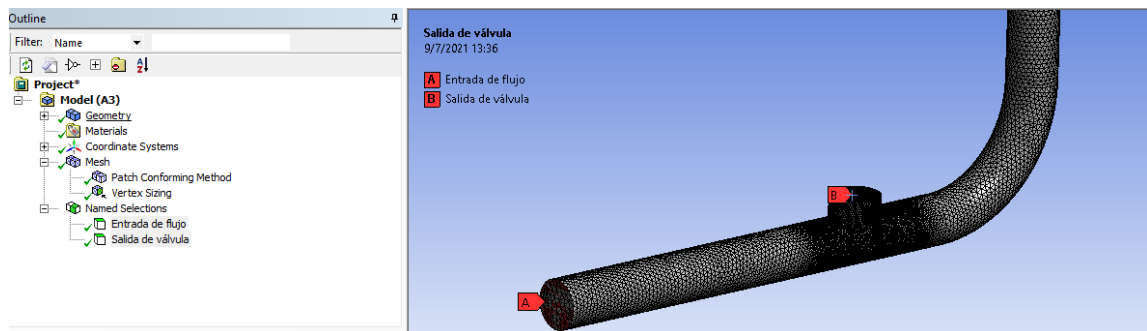


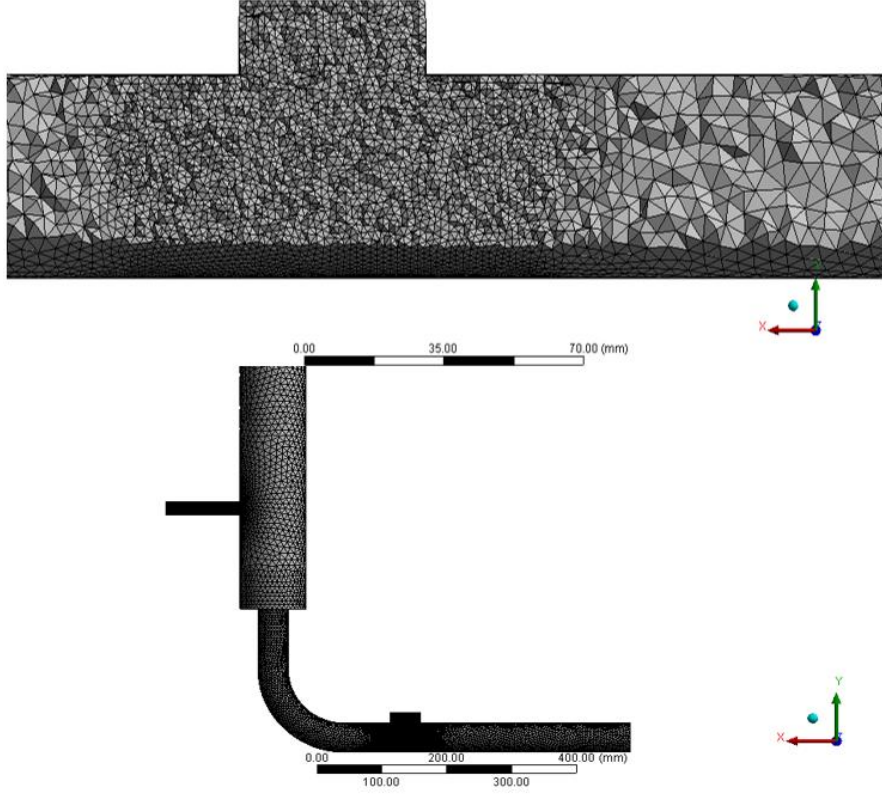


Figura 56. Delimitación de entradas y salidas del flujo. [Autor]

3.17.1 Detalles del mallado

Tabla 21. Generación de malla local. [Autor]

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>FICM</p> <p>INGENIERÍA MECÁNICA</p> </div>  </div>			
VALIDACIÓN DEL MALLADO			
Tipo	BOMBA DE ARIETE		
Fecha de Ejecución:	12/07/2021	Realizado por:	Kevin Chicaiza
		Revisado por:	Ing. Luis Escobar
Método:	Ortogonal Quality	Calidad:	Muy buena Valor 0,2098
DETALLES			
			

3.17.2 Detalles de procesado

Siendo la duración de este proceso 1 segundo, se hace una simulación de estado transitoria, además se activa la aceleración de la gravedad.

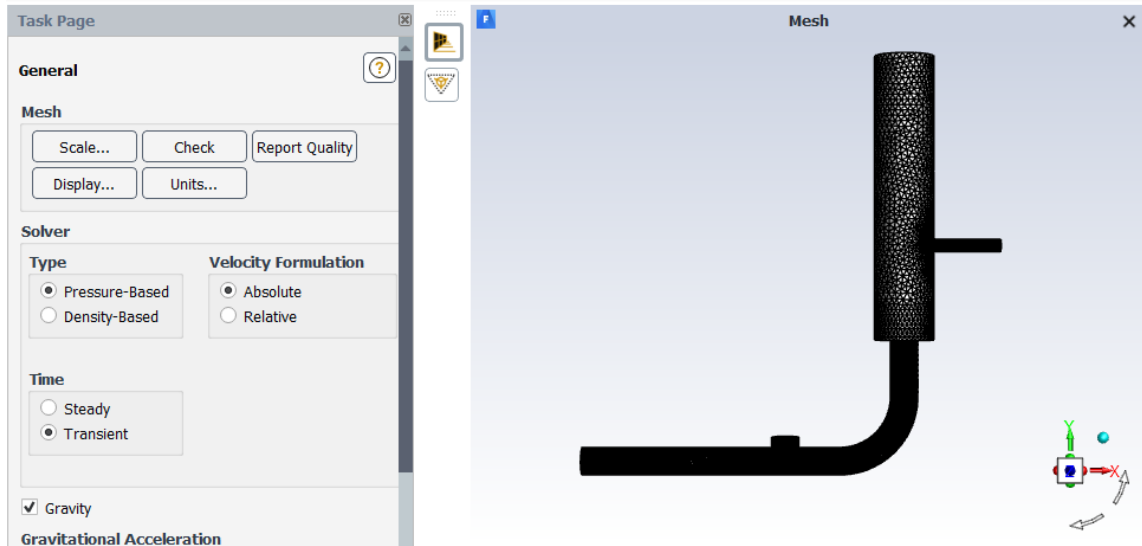


Figura 57. Generación de malla local. [Autor]

La calidad de la malla debe estar en buenas condiciones para lo cual se hace un “Report Quality” con lo cual la consola arroja detalles de malla, en caso de estar en color rojo la malla ha fallado.

```
Mesh Quality:

Minimum Orthogonal Quality = 2.20279e-01 cell 61484 on zone 3 (ID: 389637
on partition: 0) at location ( 5.83575e-01 2.44529e-01 -3.33522e-02)
(To improve Orthogonal quality , use "Inverse Orthogonal Quality" in
Fluent Meshing,
where Inverse Orthogonal Quality = 1 - Orthogonal Quality)

Maximum Aspect Ratio = 1.44602e+01 cell 106437 on zone 3 (ID: 72966 on
partition: 0) at location ( 4.43880e-01 2.78600e-03 -2.08396e-02)
```

Figura 58. Generación de malla local 1. [Autor]

Uno de los pasos más importantes para esta simulación es seleccionar el régimen de fluido, en este caso siendo este turbulento de acuerdo a los cálculos analíticos, se escoge el modelo de “K Epsilon” siendo este el más utilizado en este tipo de estudios y acorde a nuestro tipo de fluido.

Viscous Model

Model

- Inviscid
- Laminar
- Spalart-Allmaras (1 eqn)
- k-epsilon (2 eqn)
- k-omega (2 eqn)
- Transition k-kl-omega (3 eqn)
- Transition SST (4 eqn)
- Reynolds Stress (7 eqn)
- Scale-Adaptive Simulation (SAS)
- Detached Eddy Simulation (DES)
- Large Eddy Simulation (LES)

k-epsilon Model

- Standard
- RNG
- Realizable

Near-Wall Treatment

- Standard Wall Functions
- Scalable Wall Functions
- Non-Equilibrium Wall Functions
- Enhanced Wall Treatment
- Menter-Lechner
- User-Defined Wall Functions

Options

- Curvature Correction
- Production Kato-Lauder
- Production Limiter

Model Constants

Cmu: 0.09

C1-Epsilon: 1.44

C2-Epsilon: 1.92

TKE Prandtl Number: 1

TDR Prandtl Number: 1.3

User-Defined Functions

Turbulent Viscosity: none

Prandtl Numbers

TKE Prandtl Number: none

TDR Prandtl Number: none

Figura 59. Generación de malla local 2. [Autor]

Para este modelo se han usado métodos matemáticos de enorme precisión por lo cual los valores se dejan en predeterminados, asegurando así una simulación con régimen turbulento. Posterior a esto se escoge el material, el programa por defecto coloca aire por lo cual hay que recurrir a la base de datos. Una vez ahí se escoge agua líquida.

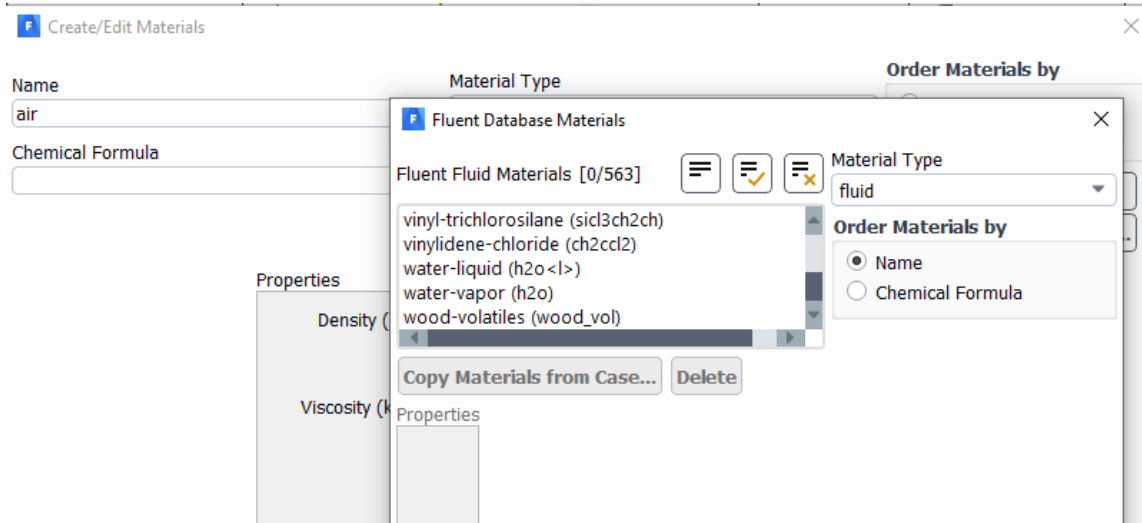


Figura 60. Generación de malla local 3. [Autor]

Las propiedades se muestran en la figura 3.14.

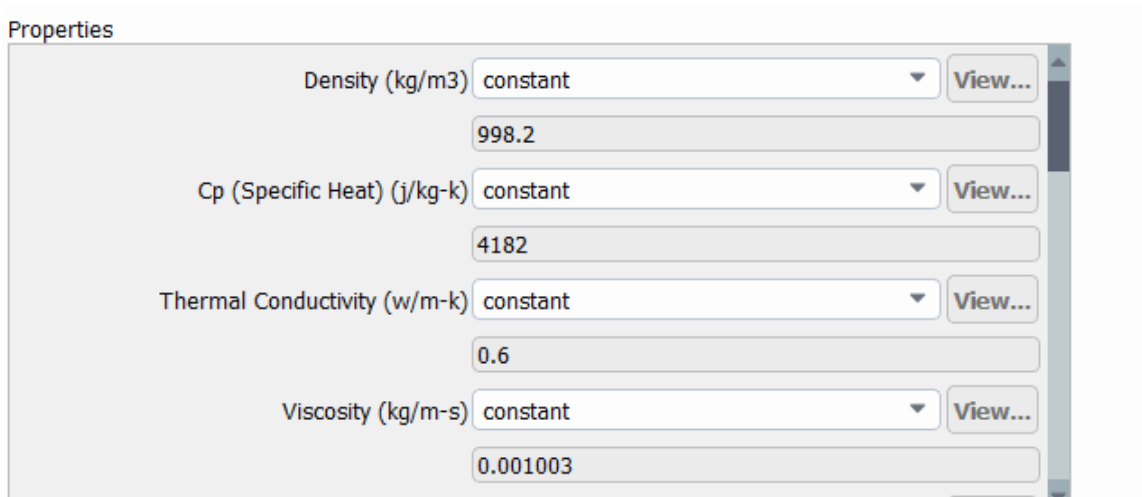


Figura 61. Generación de malla local 4. [Autor]

Para las condiciones de frontera, el programa acoge los “names selection” preestablecidos en el preprocesado. La figura 3.41 muestra las condiciones.

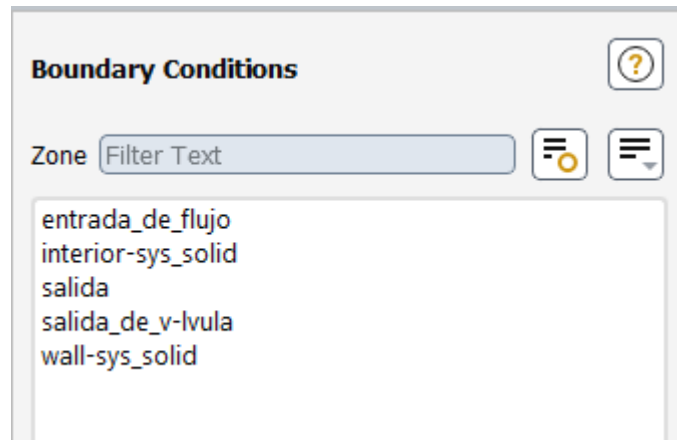


Figura 62. Generación de malla local 5. [Autor]

Estos datos pueden ser introducidos como flujo másico de entrada, presión de entrada y demás; a su vez para condiciones de salida la opción más viable es la presión de salida, la cual permite simular que la salida es al ambiente.

Solución

Para efectos de solución el programa manda a iterar 10 veces las ecuaciones diferenciales, cada ecuación con su método, en este caso la ecuación de continuidad y velocidades en tres ejes. Este proceso llamado inicialización, además este paso es necesario para pasar a calcular la solución.

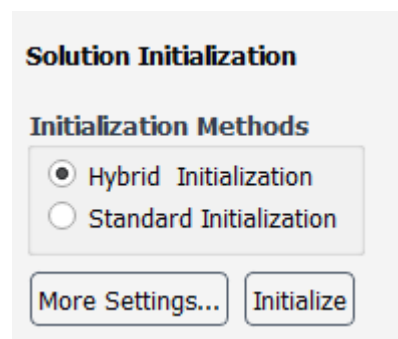


Figura 63. Generación de malla local 6. [Autor]

Inicialización híbrida recomendada para estudios de fluidos isotérmicos. A continuación, se presenta las iteraciones en la figura 3.21, en caso de llegar a las 10 iteraciones sin problema quiere decir que el procesado está correcto.

iter	scalar-0	scalar-1
1	1.000000e+00	1.000000e+00
2	6.841447e-04	7.237860e-04
3	1.159618e-04	1.301602e-04
4	4.061381e-05	2.579382e-05
5	1.087987e-05	7.068102e-06
6	3.739334e-06	2.101464e-06
7	1.225931e-06	6.817158e-07
8	4.262769e-07	2.242300e-07
9	1.486104e-07	7.739682e-08
10	5.297290e-08	2.691559e-08

Hybrid initialization is done.

Figura 64. Generación de malla local 7. [Autor]

Para el último paso se configura la calculadora de solución, donde se precisa que la simulación tendrá un tiempo de un segundo y el cual llevará un número de iteraciones de 100 buscando así una convergencia de solución.

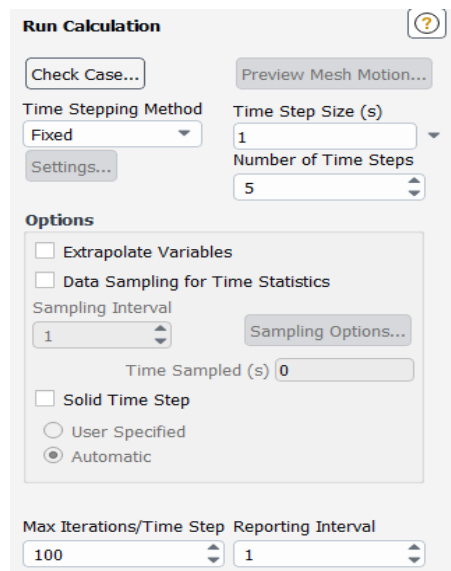


Figura 65. Generación de malla local 8. [Autor]

Una vez realizada la solución se observa que en la escala residual la convergencia se da a partir de la iteración 50, además como es un modelo poco turbulento no hay picos en la gráfica.

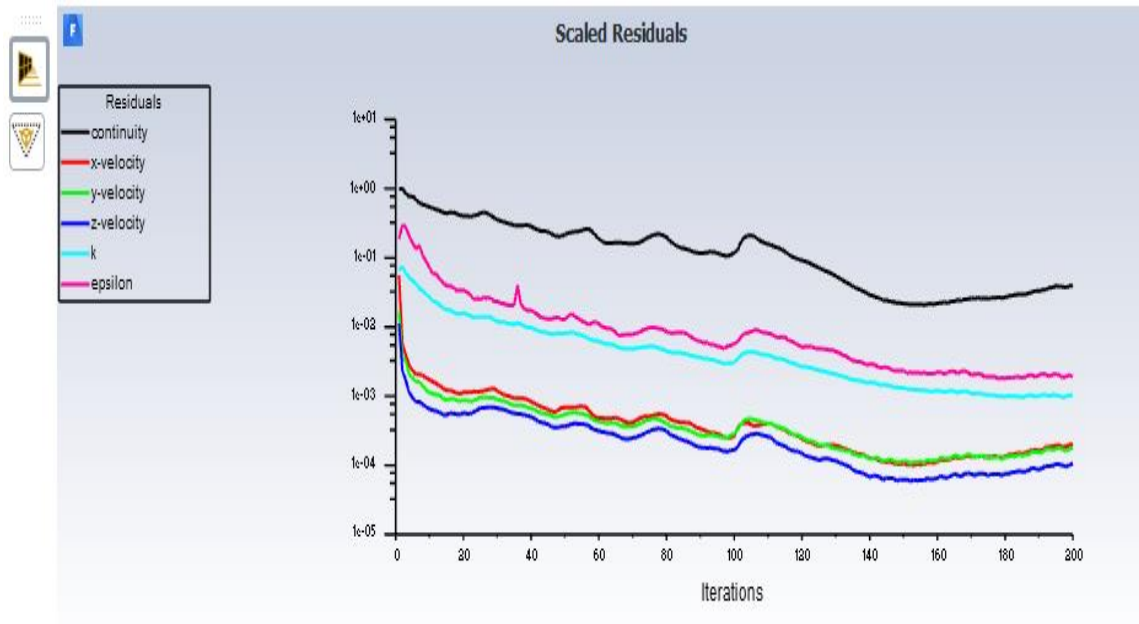


Figura 66. Resumen de iteraciones. [Autor]

3.17.3 Resultados de las simulaciones

De acuerdo a las condiciones de entrada de la bomba los resultados se presentan a continuación en tablas mediante contornos de velocidades, presiones y más. Con esto se verifica algunos resultados teóricos o analíticos con el fin de poder validar la simulación, demuestran el comportamiento del fluido en la bomba, además del funcionamiento de la misma.

Tabla 22. Simulación de velocidad en la tubería. [Autor]



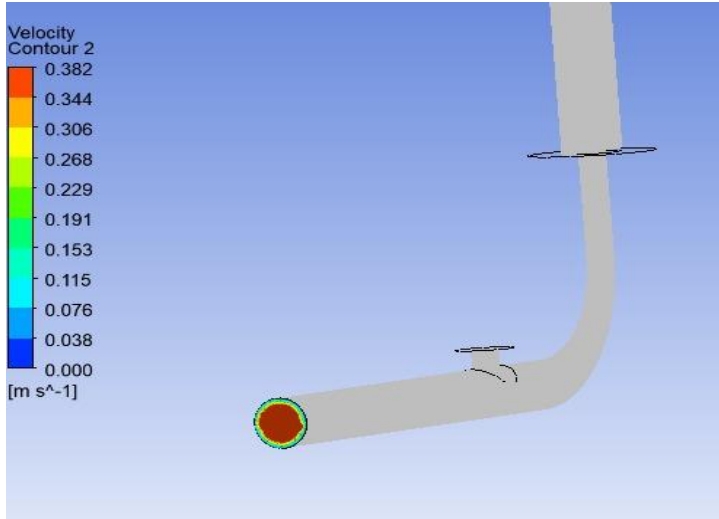
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 			
FICM INGENIERÍA MECÁNICA			
VELOCIDAD EN LA TUBERIA DE IMPULSIÓN			
Tipo	BOMBA DE ARIETE		
Fecha de Ejecución:	12/07/2021	Realizado por:	Kevin Chicaiza
		Revisado por:	Ing. Luis Escobar
Método:	Ortogonal Quality	Calidad del mallado:	Muy buena
DETALLES			
			
<p>De acuerdo a la ecuación de continuidad, con un caudal de $0,00066 \frac{m^3}{s}$, el valor calculado de la velocidad a lo largo de la tubería de alimentación es de $0,326 \frac{m}{s}$.</p> <p>En la simulación se observa una velocidad máxima de $0,382 \frac{m}{s}$, siendo esta muy cercana a la calculada.</p>			

Tabla 23. Velocidad en la válvula de impulsión. [Autor]



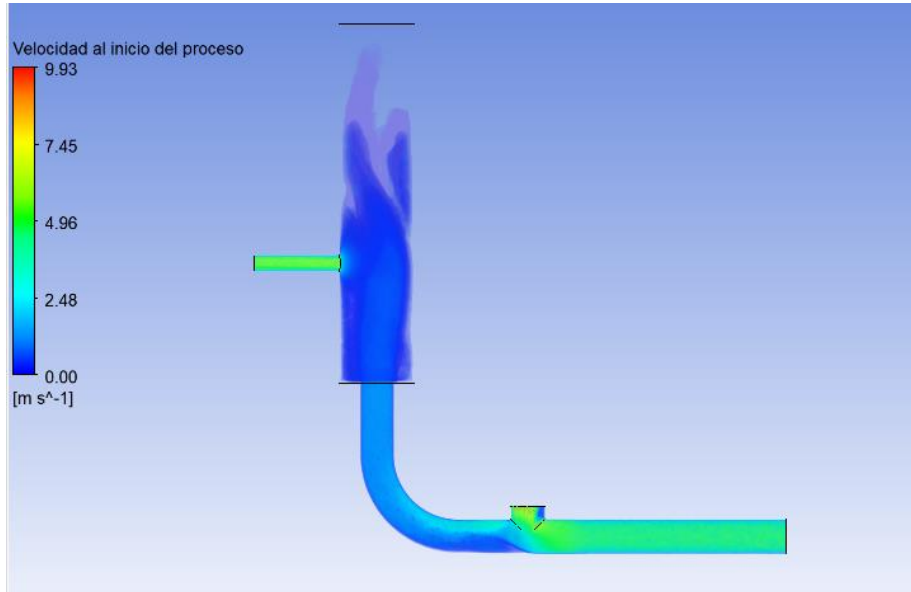
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>FICM</p> <p>INGENIERÍA MECÁNICA</p> </div>  </div>			
<p>VELOCIDAD EN LA VÁLVULA DE IMPULSIÓN</p>			
Tipo	BOMBA DE ARIETE		
Fecha de Ejecución:	12/07/2021	Realizado por:	Kevin Chicaiza
		Revisado por:	Ing. Luis Escobar
Método:	Ortogonal Quality	Calidad del mallado:	Muy buena
DETALLES			
			
<p>Para este caso los valores de velocidades en el sector de la válvula de impulsión están en el intervalo de 2,48 a 4,96 $\frac{m}{s}$, en los cálculos analíticos el valor de la velocidad en la válvula mediante el método de Krol es de 2,87 $\frac{m}{s}$. Además, se observa el comportamiento del fluido en el periodo de bombeo.</p>			

Tabla 24. Presión dinámica en la válvula. [Autor]



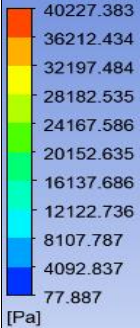
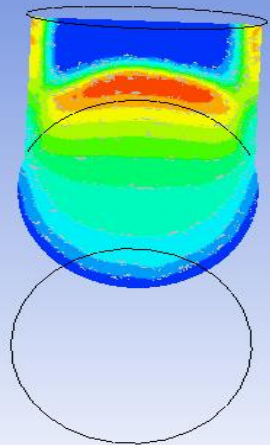


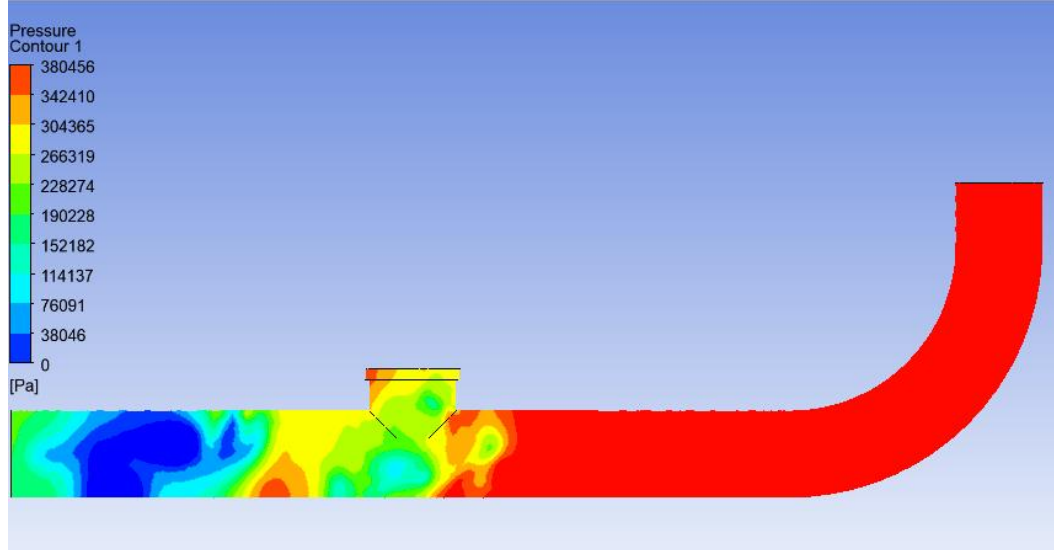
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 			
FICM INGENIERÍA MECÁNICA			
PRESIÓN DINÁMICA EN LA VÁLVULA DE IMPULSIÓN			
Tipo	BOMBA DE ARIETE		
Fecha de Ejecución:	12/07/2021	Realizado por:	Kevin Chicaiza
		Revisado por:	Ing. Luis Escobar
Método:	Ortogonal Quality	Calidad del mallado:	Muy buena
DETALLES			
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>Dynamic Pressure Contour 3</p>  <p>[Pa]</p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>			
<p>Para este caso los valores de presión dinámica en el sector de la válvula de impulsión están en el intervalo de 4092,837 a 12122 Pa, en los cálculos analíticos el valor de la presión dinámica en la válvula mediante el método de Krol es de 8222,07 Pa. Además, se observa el comportamiento de la válvula.</p>			

Tabla 25. Presión máxima en el ariete. [Autor]

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FICM INGENIERÍA MECÁNICA </div>  </div>			
PRESIÓN EN EL ARIETE			
Tipo	BOMBA DE ARIETE		
Fecha de Ejecución:	12/07/2021	Realizado por:	Kevin Chicaiza
		Revisado por:	Ing. Luis Escobar
Método:	Ortogonal Quality	Calidad del mallado:	Muy buena
DETALLES			
			
<p>Mediante cálculos analíticos se tiene una presión máxima de $0,3343\text{Mpa}$, mientras que en la simulación se tiene un valor de presión máxima en el ariete justo en el instante antes de que pase al tanque de presión de 380456 Pa.</p>			

3.18 Verificación de los resultados

Una vez realizada las simulaciones los resultados reflejan valores parecidos, pero es necesario corroborar esto mediante un método estadístico por lo cual se procede a calcular el error relativo de los valores mencionados.

Tabla 26. Valores calculados analíticamente y de simulación. [Autor]

Parámetro	Valor calculado	Valor de simulación
Velocidad a lo largo de la tubería [m/s]	0,326	0,382
Presión Dinámica en la válvula de impulsión [Pa]	8222,6	4092,837 a 12122
Velocidad en la válvula de impulsión [m/s]	2,87	2,48 a 4,96
Presión en la válvula de impulsión [Pa]	334300	380453

Para los casos que se presentan en un intervalo se acoge el promedio de los mismo para el cálculo del error.

Tabla 27. Cálculo del error relativo. [Autor]

Error absoluto	Error relativo	Porcentaje [%]
0.056	0.147	14.7
113	0.014	1.4
0.85	0.296	29.6
46153	0.138	13.8

Como se observa en la figura 3.18 existen valores desde el 1% hasta casi el 30%, para estudios de verificación de simulaciones CFD los valores aceptables de error se encuentran entre el 8 y 16 %, por lo que únicamente el valor de la velocidad en la válvula de impulsión posee un valor fuera de lo común.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El diseño que se eligió es la de una bomba de ariete mono impulsora, se consideró un valor de caudal de $0,00066 \frac{m^3}{s}$ con lo cual se obtuvo un valor de velocidad de $0,326 \frac{m}{s}$, obteniendo un número de Reynold $14527,07$ el cual indica que el régimen es turbulento, con esto de acuerdo al modelo matemático de Krol destinado al diseño de bombas de ariete se obtuvieron valores de velocidad y presión dinámica de $2,87 \frac{m}{s}$ y $8222,07$ Pa respectivamente. Llegando a obtener un valor de presión máxima de $0,3343$ MPa en el cuerpo del ariete con un volumen del tanque de presión de 380456 Pa y un caudal de descarga de $0,00029 \frac{m^3}{s}$
- En la simulación de CFD de la bomba de ariete se pudo observar el comportamiento del fluido a lo largo de la tubería de alimentación y válvula de ariete, para esto el mallado tuvo un valor de calificación mediante el método Ortogonal Quality de $0,83$, encontrándose en un valor aceptable de acuerdo a la escala de calificación. Se corroboraron valores de velocidades, presión dinámica y máxima obteniendo valores de $0,382$ [m/s], 380453 [Pa] Respectivamente. Además, se observó donde se encuentra la mayor cantidad de turbulencia siendo esta zona la delimitada por la válvula de impulsión.
- Mediante un estudio de error relativo se corroboró los valores calculados analíticamente de los principales parámetros de diseño de una bomba de ariete con los valores obtenidos en la simulación CFD con lo cual se obtuvieron valores mayoritariamente cercanos al rango aceptable en cuanto al tipo de estudio. Se obtuvieron valores de errores relativos de 0.147 en velocidad a lo largo de tubería, 0.014 en presión dinámica, 0.296 en velocidad de la válvula de impulsión y un valor de error en presión máxima de 0.138 con lo cual se puede observar que tres valores se encuentran en el rango aceptable.

4.2 Recomendaciones

- Verificar las medidas de todas las partes antes del ensamble para el modelado final, antes de realizar la simulación, y que estas estén sujetas a catálogo, lo que permite que se ajuste el sistema a una aplicación lo más real posible y se evidencie en los resultados.
- Investigar sobre el comportamiento que tiene la bomba de ariete para poder incluir los límites de borde y frontera adecuados, para la comprobación mediante la simulación y comparación de resultados
- Aplicar métodos de malla dinámica para poder alcanzar una iteración fluido-estructura con el fin de poder observar el fenómeno con mayor apreciación.
- Verificar el tipo de válvula de ariete a elegirse debido a la aplicación de nuevas tecnologías encontrándose válvulas más modernas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. J. N. T. y. Y. L. Wanchai Asvapoositkul, «Determination of Hydraulic Ram Pump Performance: Experimental Results,» *Hindawi: Advances in Civil Engineering*, vol. 2019, n° 11, pp. 11 - 23, 2019.
- [2] S. W. T. S. Fikri Radian, «The performance and efficiency rating evaluation of a hydraulic ram pump prototype with height variations,» *Jurnal Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung*, vol. 7, n° 1, pp. 11 - 18, 2019.
- [3] D. G. CORTES, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO PARA USO RESIDENCIAL,» *UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS*, pp. 50-52, 2015.
- [4] F. M. S. MACÍAS, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO MULTITAPAS, PARA EL LABORATORIO DE,» *UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL*, 2017.
- [5] R. L. Mott, «La naturaleza de los fluidos y el estudio de la mecánica,» de *Mecánica de fluidos*, Prentice Hall, Sexta edición, pp. 1-24.
- [6] O. Khayal, «Hydraulic system,» de *Introduction to Hydraulic system*, 2017, pp. 1-2.
- [7] P. T. AL-Shemmeri, de *Engineer Fluid Mechanic*, Bookboon, pp. 14-16.
- [8] N. Ardeman, «Fluidos no Newtonianos,» *ReserchGate*, pp. 1-4, 2016.
- [9] Oilfield, «Newtonian fluid,» 24 Enero 2021. [En línea]. Available: https://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/n/newtonian_fluid.aspx.
- [10] A. V. R. Blas Zamora Parra, *Máquinas Hidráulicas: Teoría y Problemas*, Cartagena: CRAI, 2016.

- [11] Nitsu, «Energías Alternativas,» 2018. [En línea]. Available: <https://nitsu.es.tl/BOMBAS-DE-ARIETE.htm>.
- [12] Agencia de Cooperación Internacional del Japón, «Estudio de Promoción y Difusión de Buenas Prácticas "Bomba de Ariete" del Proyecto Tawan Ingnika,» 2018. [En línea]. Available: https://www.jica.go.jp/nicaragua/espanol/office/others/c8h0vm000001q4bc-att/32_realizados_01.pdf.
- [13] W. B. Smith, «HOMEMADE HYDRAULIC RAM PUMP FOR LIVESTOCK WATER,» *Land Grand press*, n° 1, pp. 1-4, 2019.
- [14] A. fame, «Hydraulic Ram Pump System,» de *Desing sizing and construction in rural zones*, 2018, pp. 12-18.
- [15] P. Cavero, «Energías Renovables,» 2013. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/pablocavero/modelamiento-matematico-bomba-de-ariete>.
- [16] R. M. Jiménez Rodríguez, «Estudio y simulación por elementos finitos del comportamiento de discos cerámicos,» pp. 1-2, 2019.
- [17] T. Da-WenSun, «Computational fluid dynamics (CFD) – an effective and efficient design and analysis tool for the food industry: A review,» vol. 17, pp. 1-10, 2017.
- [18] F. Cabrera, *MODELACIÓN NUMÉRICA DE LA UNIÓN DE DOS CONDUCCIONES A PRESIÓN DE DIFERENTE GEOMETRÍA, APLICANDO EL PROGRAMA ANSYS CFX.*, Quito: Escuela Politécnica Nacional , 2019.
- [19] A. Lozano, *Notas CFD*, Quito: EPN, 2013.
- [20] AFS, «Mesh Quality,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/ug/node167.htm>.

- [21] R. Sherrard, «ANSYS Fluent - Tips, Tricks, and Troubleshooting,» 2020. [En línea]. Available: <https://support.nimbix.net/hc/en-us/articles/360044738671-ANSYS-Fluent-Tips-Tricks-and-Troubleshooting>.
- [22] A. Chero, «DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO MEDIANTE ARIETE HIDRÁULICO,» *Universidad de Piura*, pp. 30-32, 2018.
- [23] R. F. G. Chacón, «“ESTUDIO DE FACTORES HIDRÁULICOS EN UNA BOMBA,» *Universidad Técnica de Ambato*, pp. 60-65, 2013.
- [24] J. Krol, «The automatic hydraulic Ram,» *SAGE*, pp. 1-10, 2014.
- [25] C. Mataix, *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*, Madrid: Ediciones del Castila S.A, 1986.
- [26] P. I. CEVALLOS VÁSQUEZ, «DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA DE DISEÑO PARAMÉTRICO DE ARIETES HIDRÁULICOS Y SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO E HIDRÁULICO CON SISTEMAS CAE,» *Universidad de las Fuerzas Armadas*, pp. 43-48, 2018.
- [27] Dorot Machine Group, *Catálogo de válvulas*, 2018.
- [28] Y. Cengel, «Termodinámica,» vol. 5, pp. 358-364.
- [29] C. N. C. Calero, «Diseño y construcción de un ariete hidráulico,» *Escuela Politécnica Nacional*, pp. 119-121, 2016.
- [30] J. B. A. Quispe, «PERFORMANCE EVALUATION OF THE HYDRAULIC RAM BAH-1.1/2 VARYING THE LENGTH OF THE FEED PIPE AND OPERATING CONDITIONS OF THE IMPULSE VALVE,» 2015. [En línea]. Available: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v77i2.485>.
- [31] IMPAG, «Guía de instalación de una bomba de ariete,» 2016.
- [32] G. Sarmiento, «Diseño y Construcción de una bomba de ariete,» *Cooperación de Occidente programa de ingeniería Mecánica*, pp. 38-41, 2015.

- [33] P. Cevallos, «DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA CAD PARA EL DISEÑO PARAMÉTRICO DE ARIETES HIDRÁULICOS Y SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO E HIDRÁULICO CON SISTEMAS CAE,» *Universidad de las Fuerzas Armadas*, pp. 45-50, 2016.

ANEXOS

SIMBOLOGÍA

CAD: Diseño asistido por computadora

CFD: Dinámica de fluidos computacionales

PVC: Material termoplástico obtenido del cloruro de vinilo

GFS: Gestión forestal sostenible

EDP: Ecuaciones diferenciales parciales

Métrica: Calidad de mallado

C_d : Caudal disponible

A_a : Altura de alimentación

A_d : Altura de entrega

L_a : Longitud de la tubería de alimentación

Φ_a : Diámetro tubería de alimentación

Φ_{af} : Diámetro de alimentación final

Φ_{amin} : Diámetro tubería de alimentación mínimo

Φ_{amax} : Diámetro tubería de alimentación máximo

D_d : Diámetro de descarga

D_a : Diámetro de alimentación

Q : Caudal disponible

A : Área trasversal de la tubería

v : Velocidad del fluido

Re : Numero de Reynolds

R_r : *Rugosidad Relativa*

ε : *Rugosidad absoluta del material*

h_{fr} : *Perdida por fricción en la tubería*

L = *Longitud de la tubería*

g = *aceleración de la gravedad*

P = *Presión*

Z = *Altura desde el punto de referencia*

γ = *Densidad del fluido a 25 °C*

h_f = *Pérdidas por fricción*

h_a = *Pérdidas por accesorios*

$V_{va/im}$ = *Velocidad en la válvula de impulsión*

g = *aceleración de la gravedad*

$P_{d/v}$ = *Presión dinámica de la válvula*

ρ = *Densidad de fluido*

V_p = *Velocidad de propagación*

e = *Espesor de la tubería*

ε_f = *Módulo volumétrico de elasticidad del agua*

ε_t = *Módulo del material de tubería*

Φ_i = *diámetro interior de tubería*

T = *Tiempo de cerrado*

$Q_{b/c}$ = *Caudal de bombeo por ciclo*

Φ_{ch} = *Diámetro válvula check*

$TA =$ tiempo de aceleración

$TD =$ Tiempo de descarga

$S_p =$ Sobrepresión

$C_{Max} =$ Carga máxima

$C_{Min} =$ Carga mínima

$P_{min} =$ Presión mínima en el cuerpo del ariete

$P_{max} =$ Presión máxima en el cuerpo del ariete

$P_1 =$ Presión inicial en el tanque de presión

$P_a =$ Presión atmosférica

$V_{h20} =$ Volumen de agua en el tanque de presión

$h_{h20} =$ Longitud del agua en la cámara

$V_{aire1} =$ Volumen de aire en el tanque al inicio del proceso

$V_t =$ Volumen total del tanque

$V_{aire2} =$ Volumen al final del proceso

$V_{h20/c} =$ Volumen de agua por ciclo

Anexo 1. Estudio de campo





Anexo 2. DIPAC MANTA (Tubería cédula 40)

NOMENCLATURA	
A=	Área de la selección transversal del tubo, cm ²
I=	Momento de inercia de la sección, cm ⁴
W=	Módulo resistente de la sección, cm ³
i=	Radio de giro de la sección cm

Dimensiones				Propiedades			
Diámetro D		Espesor e	Peso P	Área A	I	W	i
Nominal	Exterior						
Pulg	mm	mm	Kg/6m	cm	cm ⁴	cm ³	cm
1/2	21.35	2.00	0.99	1.22	0.57	0.59	0.98
3/4	26.90	2.30	1.45	1.78	1.34	1.09	0.87
1	33.70	2.50	1.96	2.45	2.98	1.91	1.10
1 1/4	42.40	2.50	2.55	3.13	6.24	3.13	1.41
1 1/2	48.30	2.65	3.02	3.87	10.05	4.41	1.61
2	60.30	2.65	3.79	4.89	20.26	7.04	2.04
2 1/2	73.00	3.20	5.65	7.02	42.73	12.24	2.47
3	88.90	3.20	6.81	8.62	79.09	18.46	3.03
4	114.30	3.60	9.92	12.52	191.78	34.65	3.91

Anexo 3. Detalles de caudales preexistentes

Tabla 43. Potencias teóricas con diferentes caudales

Nº.	Caudal m ³ /seg	Diámetro de la tubería (m)	Longitud (m)	Velocidad en el interior de la tubería (m/seg)	Coefficiente de pérdidas por fricción	Altura de Captación	Pérdidas hidráulicas (m)	Altura neta (m)	Potencia Hidráulica (KW)
1	0.00150	0.1	25	0.19099	0.0263	15	0.012202	14.988	0.221
2	0.00400	0.1	25	0.50930	0.0208	15	0.068678	14.931	0.586
3	0.00650	0.1	25	0.82761	0.0187	15	0.163077	14.837	0.946
4	0.00900	0.1	25	1.14592	0.0175	15	0.292068	14.708	1.299
5	0.01150	0.1	25	1.46423	0.0166	15	0.453729	14.546	1.641
6	0.01400	0.1	25	1.78254	0.0160	15	0.646734	14.353	1.971
7	0.01650	0.1	25	2.10085	0.0155	15	0.870082	14.130	2.287
8	0.01900	0.1	25	2.41916	0.0151	15	1.122979	13.877	2.587
9	0.02150	0.1	25	2.73747	0.0147	15	1.404770	13.595	2.867
10	0.02400	0.1	25	3.05577	0.0144	15	1.714903	13.285	3.128
11	0.02650	0.1	25	3.37408	0.0142	15	2.052899	12.947	3.366
12	0.02900	0.1	25	3.69239	0.0139	15	2.418341	12.582	3.579
13	0.03150	0.1	25	4.01070	0.0137	15	2.810857	12.189	3.767
14	0.03400	0.1	25	4.32901	0.0135	15	3.230115	11.770	3.926
15	0.03650	0.1	25	4.64732	0.0134	15	3.675814	11.324	4.055
16	0.03900	0.1	25	4.96563	0.0132	15	4.147679	10.852	4.152
17	0.04150	0.1	25	5.28394	0.0131	15	4.645459	10.355	4.215
18	0.04400	0.1	25	5.60225	0.0129	15	5.168924	9.831	4.243
19	0.04650	0.1	25	5.92056	0.0128	15	5.717857	9.282	4.234
20	0.04900	0.1	25	6.23887	0.0127	15	6.292061	8.708	4.186
21	0.05150	0.1	25	6.55718	0.0126	15	6.891348	8.109	4.097
22	0.05400	0.1	25	6.87549	0.0125	15	7.515543	7.484	3.965
23	0.05650	0.1	25	7.19380	0.0124	15	8.164483	6.836	3.789
24	0.05900	0.1	25	7.51211	0.0123	15	8.838013	6.162	3.566
25	0.06150	0.1	25	7.83042	0.0122	15	9.535986	5.464	3.297

Fuente: autores

Anexo 4. Primero modelo (Boceto)



Anexo 5. Propiedades del agua

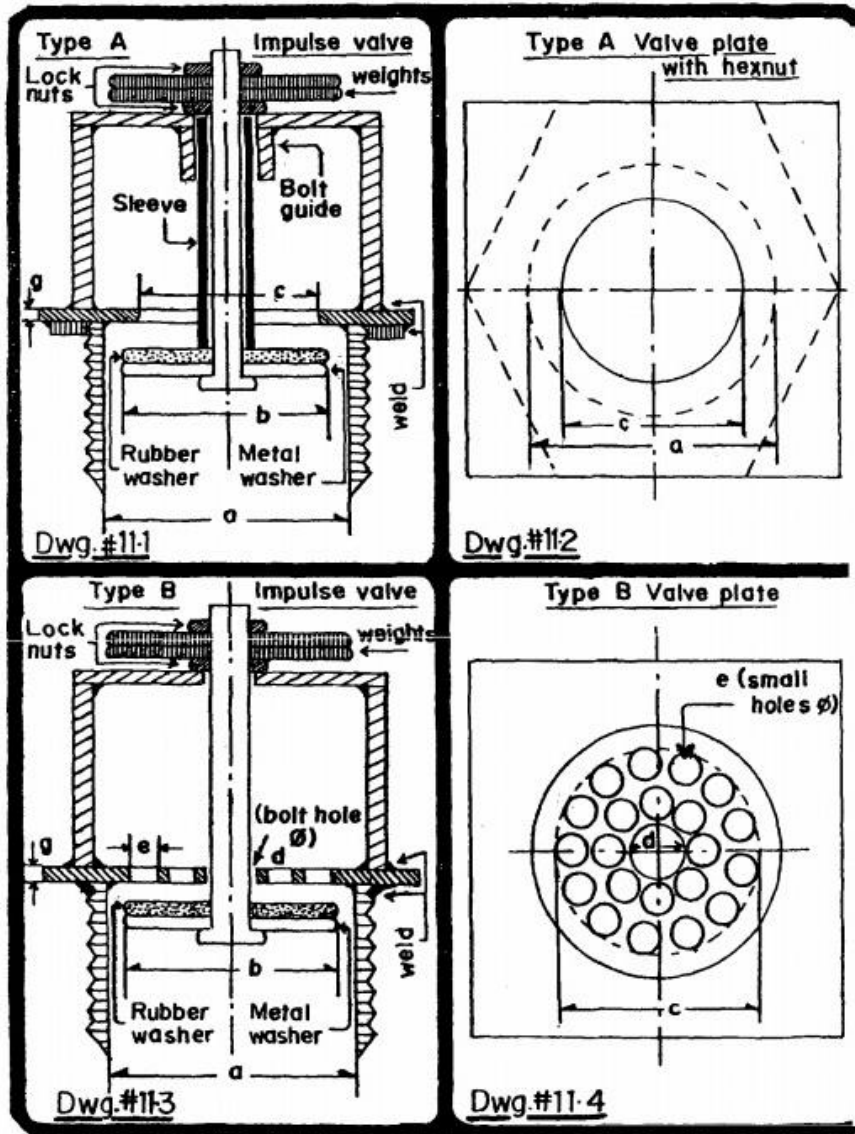
Temperatura °C	Peso Específico kN/m ³	Densidad kg/m ³	Visc. dinámica (Pa*s) o (N*s/m ²)	Visc. Estática m ² /seg
0	9,81	1000	1,75 x 10 ⁻³	1,75 x 10 ⁻⁶
5	9,81	1000	1,52 x 10 ⁻³	1,52 x 10 ⁻⁶
10	9,81	10000	1,30 x 10 ⁻³	1,30 x 10 ⁻⁶
15	9,81	10000	1,15 x 10 ⁻³	1,15 x 10 ⁻⁶
20	9,79	998	1,02 x 10 ⁻³	1,02 x 10 ⁻⁶
25	9,78	997	8,91 x 10 ⁻⁴	8,94 x 10 ⁻⁷
30	9,77	996	8,00 x 10 ⁻⁴	8,03 x 10 ⁻⁷
35	9,75	994	7,18 x 10 ⁻⁴	7,22 x 10 ⁻⁷
40	9,73	992	6,51 x 10 ⁻⁴	6,56 x 10 ⁻⁷
45	9,71	990	5,94 x 10 ⁻⁴	6,00 x 10 ⁻⁷
50	9,69	988	5,41 x 10 ⁻⁴	5,48 x 10 ⁻⁷
55	9,67	986	4,98 x 10 ⁻⁴	5,05 x 10 ⁻⁷
60	9,65	984	4,60 x 10 ⁻⁴	4,67 x 10 ⁻⁷
65	9,62	981	4,31 x 10 ⁻⁴	4,39 x 10 ⁻⁷
70	9,59	978	4,02 x 10 ⁻⁴	4,11 x 10 ⁻⁷
75	9,56	975	3,73 x 10 ⁻⁴	3,83 x 10 ⁻⁷
80	9,53	971	3,50 x 10 ⁻⁴	3,60 x 10 ⁻⁷
85	9,50	968	3,30 x 10 ⁻⁴	3,41 x 10 ⁻⁷
90	9,47	965	3,11 x 10 ⁻⁴	3,22 x 10 ⁻⁷
95	9,44	962	2,92 x 10 ⁻⁴	3,04 x 10 ⁻⁷
100	9,40	958	2,82 x 10 ⁻⁴	2,94 x 10 ⁻⁷

Anexo 6. Longitudes de tubería de impulsión

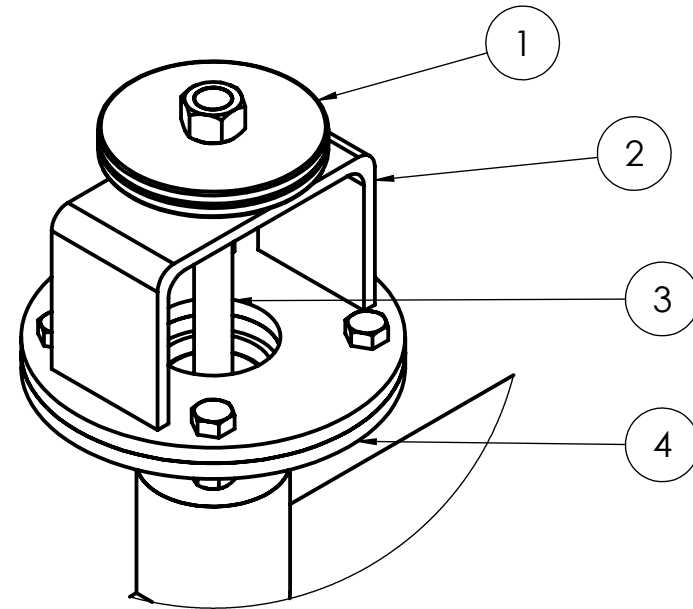
H	L
H ≤ 4,5 m	L=5 H
4,5 < H ≤ 8 m	L=4 H
4,5 < H ≤ 16 m	L=3 H
H ≥ 16 m	L=2 H

Anexo 7. Detalles de la válvula de impulsión

- 32 -



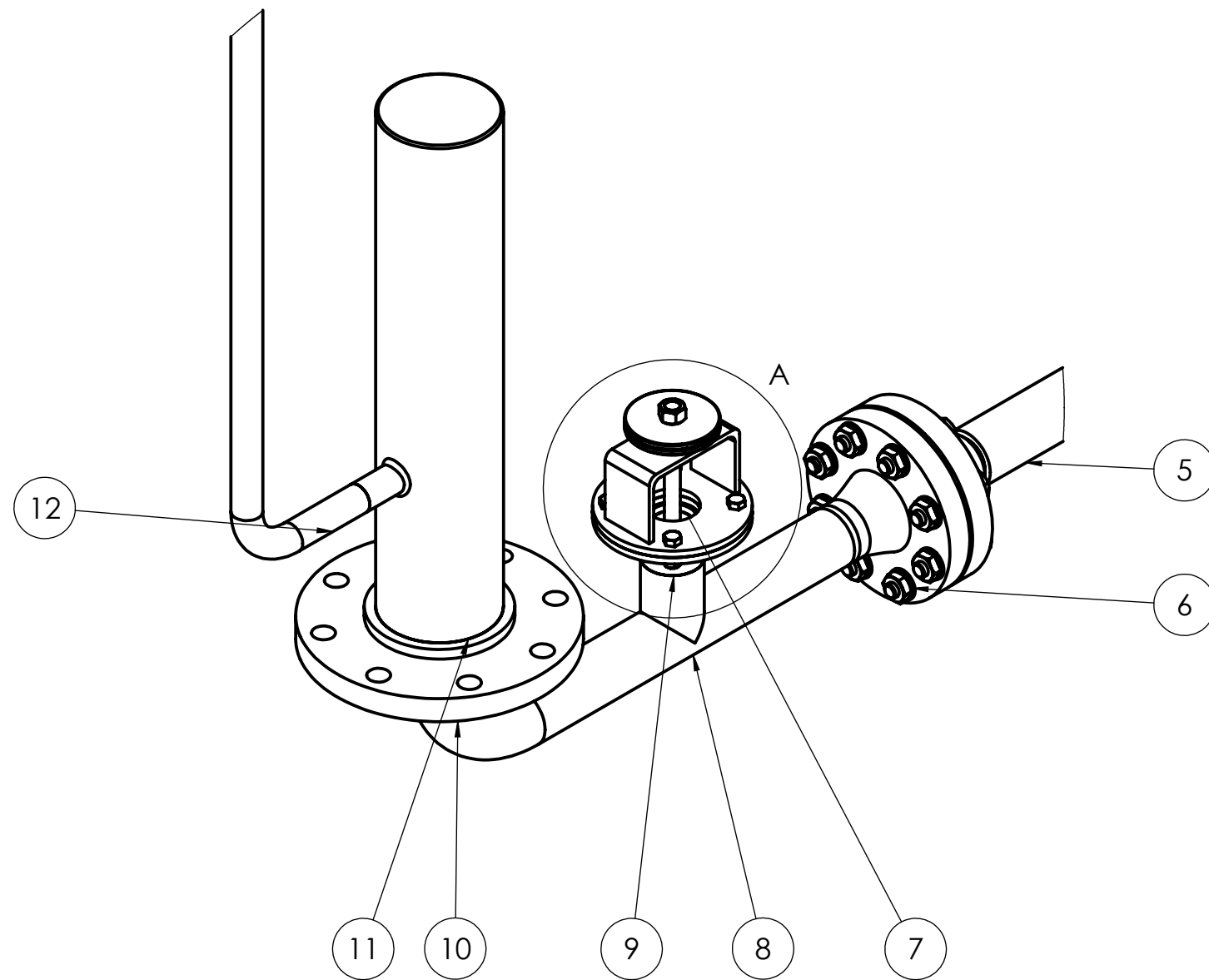
- | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------------------------------|--|---|---|---|---|---|---|
| Recomendaciones para el montaje | | | | | | | |
| 1. | Inspeccionar el sitio para la instalación de la bomba de ariete. | | | | | | |
| 2. | Instale la tubería de impulsión en el suministro de agua. | | | | | | |
| 3. | Ubique los soportes de la tubería de impulsión. | | | | | | |
| 4. | Instale el acople bridado para la válvula de impulsión y el tanque de presión. | | | | | | |
| 5. | Instale la tubería de descarga. | | | | | | |
| 6. | Instale la válvula de descarga a la salida del tanque de presión. | | | | | | |
| 7. | Ubique el tanque de desperdicio de agua. | | | | | | |



DETALLE A
ESCALA 2 : 5

Especificaciones técnicas de la bomba de ariete

Altura máxima (Hmax)	27 m.c.a
Caudal máximo (Qmax)	17.4 lt/min
Número de válvulas de impulsión	1
Número de válvulas de descarga	1



12	Tubo tanque		Acero Galvanizado	1	0.57gr	27m
11	Tanque de presión	3	ASTM A 53	1	14.41gr	4136.58Mpa
10	Brida tanque		Acero ASTM 105	1	12.64gr	
9	Acople		ASTM A36	1	0.55gr	
8	Tubo válvula		Acero Galvanizado	1	8.15gr	0.5m
7	Arandela de caucho		Caucho	1	0.01gr	
6	Brida	2	Acero ASTM 105	2	8.08gr	
5	Tubería principal		Acero Galvanizado	1	40.40gr	9m
4	Brida de acople de perno		ASTM A36	1	1.17gr	
3	Barra de válvula		Acero Galvanizado	1	0.27gr	
2	Soporte de válvula	1	ASTM A36	1	2.20gr	
1	Pesas		ASTM A36	2	0.39gr	
N.º	Denominación	Nº del dibujo	Material	Nº de piezas	Peso	Observaciones

Tolerancia:	Peso:	Material:	Varios
±0.8	44314.10 gr		
Fecha:	Nombre:	Denominación:	BOMBA DE ARIETE
Dibujó: 05/08/2021	Kevin Chicaiza		
Revisó: 05/08/2021	Ing. Luis Escobar		
Aprobó: 05/08/2021	Ing. Luis Escobar		
U.T.A.		Número de Lámina:	01 DE 02
INGENIERIA MECÁNICA		(Sustitución)	



1

2

3

4

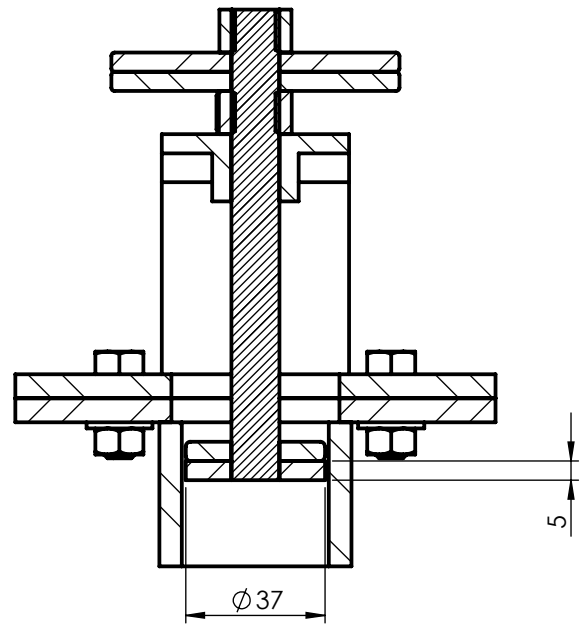
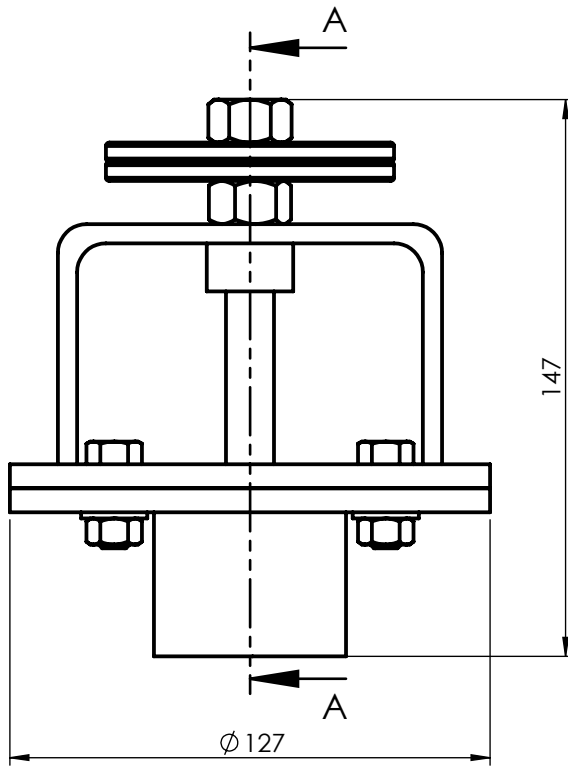
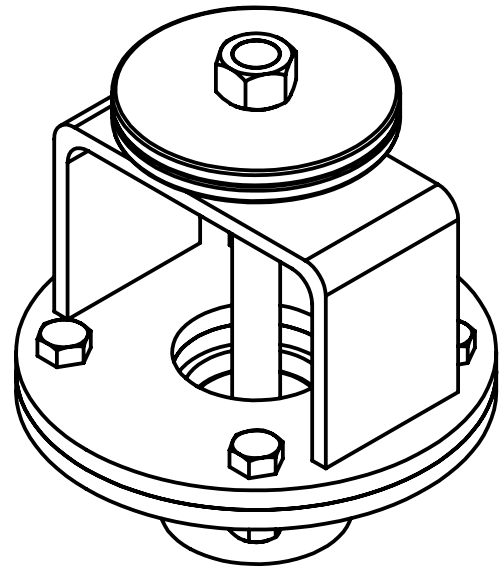
A

B

C

D

E



CORTE A-A

				Tolerancia: ± 0.08	Peso: 2312.59 gr	Material: Varios	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 05/08/2021	Kevin Chicaiza	VÁLVULA DE ARIETE	1:2
				Revisó: 05/08/2021	Ing. Luis Escobar		
				Aprobó: 05/08/2021	Ing. Luis Escobar		
				U.T.A.		Número de Lámina:	Registro:
				INGENIERIA MECÁNICA		02 DE 02	
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:			(Sustitución)	

1

2

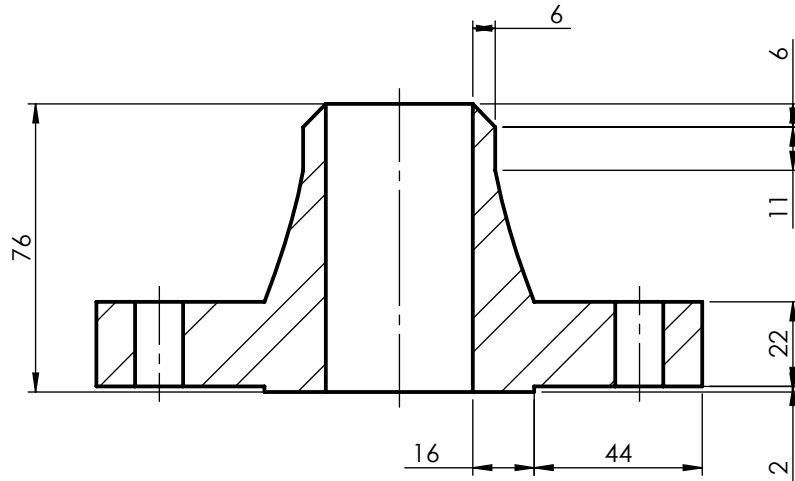
3

4

Pintado la superficie



A



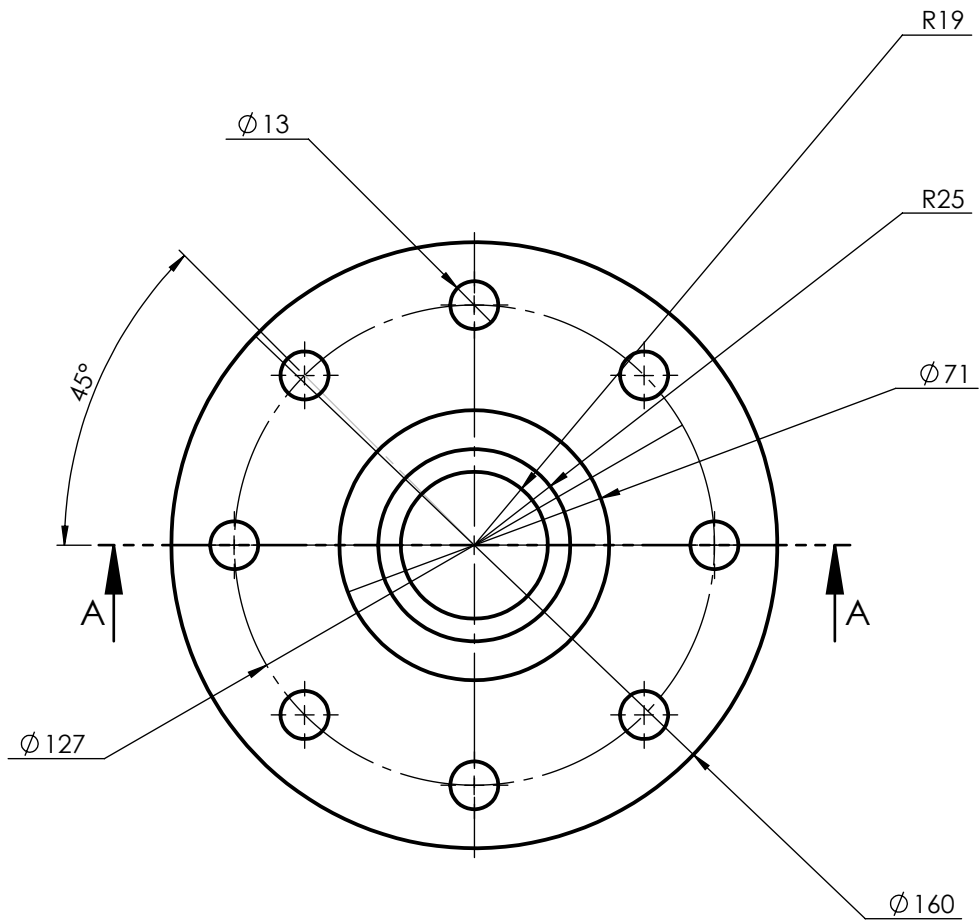
CORTE A-A

B

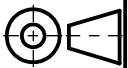
C

D

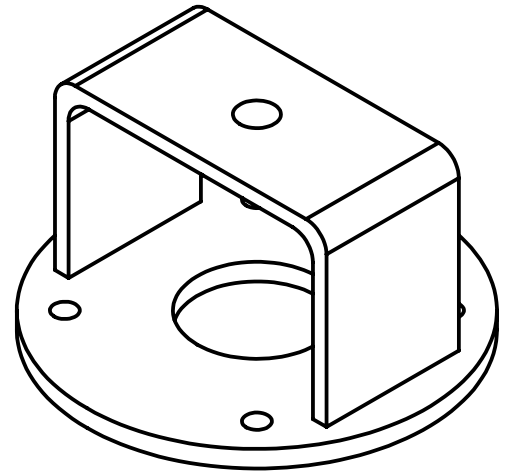
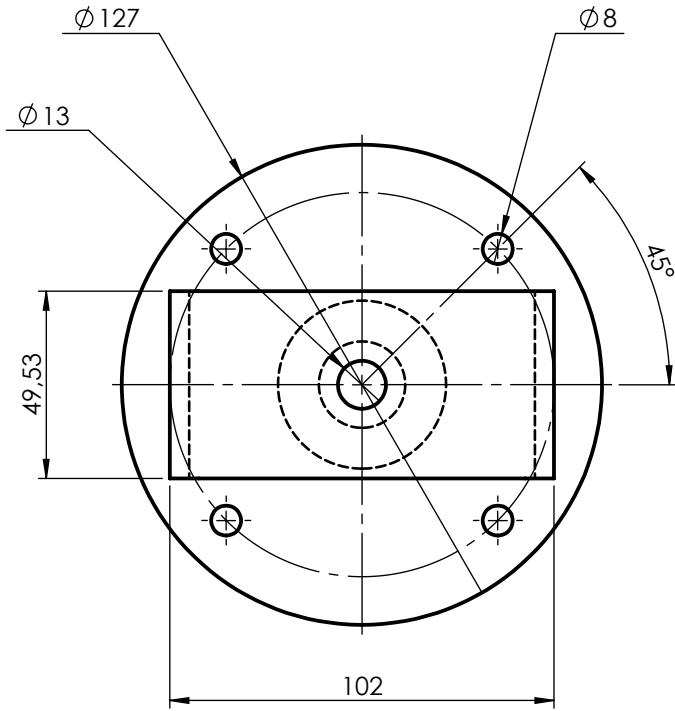
E



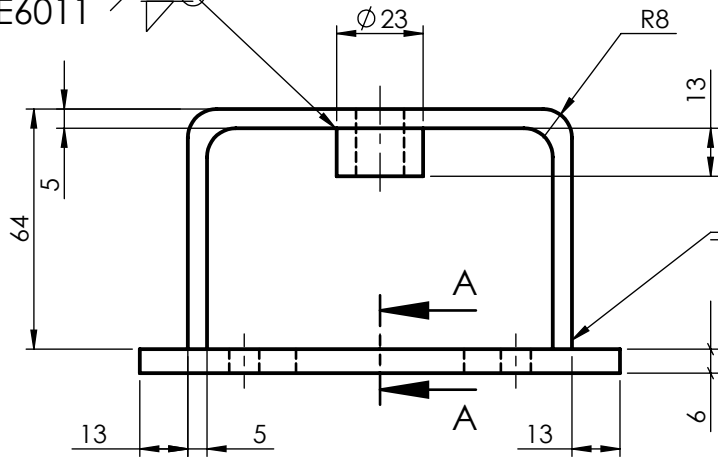
				Tolerancia: ±0.08	Peso: 8.08gr	Material: Acero al carbono ASTM 105	
				Fecha: 05/08/2021	Nombre: Kevin Chicaiza	Denominación: Brida	
				Revisó: 05/08/2021	Ing. Luis Escobar	Escala: 1:2	
				Aprobó: 05/08/2021	Ing. Luis Escobar	Número de Lámina: 2	
				U.T.A.		Registro:	
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:	INGENIERIA MECÁNICA		(Sustitución)	



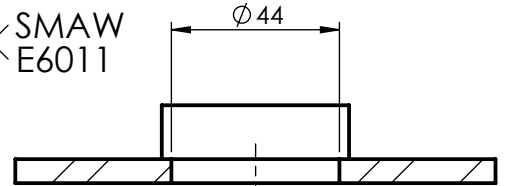
Pintado la superficie



SMAW E6011

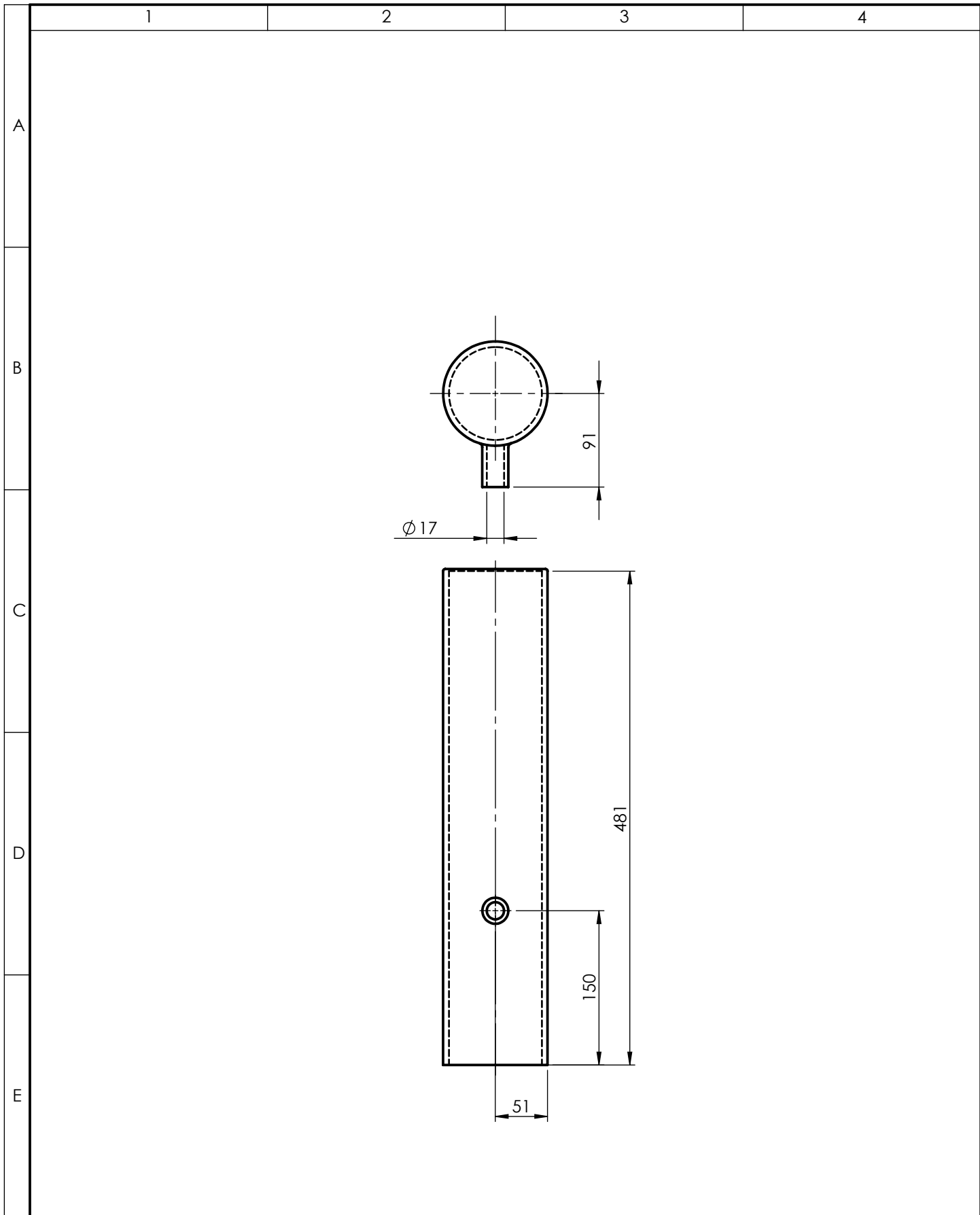


SMAW E6011



CORTE A-A

				Tolerancia: ±0.08	Peso: 2.20gr	Material: ASTM A36 Acero	
				Fecha: 05/08/2021	Nombre: Kevin Chicaiza	Denominación: Soporte de válvula	Escala: 1:2
				Revisó: 05/08/2021	Ing. Luis Escobar		
				Aprobó: 05/08/2021	Ing. Luis Escobar		
				U.T.A.		Número de Lámina: 1	Registro:
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:	INGENIERIA MECÁNICA		(Sustitución)	



				Tolerancia:	Peso:	Material:			
				±0.08	14.41gr	ASTM A 53 GRB			
				Fecha:	Nombre:	Denominación: Tanque de presión		Escala:	
				Dibujó:	05/08/2021 Kevin Chicaiza			1:5	
				Revisó:	05/08/2021 Ing. Luis Escobar				
				Aprobó:	05/08/2021 Ing. Luis Escobar	Número de Lámina: 3		Registro:	
				U.T.A.				(Sustitución)	
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:	INGENIERIA MECÁNICA					