



Diseño y simulación de un prototipo de bomba de ariete para el suministro de agua en la finca El Manantial del municipio de Neiva

Edgar Alejandro Calderón Muñoz

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Neiva, Colombia
2021

Diseño y simulación de un prototipo de bomba de ariete para el suministro de agua en la finca El Manantial del municipio de Neiva

Edgar Alejandro Calderón Muñoz

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Mecánico

Director (a):

Msc Ing. Martha Lucia Solano

Línea de Investigación:

Research in Energy and Materials REM.

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2021

El autor dedica a:

A Dios por ser mi principal guía y apoyo en mi vida y todo este proceso, brindándome la fuerza necesaria para lograr cumplir estos objetivos personales.

A mis padres y hermanos, por haberme brindado todo el apoyo y la motivación durante esta etapa tan importante en mi vida, los amo demasiado.

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a mi director la ingeniera Martha Lucia Solano por su ayuda y respaldo en todo este proceso, ya que estuvo al pendiente de cada detalle y con su gran competencia me apoyo y oriento para la culminación del mismo, agradezco a la Universidad y a todo el plantel docente por habernos formado profesionalmente, a todos, muchas gracias.

Resumen

El suministro de agua para el desarrollo de sistemas productivos agrícolas es fundamental para el éxito de los mismos; sin embargo, la falta de regularidad en el suministro es una problemática que enfrentan a diario los agricultores; el proyecto de investigación, describe el diseño y simulación de un prototipo de bomba de ariete para el suministro de agua en la finca “El Manantial” del municipio de Neiva. La metodología empleada se compone de 6 fases, partiendo del estado del arte, definición requerimientos, diseño conceptual, cálculos, diseño de detalle y simulación; los resultados obtenidos muestran una bomba de ariete con una cámara de aire vertical acoplada mediante tonillos hexagonales y sello a un nipple galvanizado, la cual opera bajo tres fases o ciclos de movimiento del fluido por la misma; la primera indica la velocidad del fluido es de 0.979 m/s y el caudal Q es de 0.1399 L/min; en la segunda fase se produce el primer golpe de ariete al interior de la bomba cuando se cierra la válvula de choque, aquí la velocidad de salida es de 0.974 m/s y la tercera fase en la cual el fluido recorre la totalidad de la tubería de alimentación; como conclusión se tiene, que con la implementación de la bomba se pueden abastecer los nuevos proyectos de forma alternada en cuanto a los riegos.

Palabras clave: Golpe Ariete, Bomba, Caudal.

Abstract

The water supply for the development of agricultural production systems is essential for their success; however, the lack of regularity in the supply is a problem faced daily by farmers; the research project describes the design and simulation of a ram pump prototype for water supply in the farm "El Manantial" in the municipality of Neiva. The methodology used consists of 6 phases, starting from the state of the art, definition of requirements, conceptual design, calculations, detailed design and simulation; the results obtained show a ram pump with a vertical air chamber coupled by means of hexagonal screws and seal to a galvanized nipple, which operates under three phases or cycles of fluid movement through it; the first phase indicates the fluid velocity is 0.979 m/s and the flow Q is 0.1399 L/min; in the second phase the first water hammer occurs inside the pump when the shock valve is closed, here the output speed is 0.974 m/s and the third phase in which the fluid runs through the entire supply pipe; as a conclusion, it is concluded that with the implementation of the pump the new projects can be supplied alternately in terms of irrigation.

Key words: Water hammer, Pump, Flow rate.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XIV
Introducción	1
Capítulo 1: Marco referencial	5
1.1 Estado del arte	5
1.2 Marco teórico	9
1.2.1 Configuración típica de la bomba de ariete	9
1.2.2 Principio de funcionamiento	10
1.2.3 Características del ariete hidráulico	12
Capítulo 2: Selección de diseño del prototipo	15
2.1 Requerimientos de diseño	15
2.2 Características de la fuente	18
Capítulo 3: Cálculos y diseño	19
3.1. Análisis Y descripción del fenómeno	19
3.1.1. Análisis de fase 1	20
3.1.2. Análisis de fase 2	22
3.1.3. Análisis de fase 3	24
3.2. Análisis de campo	26
3.2.1. Datos de Campo y de la Instalación	26
3.2.2. Procesamiento de variables calculadas y estimadas	27
Capítulo 4: Simulación	33
4.1 Análisis de prototipos actuales	34
4.2 Simulación De Tanque	35
4.1.1. Análisis de esfuerzo	35
4.1.2. Análisis de desplazamiento	36
4.1.3. Análisis de factor de seguridad	37
4.2 Simulación de la válvula de impulso	38
4.2.1. Análisis de esfuerzo válvula de impulso	38
4.2.2. Análisis de desplazamiento de válvula de impulso	39
4.2.3. Análisis de factor de seguridad de válvula de impulso	40
4.3 Simulación de la válvula de no retorno	40

4.3.1. Análisis de esfuerzo de válvula de no retorno	40
4.3.2. Análisis de desplazamiento de válvula de no retorno	41
4.3.3. Análisis de factor de seguridad.....	42
4.4. Comparativos costos de comprar bomba centrífuga vs bomba ariete	43
Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones	47
5.1. Conclusiones	47
5.2. Recomendaciones	48
Bibliografía	63

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1. Configuración estándar de una bomba de ariete [26].	9
Figura 2-1. Áreas de pastura	15
Figura 2-2. Demanda agua galpones.....	16
Figura 2-3. Establo	17
Figura 3-1. Bomba de ariete y fases de su funcionamiento	19
Figura 3-2. Gráfica velocidad vs tiempo (proceso ida-vuelta, tubería).....	25
Figura 3-3. Diagrama de Moody para determinar pérdidas por fricción [30].....	28
Figura 3-5. Propiedades físicas del agua dulce a presión atmosférica. [31].....	29
Figura 4-1: Prototipo Bomba ariete.....	33
Figura 4-2: Esfuerzo máximo de tanque.	36
Figura 4-3: Análisis de desplazamiento de tanque.....	36
Figura 4-4: Factor de seguridad material del tanque.....	37
Figura 4-5: Análisis de esfuerzo de válvula de impulso.	38
Figura 4-6: Análisis de desplazamiento de válvula de impulso.	39
Figura 4-7: Factor de seguridad válvula de impulso.	40
Figura 4-8: Esfuerzo máximo de válvula de no retorno.....	41
Figura 4-9: Desplazamiento máximo de válvula de no retorno.	42
Figura 4-10: Factor de seguridad válvula de no retorno.....	43
Figura 4- 11: Reservoirio actual para suministro de agua en la finca El Manantial	44

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1. Comparativa bomba actual vs bomba ariete	13
Tabla 2-1. Requerimientos de riego para nuevas pasturas	16
Tabla 2-2. Demanda agua Galpones	17
Tabla 2-3. Demanda consumo establo	18
Tabla 3-1: Valores del coeficiente de pérdidas, K, para válvulas abiertas, codos y téns ..	28
Tabla 4-1: Prototipos de bomba de ariete según estado del arte	34
Tabla 4-2: Relación de costos de comprar bombas centrifugas vs bombas de ariete	45

Introducción

El proyecto de investigación tratado en el presente trabajo refiere al diseño y simulación de un prototipo de bomba de ariete para el suministro de agua en la finca “El Manantial” del municipio de Neiva.

La bomba empleada actualmente para el suministro de agua en la finca “El Manantial” tiene 10 años de servicio; es de tipo horizontal y centrífuga, posee una potencia de 1 hp, y trabaja con un impulsor tipo cerrado de 1 fase a 3.600 rpm, emplea alimentación eléctrica; actualmente entrega 102.000 L/mes de agua que corresponden al consumo de la finca, los cuales se distribuyen en riego para potreros, galpones y establo; las condiciones actuales de la bomba muestran una disminución en su efectividad, esto debido a que el abastecimiento de agua no es regular, lo cual afecta las labores diarias que implican demanda del líquido en la misma; factores como sistema de centrifugado deficiente, aumento de mantenimientos a razón de ejes desgastados entre otros elementos, lo que conlleva a que esta trabaje de manera forzada, demoras en el servicio de reparación y aumento en el consumo de energía eléctrica, corresponden a otros signos que afectan operativa y económicamente al dueño de la finca.

Existe una gran preocupación ya que se tiene planificado aumentar la productividad de la finca con proyectos de impacto, tales como 6 potreros para la siembra de pasto largo, 3 galpones para aves de corral y la compra de 30 vacas lecheras las cuales demandan 60.000 L/mes, 90.000 L/mes y 63.000 L/mes, de agua; la actual bomba entrega 102.000 L/mes; lo que deja ver claramente una falta de capacidad de la bomba actual para dar cobertura a estos proyectos. De acuerdo con lo anterior, surge la siguiente pregunta de investigación ¿Cómo garantizar los requerimientos de agua para los nuevos proyectos agrícolas de la finca “El Manantial”?

El objetivo general del proyecto es el de diseñar y simular un prototipo de bomba de ariete para el suministro de agua en la finca El Manantial del municipio de Neiva; de acuerdo con lo anterior, se establecieron tres objetivos específicos que se plantean a continuación:

- Identificar los criterios de diseño teniendo en cuenta las necesidades de la finca en cuanto al suministro de agua.
- Diseñar prototipo de bomba de ariete de acuerdo a los datos recolectados y calculados.
- Simular y validar el correcto funcionamiento del prototipo diseñado.

La metodología empleada es la de fases, la cual se compone de seis fases (Ulrich & Eppinger, 2013) para su ejecución las cuales son:

Fase 1- Estado del arte: En esta fase se determina el contexto actual de aplicación de las bombas de ariete, así como sus componentes, con el fin de ilustrar y conceptualizar la investigación.

Fase 2- Definición de Requerimientos: Se desarrollan las tareas que competen a la identificación de necesidades de suministro, así como las condiciones actuales de la bomba centrífuga y la identificación de caudal entregado.

Fase 3- Diseño Conceptual: Para desarrollar esta fase se deben identificar las necesidades del cliente, determinar los aspectos conceptuales de diseño de la bomba (Demanda agua, velocidad del fluido, y el diseño de prototipo de bomba de ariete.

Fase 4- Cálculos: Comprende la realización de cálculos de diseño de bomba ariete (Área de tubería, fases de operación, presión y velocidad, carga primaria) y la selección y análisis de materiales mediante método de Von Miseses para la simulación de cargas estáticas y dinámicas.

Fase 5- Diseño de detalle: Comprende la modelación en CAD/CAM del prototipo mediante programa Autodesk Inventor versión 2021

Fase 6- Simulación de esfuerzo máximo, desplazamiento máximo y factor de seguridad para tanque, válvula de impulso y de no retorno, mediante método de Von Mises

Dentro de los antecedentes de aplicación de la bomba de ariete tenemos el de Eduardo Gonzales en Arequipa (Perú) 2015, quien en su trabajo de nombre "diseño y construcción de una bomba de ariete para una capacidad de 102 litros por hora y una altura de 8 metros" implementó esta solución a partir de un manantial natural, para garantizar el suministro continuo de agua para el conjunto de viviendas de interés social, ya que el sector se encontraba sin agua y los problemas de salubridad eran complejos para esta población [1].

Otro de los usos se desarrolló por parte de Pablo Otí en Cantabria (España) 2017, en el proyecto "Ariete hidráulico para riego, diseño, construcción y montaje", en el cual el autor buscó a partir de la instalación en el río Aguanaz, a su paso por la localidad de Hoznay (Cantabria), construir un sistema de riego para los pequeños agricultores de la zona con el fin de garantizar el riego para los cultivos de hortalizas y pastos para alimentación ovina [2].

De igual forma Sánchez y Acosta, en ciudad de Panamá (Panamá) 2018, en su proyecto de investigación "La Bomba de Ariete Hidráulico como fuente de energía alternativa y sostenible" diseñaron una solución a partir de esta bomba para la generación de energía limpia y sostenible para uso a nivel agropecuario y silvicultura [3].

Aplicaciones como la de Antonio Lofrío en Cartagena (2020), en su investigación "Estudio paramétrico de la bomba de ariete" permitió identificar a partir del principio de golpe de ariete, la capacidad de succión y abastecimiento de agua para una red de edificios subsidiados de estrato 1 y 2 [4].

De acuerdo a esto, la elaboración de esta propuesta de diseño y simulación de una bomba de ariete, se fundamenta en que este tipo de bombas no demanda uso de energía eléctrica, lo que la convierte en una solución ambientalmente sostenible, económica y de fácil mantenimiento para el propietario de la finca; por otro lado compara una bomba de mayor capacidad infiere un costo mayor no solo por la compra del equipo, si no de área física de operación, de la red de distribución y presencia de mayor ruido en el área; ahora bien la bomba de ariete es de fácil construcción ya que se pueden emplear materiales en PVC para remplazar algunos componentes, lo cual abarata los costos para el agricultor.

Este proyecto quiere generar un impacto en la economía y en el pensamiento de aquellos que se vean involucrados y beneficiados para ir generando poco a poco una mejora en la manera en que se usa la energía, los recursos y el aprovechamiento de los mismos. Servirá de apoyo para futuros proyectos que deseen enfocarse en el tratamiento de agua o en algún otro en el que se vean involucrados conceptos y máquinas utilizados en este.

La propuesta tiene como valor agregado una solución mecánica a partir de principios básicos para el aprovechamiento de la fuente hídrica, la adopción de tecnologías verdes que prescinde del uso de energías industriales o combustibles contaminantes para el medio ambiente, ya que el suministro de agua constituye una materia prima básica para el desarrollo de los proyectos agropecuarios y la subsistencia de las personas que la habitan. [5] [6] [7]

El proyecto tiene como propósito elaborar una solución para atender la nueva demanda de agua requerida por los proyectos futuros, a partir de una propuesta que contempla el diseño y simulación de un prototipo de bomba de ariete para el suministro de 203.000 L/mes en la finca “El Manantial”; esta propuesta debe garantizar de forma continua el abastecimiento de agua, una economía en su proceso de mantenimiento, y una solución ambientalmente sostenible, lo que implica la no afectación al medio ambiente y a los recursos naturales existentes en la finca.

Dentro de las limitaciones del proyecto se encuentra la situación actual de la pandemia, lo que limita la consecución de información de campo, de acuerdo con ello, se acudirá a información solicitada vía telefónica. El proyecto comprenderá diseño y simulación, lo que implica que la capacidad de la bomba esté entre un 10 y 15% de holgura sobre la teórica.

La aplicación del proyecto beneficiará entre otros al propietario de la finca y trabajadores que demandan agua para el desarrollo de sus actividades, ya que las labores de la finca como siembra, alimentación de animales y mantenimiento de establo, entre otras, requieren un suministro continuo del líquido; se espera que el proyecto sirva como referencia para futuros proyectos.

Capítulo 1: Marco referencial

En el presente capítulo se presenta el marco referencial del proyecto, el cual se compone del estado del arte y el marco conceptual, en donde se delimita los tipos y principios empleados en el diseño del proyecto

1.1 Estado del arte

Los países desarrollados han empezado a tomar las medidas requeridas para mitigar su porcentaje de contaminación ambiental. Esto lo están consiguiendo al optar por equipos o fuentes de suministros de energías limpias, como lo son la eólica, la solar y/o la geotérmica, que actualmente se encuentran en desarrollo, esto lo hacen con el fin de ir eliminando la huella de impacto ambiental.

Una de las soluciones más prácticas, económicas, de fácil mantenimiento y sostenible está relacionada con las bombas de tipo vertical de ariete o ariete hidráulico, es una herramienta que aprovecha la energía cinética de un pequeño desnivel para elevar el agua a una altura superior, sin la necesidad de usar electricidad o combustible alguno [8].

De este modo, la bomba toma el agua de un depósito situado a una altura superior, aprovechando la energía cinética que genera el propio fluido al trasladarse por una tubería hasta el cuerpo de la misma. Esto provoca una sobrepresión que ocasiona la apertura y cierre continuo de una válvula de pie, diseñada para que genere la presión adecuada y así lograr alcanzar su altura ideal; esta sobrepresión producida se denomina golpe de ariete y es el principio básico para su funcionamiento [9].

Algunos antecedentes internacionales sobre el uso de este tipo de bombas son:

Lizana (2018) en la ciudad de Piura (Perú), realizó un “Diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico”, con el objetivo de suministrar agua a una comunidad; el proyecto consta de un sistema de bombeo mediante el ariete hidráulico en tubería PVC, con un tanque de aire de 80 gal y una válvula de retención dúo check de 1”, los resultados muestran que la bomba cumple con el objetivo inicial del proyecto [10].

Rossi (2018), quienes realizaron un sistema de bombeo para una granja agrícola en Cádiz (España), los resultados mostraron que para el diseño emplearían una válvula de cierre tipo mariposa y un adaptador multidiametro; el caudal calculado fue de 1.200 L/h, lo cual garantizaba el suministro al cultivo [11].

Twyman (2018), “Golpe de ariete en una red de tuberías debido al cierre rápido de una válvula” en Santiago de Chile (Chile), los aportes de esta investigación indican que los valores extremos de la presión dependen del tipo de válvula que se está cerrando, y que la forma de la red no es un factor relevante que ayude a atenuar las presiones transitorias, esto con el fin de poder controlar estas variables para el diseño de redes de suministro [12]

Cadena (2016), “Diseño y Construcción de un Sistema de Ariete Hidráulico para el Aprovechamiento de Aguas Lluvias” en la ciudad de Pereira; el resultado mostró que la bomba diseñada podía entregar más de 150 L/min, lo que superaba los requerimientos del cliente, los materiales empleados comprenden plástico de alta densidad y acero en cuerpo y eje [13].

Peralta (2016), “Aplicación del golpe de ariete hidráulico para el aprovechamiento del agua de manantial Quequerana” en la ciudad de Puno (Perú); los resultados indicaron una optimización en la frecuencia de suministro de agua a las diferentes viviendas, validando el hecho que este tipo de bombas son eficientes al momento de generar soluciones de choque [14].

Arapa (2016), “Evaluación del rendimiento del ariete hidráulico BAH 1.1/2 variando la longitud de la tubería de alimentación y condiciones de operación de la válvula de impulso” en la ciudad de Lima (Perú); los resultados indicaron que la bomba de ariete modelo BAH 1.1/2 opera regularmente en las diferentes longitudes y carreras evaluadas, logrando mejor eficiencia con tubería de 3 m de longitud y con carreras de la válvula de impulso de 9 mm, con eficiencia 64.16, 60.34 y 59.11% con caudales bombeados de 1.26, 0.99 y 0.80 L/min [15].

Ortega (2013).” Construcción, caracterización hidráulica y estudio de aplicación de una bomba de ariete para el riego de una finca agrícola” en la ciudad de Zaragoza (España); el principal aporte de este trabajo radica en que el diseño de la bomba de ariete se realizó con materiales en PVC, lo que permitió bajar los costos de fabricación de la misma y dar cobertura total a las áreas de riego [16].

Izquierdo y Montalvo (2012),” Simulación de un golpe de ariete mediante simulación Diagasting” en la ciudad de Morelia, estado de Michoacán (México): el principal aporte radica en demostrar que previo al diseño o construcción de la bomba se pueden simular las condiciones para variables controlables y no con el fin de dar una mayor exactitud en el diseño de la misma, esto permite dar confiabilidad para cumplir con los requerimientos del cliente [17].

En cuanto a antecedentes nacionales:

Julca (2019), “Diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico para la evacuación de aguas, ácidas en empresas mineras de Cajamarca, 2019”, el cual tuvo como objetivo evacuar el agua resultante de los procesos químicos empleados en la extracción minera, ya que durante el proceso estos por elevación de temperatura generaban gases tóxicos que podrían afectar la salud de manera crítica para la población trabajadora [18].

Ramírez y Gonzáles (2019),” Construcción e instalación de una bomba de ariete hidráulico para alimentar el sistema de riego en un área definida para una finca agrícola” en la ciudad de Bogotá zona sabana, el resultado indico que construida la bomba de ariete el modelo de riego en función de costos de producción era mucho más económico [19].

Collazos y Laverde (2018), “Diseño y construcción de una almenara (dispositivo de protección para disipar el golpe de ariete)” en la ciudad de Bogotá; el resultado fue la construcción y modelación a escala de una estructura de protección (chimenea de equilibrio) que permitió simular de forma experimental la sobrepresión que se presenta en una tubería durante su operación [20].

Gómez y Triana (2015), “Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico para uso residencial” en la ciudad de Bogotá; el resultado alcanzado permitió establecer y conocer factores de cálculo necesarios para garantizar a partir del golpe de ariete la evacuación de aguas lluvias y aguas negras de un conjunto residencial [21].

Rengifo y Gallego (2016), “Diseño y construcción de un sistema de ariete hidráulico para el aprovechamiento de aguas lluvias”, como resultado se pudo establecer que la recolección de aguas lluvias podría ser reutilizada para usos higiénicos en otras torres del conjunto [22].

Méndez Et Al (2013), “Análisis del ariete hidráulico para diferentes configuraciones” en la ciudad de Bucaramanga; el aporte de la investigación se centró en demostrar que el resorte de la válvula de impulso y la relación de las áreas de las válvulas de impulso y descarga influye significativamente en la eficiencia del ariete, lo cual facilita al momento de su instalación establecer el caudal de salida [23].

Penagos (2018), “Análisis del comportamiento del ariete hidráulico en función del volumen del acumulador y la constante elástica del resorte” en la ciudad de barranquilla; el aporte del trabajo se basó en demostrar que a una misma altura de elevación y descarga, la variación de la constante elástica mostró un comportamiento significativo en el dispositivo, mientras que el dimensionamiento del acumulador no generó ningún cambio con respecto a los caudales de desperdicio y descarga [24].

1.2 Marco teórico

1.2.1 Configuración típica de la bomba de ariete

La configuración generalizada de una bomba de ariete se presenta en la figura 1-1, sin embargo, existen arreglos o variaciones que puedan obedecer a requerimientos específicos o de diseño según el contexto de aplicabilidad; pese a esto, el principio de funcionamiento sigue siendo el mismo; de acuerdo con sus componentes, las partes que la integran se describen y se nombran a continuación en la figura 1.1 [25].

Para ello debemos inicialmente identificar los nombres a partir de sus variables tales como:

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

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

A: reservorio de alimentación.

B: tubo de alimentación o impulso.

C: válvula de desperdicio, alivio, impulso o desahogo.

D: válvula de retención, entrega, descarga o servicio.

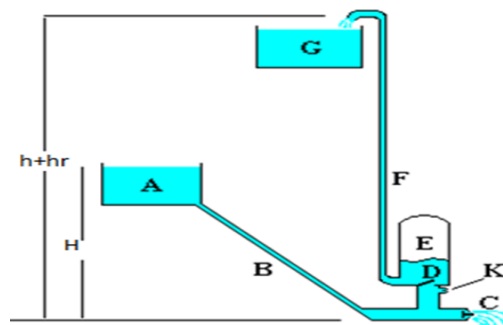
E: calderín de presión o cámara de aire.

F: tubería de descarga.

G: depósito de descarga.

K: válvula de admisión de aire.

Figura 1-1: Configuración estándar de una bomba de ariete [26].



Nombre de la fuente: Elioiqui Guilarte Defino.

Dentro de los componentes de la bomba de ariete se tiene:

- Válvula de choque: Este elemento es el que permite generar golpes de ariete en el momento de cerrarse.
- Canalización motriz (o tubo de batería): Es la pieza que conecta la bomba y el depósito.
- Cuerpo: Recibe el fluido mediante el tubo de batería y lo transmite a la válvula de choque y a la de descarga. Es en esta pieza donde ocurre el golpe de ariete, por lo que el material con el que esté construido debe ser resistente.
- Válvula de descarga: Puede estar abierta o cerrada en función de la fase en la que esté.
- Depósito neumático: También denominada cámara de aire es esencial para el correcto funcionamiento de la bomba, ya que evita que explote por los golpes de ariete.
- Respiradero: Se encuentra debajo de la válvula de descarga, pero sólo se instala en las bombas de ariete más avanzadas para evitar tener que purgar el depósito.
- Válvula de retención: Permite que el agua no llegue al depósito en casa de que se pare la bomba.

1.2.2 Principio de funcionamiento

La mecánica de fluidos reconoce al fenómeno denominado golpe de ariete, que ocurre debido a la alternancia de presiones de un fluido en movimiento, dentro de una tubería, motivado por el violento cierre o abertura de una válvula; durante la fluctuación brusca de la presión, el líquido fluye a lo largo del conducto a una velocidad definida correspondiente a la de propagación de una onda sonora en el medio de trabajo. Por efecto de esta sobrepresión la tubería se dilata y el fluido se comprime volviendo a ambos por elasticidad a la posición inicial, este efecto se repite estableciéndose un movimiento de presión oscilatorio cada vez con menor intensidad, hasta su anulación [27].

El ariete hidráulico, usa la energía potencial de un volumen de agua, comparativamente grande ubicado a una altura pequeña; para convertirla en una energía de presión, que sirve para bombear, por medio de la generación de una onda de alta presión, una menor cantidad de fluido a una cabeza mayor.

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

Las bombas de ariete, tienen una operación que se rige a un ciclo hidráulico, el cual produce su ritmo característico durante su funcionamiento este ciclo, se puede dividir en tres fases, la aceleración, la entrega y el retroceso.

- **Ciclo hidráulico de la bomba de ariete**

Aceleración: Cuando se llena el sistema, la válvula de impulso se cierra por la presión de la carga inicial de la presa y el agua pasa a la cámara de aire, hasta el nivel de la presa por el principio de los vasos comunicantes [28].

Entrega: Estando cerrada la válvula de impulso, se detiene bruscamente el desahogo de agua a través de ella; la cantidad de agua que ha descendido por la tubería de impulsión B de la figura 1-1, tiene una presión y energía considerable que debe ser disipada. Por equiparación de fuerzas permite la apertura momentánea de la válvula de salida; cuando la presión se eleva más alto que en la cámara de aire; aquí la válvula de salida, permanece abierta hasta que el agua en el tubo de impulsión, prácticamente ha disminuido y la presión en el cuerpo de la bomba cae por debajo de la de entrega [28].

Retroceso: El flujo restante en la tubería de impulsión, conserva cierta presión residual. Esto hace que la presión en el cuerpo de la bomba disminuya tanto como para que la válvula de impulso, se reabra automáticamente. El retroceso también aspira una pequeña cantidad de aire a través de la válvula de copa K; el aire se sienta debajo de la válvula de salida D, hasta el siguiente ciclo cuando se bombea el agua, esto asegura que el tanque de aire E, permanezca lleno de aire para asegurar el amortiguamiento. Cuando se termina la energía de retroceso, el agua comienza a acelerarse por el tubo de impulsión B, y a través de la válvula de residuos C, a cielo abierto, comenzando el ciclo otra vez [28].

A lo largo del ciclo la presión en el tanque o cámara, así como las fuerzas de agua hasta la tubería de la entrega; idealmente se consideran constantes gracias al aire de la propia cámara que actúa como un colchón atenuando los golpes bruscos. El ciclo de bombeo sucede muy rápidamente, típicamente de 40 a 120 veces por minuto [28].

Durante cada ciclo, sólo una pequeña cantidad de agua se bombea; sin embargo, ciclo tras ciclo continuo e indefinido, una cantidad importante de ésta es elevada; las salpicaduras de la válvula impulso, en el cauce de la corriente se conoce como "aguas residuales".

Este término debe ser entendido como el único recurso que desaprovecha el equipo por tanto la eficiencia del mismo está dada como la relación del agua levantada a la de "aguas residuales": por ende se dice que estas bombas poseen eficiencias bajas, típicamente de alrededor del 40%; debido a la naturaleza del ariete su instalación es conveniente, cuando existe suficiente agua disponible, bajo este enfoque lo que se buscará es que el ariete desarrolle la máxima potencia posible sin que esto implique el máximo rendimiento.

1.2.3 Características del ariete hidráulico

Dentro de sus características generales se tiene, por ejemplo:

- **Ventajas**

No necesita combustible fósil ni electricidad, ni ningún impulsor en absoluto fuera del fluido, no necesita un mantenimiento permanente; este sistema es más económico que los otros convencionales motorizados, no causa contaminación, su operación es segura no necesita mano de obra durante su operación y su costo de funcionamiento teóricamente es nulo; ya que este dispositivo presenta únicamente dos partes móviles, la vida útil del equipo es larga, funciona continuamente las 24 horas del día. Ideal para terreno escarpado en donde se pueda realizar riego tecnificado además puede solventar otras necesidades como agua potable y finalidades agropecuarias.

- **Desventajas**

En contraste se presenta las desventajas de este tipo de equipos; una de las principales es la baja eficiencia, su operación se limita a cielo abierto donde haya la capacidad de reutilizar las aguas residuales; el flujo de suministro debe ser constante además de

confiable. El acceso a la tecnología e información, dado que es un equipo que quedó en desempleo no es fácil encontrar innovaciones.

En la toma de agua no debe haber entrada de aire por tanto es necesario hacer un reservorio de agua con cierta capacidad de volumen que permita un flujo continuo y guarde las condiciones de estabilidad y el sitio donde se ubica el ariete debe tener un desagüe por el agua que salpica.

Otro problema es el ruido ocasionado durante su operación, el mismo que puede ser controlado y reducido usando ciertos aditamentos de absorción de vibraciones sonoras, en lugares estratégicos como son: tanto en la válvula de impulso, como la unión de la cámara de aire con la tubería de entrega en los cuales se generan la mayor suma de ruidos. El ariete hidráulico, en su versión convencional, es un equipo pesado, voluminoso y relativamente costoso en comparación con otros; comparando entre las maneras de elevar agua la bomba de ariete puede ser una opción adecuada y con muchas ventajas sobre las demás, pero a la vez en otros escenarios esto puede ser completamente inapropiado.

La poca difusión de los arietes puede atribuirse a que para su selección, instalación y calibración se requiere de equipos especializados y pruebas, además su funcionamiento no está completamente dilucidado y a la dificultad en su diseño hidráulico; a continuación, se muestra en la tabla 1-1, las relaciones de ventaja y desventaja en los tópicos más trascendentes, del ariete hidráulico con las bombas que más se usan en el medio.

Tabla 1-1: Comparativa bomba actual vs bomba ariete.

Descripción	Bomba centrífuga Actual	Ariete
Tipo Alimentación	Eléctrica	NA
Energía externa	Si	No
Lubricantes	Si	No
Inversión inicial	Alto	Medio
Mantenimiento	Si	No
Confiability	Media	Alta
Ruido	Medio	Medio-Alto
Eficiencia	Alto	Bajo

Nombre de la fuente: Elaboración propia.

Capítulo 2: Selección de diseño del prototipo

El capítulo dos, comprende el estudio de campo el cual se realizó en la finca “El Manantial”, con el fin de validar y determinar los requerimientos, los cuales se deben contemplar para el diseño del prototipo; de acuerdo con lo anterior se establecen los diseños conceptuales para la selección y posterior cálculo.

2.1 Requerimientos de diseño

Existen Con respecto a los requisitos de diseño se parte de las necesidades planteada en los siguientes ítems:

- Áreas de pastura.

La figura 2-1, muestra las diferentes áreas de pastura de la finca, las cuales pertenecen a los nuevos requerimientos de riego, son áreas extensas las cuales se dividieron en parcelas para asegurar la disponibilidad de pasturas para los nuevos animales.

Figura 2-1.: Áreas de pastura.



Nombre de la fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al trabajo de campo, actualmente se riegan 3 potreros cada 4 días, los cuales consumen en promedio 4.000 L; se espera aumentar las pasturas en 6 potreros

adicionales para un total de 9 unidades, lo que da una demanda de agua para riego como lo indica la tabla 2-1.

Tabla 2-1: Requerimientos de riego para nuevas pasturas.

Aspecto	Um	Cantidad
Potreros actuales	Un	3
Consumo de agua de los potreros actuales.	L	4.000
Frecuencia de riego	Día	Cada 4/ días
consumo mes	L	30.000
Potreros proyectados	Un	9
Consumo de agua de los potreros proyectados	L	12.000
Consumo mes / proyectado	L	90.000

Nombre de la fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los nuevos requerimientos de demanda de agua se plantea un aumento en el suministro de 60.000 L adicionales.

- Corrales y aves.

La figura 2-2, muestra la infraestructura actual a nivel de tanques de almacenamiento para el suministro de agua para las aves de corral; esta corresponde a un corral.

Figura 2-2: Demanda agua galpones.



Nombre de la fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la situación actual, se tiene por cada galpón dos tanques de 500 L, los cuales son llenados una vez por día, es decir que al mes demandan 30.000 L de agua; de acuerdo a los nuevos requerimientos como se indica en la tabla 2-2 se tiene:

Tabla 2-2: Demanda agua Galpones

Aspecto	Um	Cantidad
Galpones.	Un	1
Consumo de agua de los galpones.	L	1.000
Frecuencia de consumo	Día	Diario
Consumo mes	L	30.000
Galpones proyectados	Un	3
Consumo de agua de los galpones.	L	90.000
Consumo mes / proyectado	L	120.000

Nombre de la fuente: Elaboración propia.

- Establos.

La figura 2-3 muestra el corral destinado para el ganado bovino en cuanto a alimentación e hidratación; en este corral se tienen proyectados los 30 animales adicionales.

Figura 2-3: Establo.

Nombre de la fuente: Elaboración propia.

Actualmente existe un establo para 20 vacas lecheras, las cuales en promedio consumen 70 L/día; de acuerdo a la proyección de consumo nuevo como lo indica la tabla 2-3, se tiene que al incluir 30 nuevos animales se requieren de 63.000 L adicionales:

Tabla 2-3: Demanda consumo establo.

Aspecto	Um	Cantidad
Establos.	Un	20
Consumo de agua de los establos	L	70
Frecuencia de consumo	Día	Diario
Consumo mes	L	42.000
Animales proyectados	Un	30
Consumo de agua proyectado en los establos.	L	63.000
Consumo mes / proyectado	L	105.000

Nombre de la fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los nuevos requerimientos se tiene que la demanda de agua para los nuevos proyectos en los tres campos requiere 315.000 L/mes de agua para su desarrollo, a esto se suma el consumo diario de la casa de 500 L diarios que al mes demandan 15.000 L para un total de 330.000 L/mes los cuales la bomba actual no alcanza entregarlos de forma regular y a esto el aumento del costo de energía eléctrica por uso de la misma.

2.2. Características de la fuente

Uno de los aspectos más importantes para el diseño del proyecto, lo comprende la fuente de agua para la bomba de ariete, ya que a partir de ella se considera o no su capacidad en función de su caudal para poder alimentar la misma y de esta manera aprovechar este recurso para el cumplimiento de los objetivos trazados en la finca para los nuevos proyectos; dentro de las características encontradas en el afluente cuyo nombre es la San isidro, recorre los linderos de la finca, pasando por la casa de la finca de forma muy cercana, posee un muy buen caudal, razón por la cual se considero como una forma de aprovechar la misma para asegurar un suministro continuo.

En épocas de lluvia aumenta su caudal, si presentar a la fecha antecedentes de desbordamiento o crecientes súbitas, lo cual es importante para un probable montaje de la bomba; a nivel topográfico, se identifica su trayecto plano, ya que la zona relativamente corresponde a un llano de mas de 4500 Ha., su piso térmico corresponde a tropical templado con temperaturas que pueden variar desde 29 °C a 37°C.

Capítulo 3: Cálculos y diseño

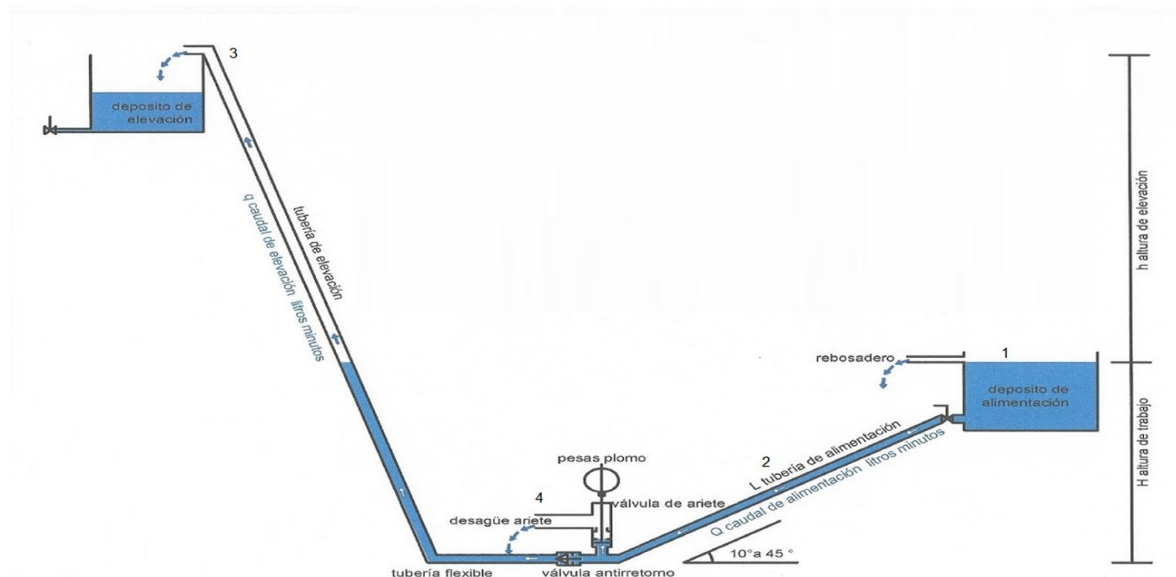
El siguiente capítulo establece los cálculos y el diseño del prototipo de bomba de ariete, así como el detalle de los mismos.

3.1. Análisis Y descripción del fenómeno

Como primera medida, para realizar el análisis del funcionamiento de la bomba, se procede a realizar al análisis completo de un ciclo, que será definido como la acción que se repetirá una y otra vez a lo largo del tiempo que tengamos la bomba en funcionamiento.

Para iniciar el proceso de diseño y cálculo, se analizaron los componentes que conforman la bomba de ariete, comprendiendo cada una de sus fases de funcionamiento de acuerdo a la figura 3-1.

Figura 3-1: Bomba de ariete y fases de su funcionamiento.



Nombre de la fuente: Manuel saab.

3.1.1. Análisis de fase 1

Esta primera fase se inicia cuando la clapeta de la válvula de choque comienza a cerrarse por la inercia del agua que pasa por esta, y termina cuando se cierra completamente.

En esta fase, la presión en la tubería se mantiene prácticamente constante hasta el momento en el que la válvula está casi totalmente cerrada. Sin embargo, en este análisis, se tendrá en cuenta las pérdidas de carga primaria, las cuales van aumentando a medida que la sección de salida disminuye, regulada por la válvula de choque en movimiento. En esta fase, por lo tanto, y mientras la válvula de choque va cerrándose, se podrá asumir que la aceleración del agua en la tubería de alimentación durante este periodo disminuye con un valor constante; estas comprenden las pérdidas de carga primarias, las cuales según Mott [29] vienen dadas por la ecuación (3.1)

$$\frac{dv}{dt} = -K \quad (3.1)$$

De donde:

dv=Velocidad del fluido

dt=Cantidad de tiempo en el que fluye el fluido

K=Coefficiente de pérdida

Al integrar dos veces (3.1), se obtiene tanto la ecuación de la aceleración, como la ecuación de velocidad del fluido.

$$\frac{dv}{dt} = -Kt - c_1 \quad (3.2)$$

$$v = -\frac{Kt_1}{2} + c_1t + c_2 \quad (3.3)$$

Asumiendo que $t=0$; $v=v_0$; $\frac{dv}{dt} = \alpha_6$ la condición de contorno $t=t_1$ $\frac{dv}{dt} = 0$

Se obtiene los valores para las constantes al reemplazar en (3.3)

$$K = \frac{\alpha_6}{t_1}, c_1 = \alpha_6 \text{ y } c_2 = v_0$$

De donde:

α_6 = Aceleración del fluido en la tubería de alimentación al final de la fase 3

t_1 = Duración del periodo 1

v_0 = Velocidad del fluido en la tubería de alimentación en el comienzo de la fase 1

Con estos valores la ecuación de la velocidad en la tubería de alimentación para cualquier instante de esta primera fase nos quedaría como se indica en la ecuación (3.4)

$$v = \frac{\alpha_6}{2t_1} t^2 + \alpha_6 t + v_0 \quad (3.4)$$

Ecuación a la cual, particularizándola para el caso $t = t_1$: $v = v_1$, obtenemos el valor de la velocidad al final de la fase 1 y comienzo de la fase 2.

$$v = \frac{\alpha_6}{2t_1} t^2 + v_0 \quad (3.5)$$

Varios experimentos realizados con cámaras de alta velocidad por W. M. Lansford y W. G. Dugan, en la Universidad de Illinois [9], sugieren que la aceleración que adquiere la válvula de choque durante este periodo puede ser aproximada también a una constante y está dada por:

$$-J = \frac{d^2S}{dt^2} \quad (3.6)$$

Ahora bien, Por condiciones iniciales para $t=t_0$; $\frac{dS}{dt} = 0$ y $S=S_0$; $t=t_1$ se obtiene que:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2S_0}{J}} \quad (3.7)$$

De donde S_0 = recorrido (carrera) de la válvula de choque y J = constante a determinar.

Durante esta primera fase, dado que se ha de cumplir la ley de conservación de la masa, el agua que fluye por cualquier sección de la tubería de alimentación, es la misma cantidad de agua que saldrá por la válvula de choque durante esta fase, es decir, la cantidad de agua "gastada". Esta cantidad puede ser calculada integrando el caudal de agua que atraviesa una sección de la tubería de alimentación, de sección A conocida, dado que ya sabemos el valor que tendrá la velocidad del fluido en la tubería de

alimentación durante esta primera fase (ec. 3.4). La cantidad de agua gastada, por tanto, nos queda:

$$Q_1 = \int_0^{t_1} \rho A v dt = \rho A \left(v_0 t_1 + \frac{\alpha_6 t_1^2}{2} \right) \quad (3.8)$$

De donde:

Q= Flujo volumétrico

ρ = Densidad del fluido

A= Área sección tubo

v_0 =velocidad inicial

t_1 =tiempo inicial

3.1.2. Análisis de fase 2

En esta fase se produce el primer golpe de ariete en el interior de la bomba cuando se cierra la válvula de choque, ya que este repentino cierre obliga al fluido que se desplazaba con una velocidad v FASE 2 y 1, a detenerse completamente. La fuerza de inercia que posee la columna de agua que viene desplazándose con esa misma velocidad v_1 $\Delta v = - \Delta P / \rho c$, por la tubería de alimentación, es la que origina una enorme sobrepresión en el extremo de la válvula de choque, que se irá transmitiendo aguas arriba, junto con la disminución de velocidad mencionada, mediante una onda de choque.

Estos dos procesos (el aumento de la presión y la disminución de la velocidad), están relacionados por la ecuación de Joukowski, obtenida a partir de la teoría clásica de las ondas de choque

$$\Delta v = \frac{\Delta P}{\rho c} \quad (3.9)$$

El valor del aumento de velocidad que lleva asociado esta onda de choque será de $-v_1$, ya que el fluido que la onda de choque se va encontrando posee una velocidad v_1 $(\Delta P)' = -\rho \cdot c \cdot (\Delta v)' = -(\rho \cdot c \cdot 0 - \rho \cdot c \cdot v_1) = \rho \cdot c \cdot v_1$ (Ec. 2.2), y tras el paso de la onda, el fluido se queda con una velocidad 0, esto es, completamente parado. Teniendo esto claro, no nos será complicado calcular el incremento de presión que vendrá asociado a este golpe de ariete:

$$(\Delta P)' = -\rho c(\Delta v)' = (\rho c 0 - \rho c v_1) = \rho c v_1 \quad (3.10)$$

Cuando esta onda de choque comience a retroceder aguas arriba, no tardará mucho en encontrarse con la válvula de NR, válvula que inmediatamente después del paso de la onda de choque, se abrirá (ver figuras 3.1 a) y b)), ya que la presión en el extremo inferior (= $P_{atm} + \rho g H + \rho c v_1$) será sustancialmente más grande que la presión en el extremo superior (= $P_{atm} + \rho g H$). No sólo eso, sino que, además, dado el enorme gradiente de presión a uno y otro lado de esta válvula, en el momento en que se abra, se generará una segunda onda de choque que partirá desde la válvula de NR hacia el depósito de alimentación, y recorrerá la tubería de alimentación inmediatamente después de la primera onda y acompañándola a muy poca distancia. Esta onda de choque se encontrará con un fluido en reposo a una alta presión, y tras de sí lo dejará con algo menos de presión, y una velocidad v_2 , positiva (es decir, hacia la bomba de ariete), pero menor que la que tenía inicialmente.

Utilizando la ecuación de Joukowski de las variaciones de presión y la velocidad provocada por esta onda de choque secundaria se obtiene:

$$(\Delta P)' = -\rho c(\Delta v)'' = -(\rho c v_2 - \rho c 0) = \rho c(-v_2) \quad (3.11)$$

Estas dos ondas de choque se pueden interpretar como una sola, ya que comprenden la misma magnitud y dirección, por lo tanto, al simplificar se obtiene:

$$(\Delta P)_1 = (\Delta v)' + (\Delta v)'' = v_1 - v_2 \quad (3.11)$$

La variación de presión de la primera onda de choque se expresa como

$$(\Delta P)_1 = \rho g(h' - H) \quad (3.12)$$

Donde $P = \rho g h'$, entonces al reemplazar en (3.9) y tomando la disminución de la velocidad asociada por la ecuación se concluye que:

$$(\Delta P)_1 = \frac{(h' - H)g}{c} = \frac{h'_0 g}{c}$$

Teniendo $h'_0 = (h' - H)$, se tiene la ecuación que nos proporcionará la velocidad en la tubería de alimentación al finalizar esta fase 2, esto es, v_2

$$v_2 = v_1 - \frac{h'_0 g}{c} \quad (3.13)$$

Para determinar el tiempo de duración de la fase 2, al conocer la distancia entre las válvulas ($L-L_2$), se tiene:

$$t_2 = \frac{L-L_1}{c} \sim 0 \quad (3.14)$$

3.1.3. Análisis de fase 3

Para el cálculo de la fase 3, la cual se entiende como la ida del fluido en la cual recorre la totalidad de la tubería de alimentación, se establece un tiempo (L_1/c) desde el comienzo de la fase 3, la presión presentará un desequilibrio ya que su velocidad será $-V_1$ calculando el incremento de presión al golpe de ariete. Esta segunda onda de choque por el contrario provoca una disminución de la presión devolviendo la presión inicial al fluido de entrada, para lo cual se emplean las ecuaciones (3.9) y (3.10), como se indica a continuación:

$$(\Delta v)_1 = \frac{h'_{0g}}{c} \quad (3.15)$$

y un aumento de presión

$$(\Delta P)_1 = \rho g h'_{0} \quad (3.16)$$

Cuando esta onda haya recorrido en su totalidad la tubería de alimentación y llegue al depósito de alimentación (en un tiempo L_1/c desde el comienzo de la fase 3) desaparecerá y nos encontraremos por un momento ante un gran desequilibrio de presión, ya que la presión en la tubería ahora será mayor que la que hay en el depósito. Este desequilibrio provocará una segunda onda de choque de la misma magnitud que la primera, pero en dirección contraria, volviendo de nuevo por la tubería de alimentación hacia la válvula de choque. Esta segunda onda de choque provoca una disminución de la presión (volviendo el fluido dentro de tubería de entrada a su presión inicial), y una nueva reducción de la velocidad, por lo que el fluido que deje tras de sí tendrá ahora una velocidad

$$v_1 - 2(\Delta v)$$

Al reemplazar estas variables en dichas ecuaciones, se genera un nuevo cambio de presión menor que el de la fase 2.

$$(\Delta P)_1 = \rho g(h_0'') = h - H + \frac{m(v_1 - 2(\Delta v)_1 - (\Delta v)_2)}{2g} \quad (3.17)$$

Este proceso de ida y vuelta se repetirá N veces cada vez con una onda más débil, cuando la última onda al número N genere una disminución de onda de tan solo.

$$(\Delta v)N \approx \frac{(h-H)g}{c} \quad (3.18)$$

Para simplificar, asumiremos que todas las ondas que se generan llevan la misma variación de presión.

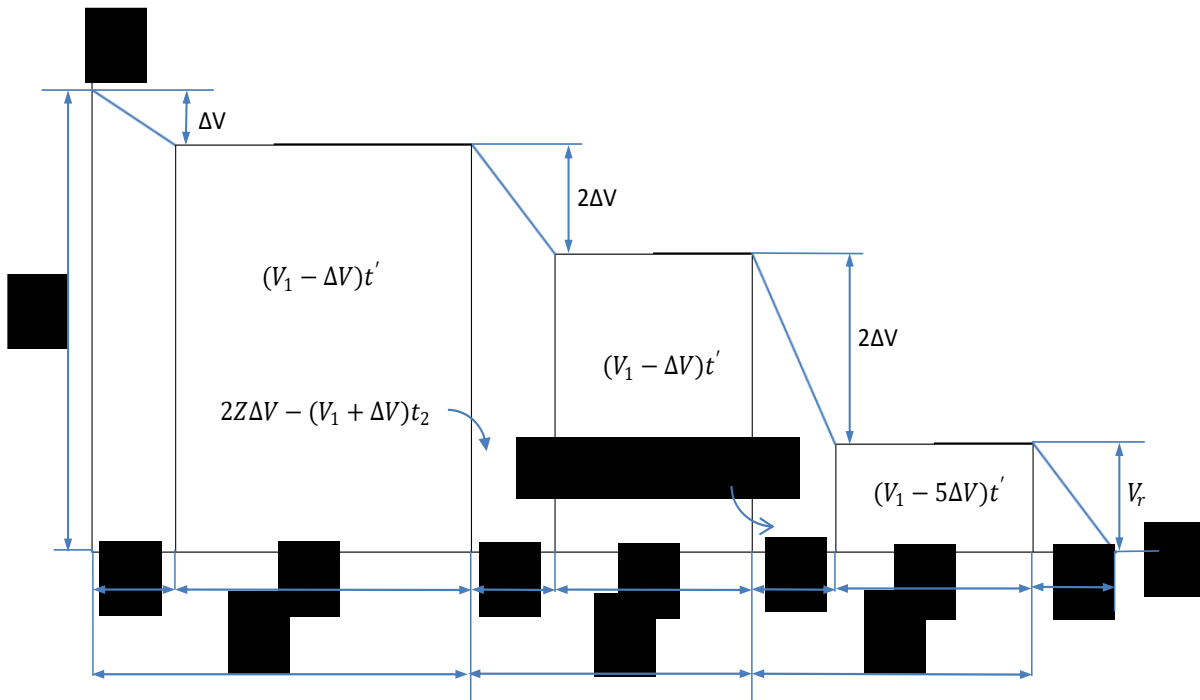
$$\overline{\Delta P} = \rho g \left(h - H + \frac{m(v_1 - \Delta v)}{4g} \right) \quad (3.19)$$

Y una variación de velocidad

$$\overline{\Delta v} = \frac{g}{c} \left(h - H + \frac{m(v_1 - \Delta v)}{4g} \right) \quad (3.20)$$

Para aclarar y facilitar la comprensión de los procesos que tienen lugar en esta fase, la Figura 3-2 representa el tiempo y la velocidad del agua en el extremo final de la tubería de alimentación durante las fases 2 y 3

Figura 3-2: Gráfica velocidad vs tiempo (proceso ida-vuelta, tubería)



Nombre de la fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la figura 3-2, una vez generado $N-1$ ondas de ida y vuelta, se tiene una velocidad restante V_r , menor que Δv y el tiempo de disipación será t_r menor que t_2 .

Con los datos que se tienen, se puede afirmar que la variación media de velocidad será de:

$$\Delta v = \frac{g}{c} \left(h - H + \frac{m(v_1 - \Delta v)}{4g} \right) = \frac{4g(h - H) + mv_1}{4a + m}$$

Como el número de veces que la onda pasa por la tubería es un numero entero, se puede acotar en dos valores cuya diferencia es ≤ 1

$$\frac{v_1 - \overline{\Delta v}}{2\Delta v} < N \leq \frac{v_1 + \overline{\Delta v}}{2\Delta v}$$

3.2. Análisis de campo

3.2.1. Datos de Campo y de la Instalación

Dentro de los datos iniciales para el análisis en campo e instalación se tienen los siguientes valores:

$$\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$H = 1 \text{ m}$$

$$h = 0.3 \text{ m}$$

$$L = 250 \text{ m}$$

$$D = 0.0508 \text{ m}$$

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

$$A = \frac{\pi * 0.0508^2}{4} = 0.00202 \text{ m}^2$$

$$S_o = 0.5 \text{ m}$$

De donde:

H= Altura del reservorio de agua

h= Altura donde se quiere llevar el agua

L= Longitud que recorre el agua por el sistema

D=Diámetro de la tubería

A= Área de la tubería por donde pasa el agua

So=distancia entre el final de la tubería en fase 1 a la válvula de choque

Con respecto al tamaño de la bomba de ariete este se calcula a partir de diámetro de la tubería de la fase 1 y el caudal

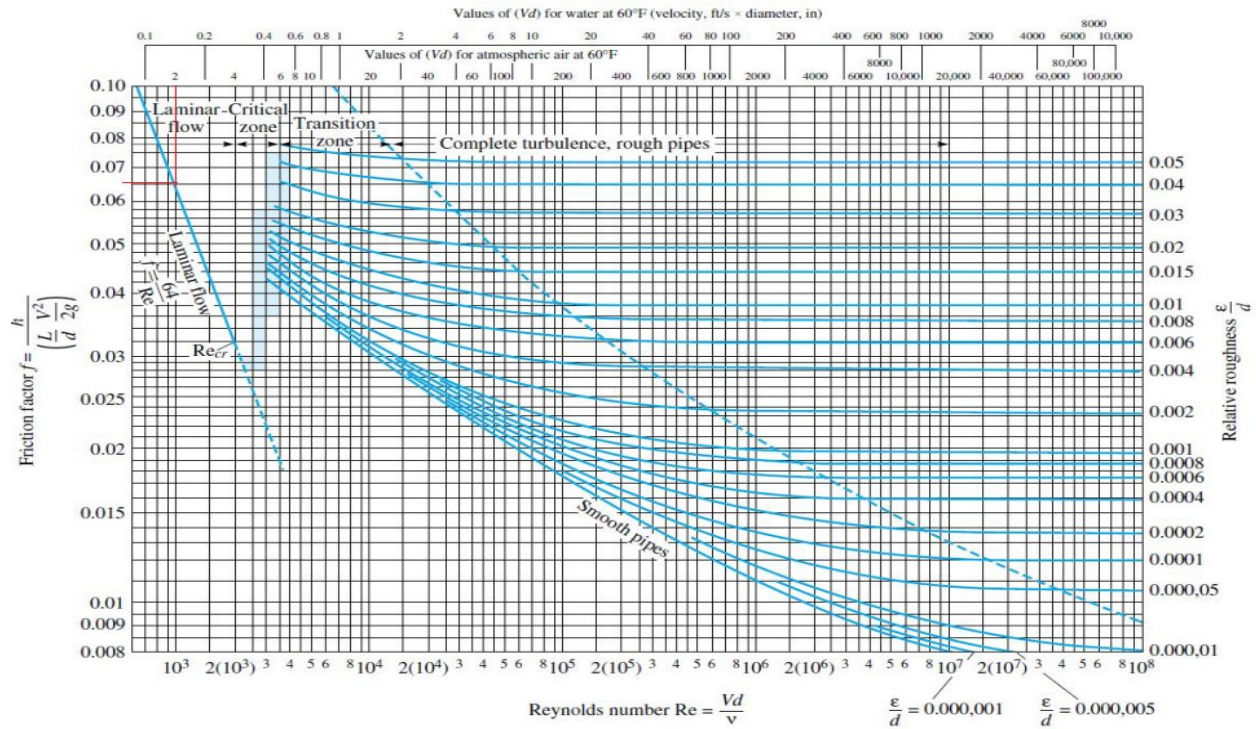
3.2.2. Procesamiento de variables calculadas y estimadas

Como el valor de la constante que determina la aceleración de la válvula de choque cerrándose es:

$$J = 2 \text{ m/s}^2$$

Se determina el coeficiente de fricción de la tubería de alimentación (f), para lo cual se empleará el diagrama de Moody, el cual proporciona este coeficiente en función del número de Reynolds de nuestro fluido y de la rugosidad relativa de la tubería. Para las pérdidas por fricción de la tubería se observa el diagrama de Moody y se interpreta el factor f .

Figura 3-3: Diagrama de Moody para determinar pérdidas por fricción [30]



Nombre de la fuente: Frank White

$$f = 0.065$$

Se despeja el coeficiente de pérdidas debido a elementos irregulares de la tubería de alimentación K

Tabla 3-1: Valores del coeficiente de pérdidas, K, para válvulas abiertas, codos y téis [31]

	Nominal diameter, in									
	Screwed				Flanged					
	1/2	1	2	4	1	2	4	8	20	
Valves (fully open):										
Globe	14	8.2	6.9	5.7	13	8.5	6.0	5.8	5.5	
Gate	0.30	0.24	0.16	0.11	0.80	0.35	0.16	0.07	0.03	
Swing check	5.1	2.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
Angle	9.0	4.7	2.0	1.0	4.5	2.4	2.0	2.0	2.0	
Elbows:										
45° regular	0.39	0.32	0.30	0.29						
45° long radius					0.21	0.20	0.19	0.16	0.14	
90° regular	2.0	1.5	0.95	0.64	0.50	0.39	0.30	0.26	0.21	
90° long radius	1.0	0.72	0.41	0.23	0.40	0.30	0.19	0.15	0.10	
180° regular	2.0	1.5	0.95	0.64	0.41	0.35	0.30	0.25	0.20	
180° long radius					0.40	0.30	0.21	0.15	0.10	
Tees:										
Line flow	0.90	0.90	0.90	0.90	0.24	0.19	0.14	0.10	0.07	
Branch flow	2.4	1.8	1.4	1.1	1.0	0.80	0.64	0.58	0.41	

Nombre de la fuente: Luís Pérez.

El coeficiente de pérdidas K de nuestra tubería de alimentación será la suma de los coeficientes de todos los elementos de la misma

$$K = 6.9 + 0.95 + 1.4 = 9.25 \text{ m/s}^3$$

$$j = \frac{f \cdot L}{D} + 1 + K \tag{3.20}$$

Al reemplazar los valores en (3.13), se tiene:

$$j = \frac{0.065 \cdot 250 \text{ m}}{0.508 \text{ m}} + 1 + 9.25 = 42.23$$

$$M = 100 \text{ m/s}$$

$$v_0 = 0.98 \text{ m/s}$$

Para despejar la velocidad de ida de choque, se emplea el valor de la temperatura medida por termómetro de mercurio, la cual es de 30°.

Para el cálculo del valor de la velocidad de transmisión de la onda de choque en el fluido (c) se debe tener en cuenta el material de la tubería de alimentación, su radio y su espesor, así como las características del fluido que circule por su interior, que normalmente será agua dulce.

Como se trabaja con agua dulce, los valores de ρ y ε pueden encontrarse en la figura 3-5, en función de la temperatura de trabajo.

Figura 3-4: Propiedades físicas del agua dulce a presión atmosférica. [31]

Temperaturas T °C	Masa específica ρ Kg/m ³	Peso específico γ N/m ³	Viscosidad dinámica μ Ns/m ²	Viscosidad cinemática		Tensión superficial (agua – aire) σ N/m	Tensión de vapor h metros de columna de agua a 4 °C	Módulo de elasticidad ε N/m ² (valores aprox.)
				U= μ / ρ				
				m ² /s	cSt			
0	999,9	9809,02	1776 x 10 ⁻⁶	1,78 x 10 ⁻⁶	1,78	0,07564	0,062	19,52 x 10 ⁸
4	1000,0	9810,00	1570 x 10 ⁻⁶	1,57 x 10 ⁻⁶	157	0,07514	0,083	
10	999,7	9807,06	1315 x 10 ⁻⁶	1,31 x 10 ⁻⁶	1,31	0,07426	0,125	20,50 x 10 ⁸
20	998,2	9792,34	1010 x 10 ⁻⁶	1,01 x 10 ⁻⁶	1,01	0,07289	0,239	21,39 x 10 ⁸
30	995,7	9767,82	824 x 10 ⁻⁶	0,83 x 10 ⁻⁶	0,82	0,07122	0,433	21,58 x 10 ⁸
40	992,2	9733,48	657 x 10 ⁻⁶	0,66 x 10 ⁻⁶	0,66	0,06965	0,753	21,68 x 10 ⁸
50	988,1	9693,26	549 x 10 ⁻⁶	0,56 x 10 ⁻⁶	0,56	0,06769	1,258	21,78 x 10 ⁸
60	983,2	9645,19	461 x 10 ⁻⁶	0,47 x 10 ⁻⁶	0,47	0,06632	2,033	21,88 x 10 ⁸
80	971,8	9533,39	363 x 10 ⁻⁶	0,37 x 10 ⁻⁶	0,37	0,06259	4,831	
100	958,4	9401,90	275 x 10 ⁻⁶	0,29 x 10 ⁻⁶	0,29	0,05896	10,333	

Nombre de la fuente: Luís Pérez.

Por último, para el cálculo del valor de la velocidad de transmisión de la onda de choque en el fluido (c) tendremos que tener en cuenta el material de la tubería de alimentación, su radio y su espesor, así como las características del fluido que circule por su interior, que normalmente será agua dulce. A partir de estos datos, y mediante los cálculos correspondientes de mecánica de fluidos La celeridad se define según Pérez, como la velocidad de propagación de una onda de presión a través del agua contenida en la tubería; esta se determina mediante la ecuación (3.21), se la siguiente manera:

$$c = \left[\frac{\rho}{\varepsilon} + \frac{\rho}{E} \left(\frac{2r}{e} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.21)$$

De donde:

ρ : Densidad del fluido.

ε : Módulo de elasticidad volumétrica del fluido.

E : Módulo de Young del material de la tubería.

r : radio de la tubería.

e : espesor de la tubería.

$$c = \left[\frac{995.7}{21.58 * 10^8} + \frac{995.7}{20 * 10^{-10}} \left(\frac{2 * 0.254}{0.03} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$c = [4.613 * 10^{-7} + 1.686 * 10^{13}]^{\frac{1}{2}}$$

$$c = 4106 \text{ m/s}$$

Reemplazando estos valores en la ecuación (3.7), se tiene:

$$t_1 = \sqrt{2 \frac{S_0}{J}}$$

$$t_1 = \sqrt{2 \frac{0.5}{2 \text{ m/s}_2}} = 0.707 \text{ s}$$

$$\alpha_6 = \frac{\frac{2 \cdot g \cdot H}{j} - v_0^2}{2 \frac{L}{j}}$$

$$\alpha_6 = \frac{\frac{2 * 9.81 m/s^2 * 1}{42.23} - 0.98 m/s^2}{2 \frac{250 m}{42.23}}$$

$$\alpha_6 = -0.0435 \frac{m}{s^2}$$

Para hallar velocidad en fase 1 empleamos la ecuación (3.5), de donde se tiene:

$$v_1 = v_0 + \frac{\alpha_6 \cdot t_1^2}{2}$$

$$v_1 = 0.98 m/s + \frac{4.35 * 10^{-4} \cdot 0.707 s^2}{2}$$

$$v_1 = 0.979 m/s$$

Para calcular el caudal se emplea la ecuación (3.8):

$$Q_1 = A * \left(v_0 \cdot t_1 + \frac{\alpha_6 \cdot t_1^2}{2} \right)$$

$$Q_1 = 0.202 m^2 * \left(0.98 \frac{m}{s} * 0.707 s + \frac{4.35 * 10^{-4} * 0.707 s^2}{2} \right)$$

$$Q_1 = 0.1399 m^3/min$$

De acuerdo con lo anterior al realizar la proyección de litros entregados por la bomba de ariete al mes se tiene:

Caudal entregado bomba ariete: $0.1399 m^3/min$

Proyección de caudal por día: $8,394 m^3/Hr$

Proyección caudal mes /5 horas de trabajo: $1.259 m^3 / 5 Hr$

Al realizar la Conversión de metro cubico a litros se obtiene: $1.259.100 L$

Si la demanda Agua del proyecto/mes es de: $330.000 L/mes$

Demanda proyecto/ caudal proyectado entregado/mes bomba ariete 26%

Por lo tanto, se cubre perfectamente la demanda proyectada con la bomba ariete, quedando un teórico de 74% de recurso para suministro a otras actividades.

Aumento de velocidad en fase 1

$$\Delta v = \frac{4 \cdot g(h - H) + M \cdot v_1}{4c + M}$$

$$\Delta v = \frac{4 * \frac{9.81m}{s^2} (0.3m - 1m) + 100 \frac{m}{s} * 0.979 m/s}{4 * 4106 m/s + 100 \frac{m}{s}}$$

$$\Delta v = 4.26 * 10^{-3} m/s$$

Para la fase 2

$$v_2 = v_1 - \Delta v$$

$$v_2 = 0.979 \frac{m}{s} - 4.26 * 10^{-3} \frac{m}{s} = 0.974 m/s$$

$$t_2 = 0$$

$$N = constante = 8$$

Para la fase 3, partimos de la ecuación (3.17)

$$v_3 = v_1 - (2N - 1)\Delta v$$

$$v_3 = 0.979 \frac{m}{s} - (2 * 8 - 1)4.26 * 10^{-3} \frac{m}{s} = 0.059 m/s$$

$$v_r = v_1 - (2N - 1)\Delta v$$

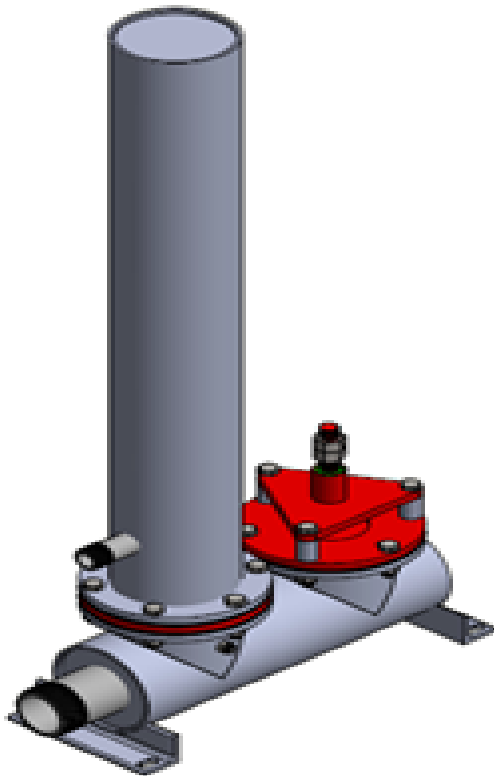
$$v_r = 0.979 \frac{m}{s} - (2 * 8 - 1)4.26 * 10^{-3} \frac{m}{s}$$

$$v_r = 0.059 m/s$$

Capítulo 4: Simulación

El siguiente capítulo muestra las simulaciones a partir del método de Von Mises realizadas al tanque, la válvula de impulso y la válvula de no retorno; los elementos descritos se sometieron a esfuerzo, desplazamiento máximo y factor de seguridad a partir de la presión inicial; para ello se empleó el software Autodesk Inventor versión 2021 como se indica en la figura 4-1; a partir del método de análisis estático.

Figura 4-1: Prototipo Bomba ariete



Nombre de la fuente: Elaboración propia.

4.1. Análisis de prototipos actuales

Para la selección del prototipo se tuvieron en consideración los siguientes criterios extractados de bombas de ariete diseñadas según el estado del arte y analizados en la tabla 4-1 como se indica a continuación:

Tabla 4-1: Prototipos de bomba de ariete según estado del arte

Ítems	Lizana	Rossi	Twyman	Cadena	Julca
Tubería empleada	PVC clase 10	PVC	Cobre	PVC	PVC
Válvula cierre	Tipo bola	Mariposa Water Concéntrica avk	Mariposa Water Concéntrica avk	válvula de mariposa	válvula de mariposa
Válvula de seguridad	Válvula de clapeta	Mariposa Water retención clapeta partida	Válvula de globo	Mariposa Water retención clapeta partida	Válvula de globo
Material	Acero galvanizado	Acero galvanizado con cobre	Cobre	Acero galvanizado	Acero galvanizado
Costo fabricación	Bajo	Elevado	Elevado	Bajo	Bajo
eficiencia	78%	45%	47%	64%	45%
Capacidad tanque aire	60 a 80 Galones	30 a 40 galones	40 a 50 Galones	20 a 30 galones	50 a 60 galones
Caudal entregado	300 L/h	1.200 L/h,		150 L/min	
vida útil	7 años	10 años	15 años	14 años	1o años

Fuente: Autor

De acuerdo con la tabla 4-2 en donde se relacionan las diferentes características de la bomba de ariete, es importante precisar que en la mayoría de los prototipos emplean material acero galvanizado para el diseño de la bomba, ya que este presenta altas propiedades de anticorrosión; en lo que respecta a la válvula de cierre de los prototipos analizados existe una tendencia al uso de las tipo mariposa, ya que dentro de sus características más notables están su bajo peso y fácil mantenimiento y su gran resistencia mecánica, fuera de ser un producto de alta comercialización y disponibilidad en el mercado.

En lo que respecta a la válvula de seguridad, el tipo clapeta ofrece una alta capacidad para aliviar un aumento de la presión interna del fluido; otro aspecto se relaciona a su bajo costo.

4.2. Simulación De Tanque

Para poder simular se debe establecer la presión inicial, a partir de la columna de agua dada por la ecuación (4.1), de donde:

ρ = Densidad

h =Altura

g = Gravedad

$$P = \rho \cdot h \cdot g \quad (4.1)$$

$$P = 1000 \frac{Kg}{m^3} \cdot 1m \cdot 9.81m/s^2$$

$$P = 9810 Kg/m^2$$

Según el artículo “Evaluación del rendimiento del ariete hidráulico bah1.1/2 variando la longitud de la tubería de alimentación y condiciones de operación de la válvula de impulso”, la eficiencia mínima de una bomba de ariete está en un 33% de la columna de agua generada por la caída del reservorio [32].

De acuerdo con lo anterior, la presión dentro de la bomba de ariete y por ende la de todos los elementos es la siguiente.

$$P_{bomba} = P * 1.33$$

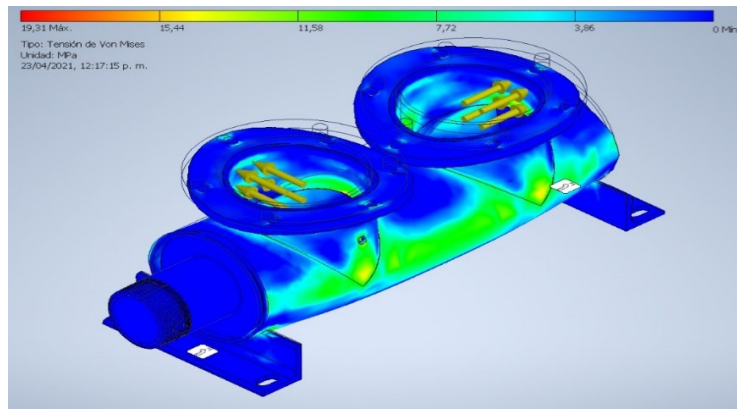
$$P_{bomba} = 9810 Kg/m^2 * 1.33$$

$$P_{bomba} = 13047.3 Kg/m^2$$

Estos mismos valores serán empleados para realizar las simulaciones de la válvula de impulso y de no retorno ya que en las fases se maneja la misma presión y el mismo diámetro de tubería.

4.1.1. Análisis de esfuerzo

Para la realización de la simulación de esfuerzo máximo, el método utilizado es el de Von Mises o la máxima energía de distorsión, es cual es un criterio de resistencia estática, aplicado a materiales dúctiles. De acuerdo con lo anterior el esfuerzo máximo del chasis se representa en la figura 4-1

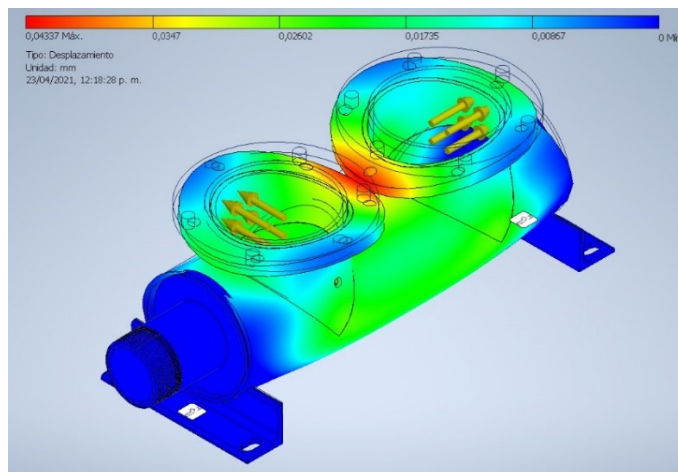
Figura 4-2: Esfuerzo máximo de tanque.

Nombre de la fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el análisis por elementos finitos ilustrado en la figura 4-1, se presentan los esfuerzos aplicados sobre el tanque al someterse a condiciones extremas; este valor es de 19.31 Mpa y se concentra en la parte externa media del tanque indicado por el color verde.

4.1.2. Análisis de desplazamiento

El análisis de desplazamiento mediante el método de Von Mises, indica el estiramiento que posee el material al aplicarle o someterlo a una carga, lo que indica si se puede cizallar o no en su funcionamiento, este valor máximo permitido debe ser menor a 1; la figura 4-2 indica el desplazamiento que sufre el chasis al aplicarle máximas cargas.

Figura 4-3: Análisis de desplazamiento de tanque.

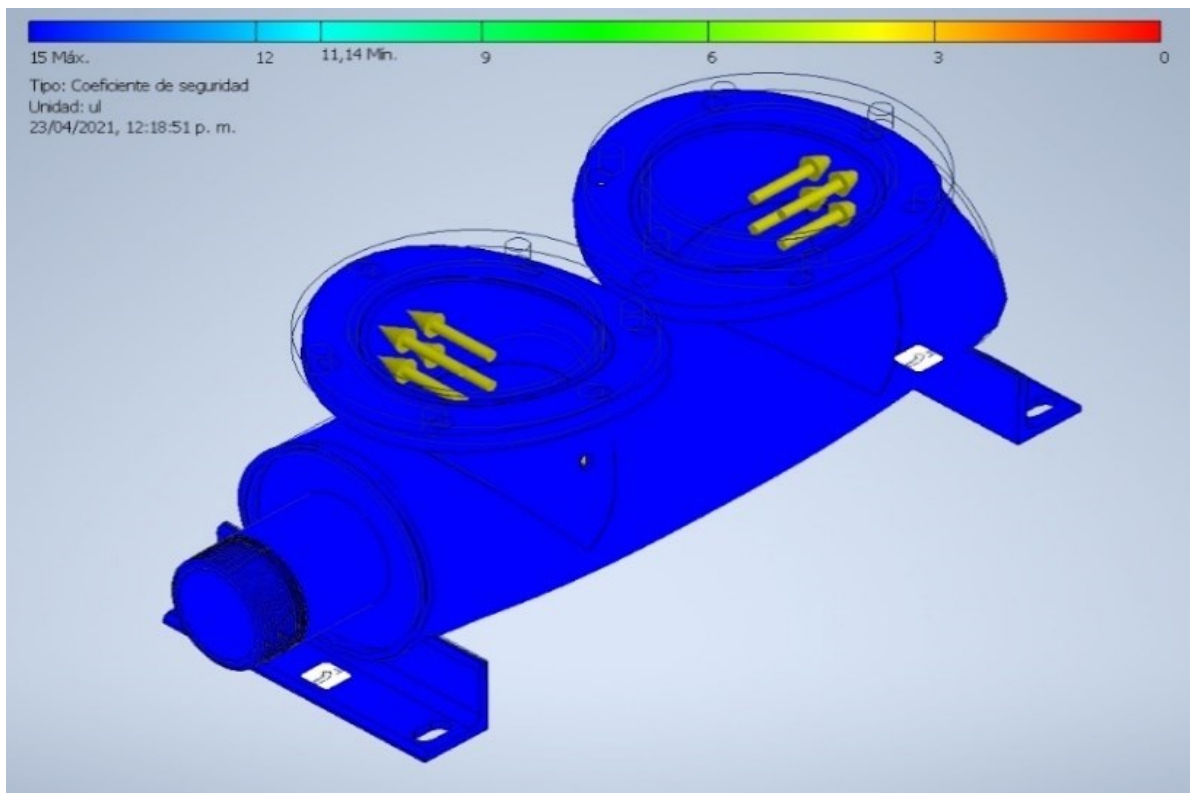
Nombre de la fuente: Elaboración propia.

Todas las estructuras o componentes se deforman, al ser cargadas, y el cambio de configuración geométrica hace que sus puntos experimenten pequeños desplazamientos, como se observa en la figura 4-2; los colores rojos corresponden a los valores máximos de desplazamiento y los que se acercan a la gama de color azul son los mínimos; de acuerdo a esto el desplazamiento máximo que puede sufrir el material del conjunto tanque en condiciones de operación extremas es de 0.04 mm, sin embargo este resultado no pone en riesgo la operatividad del tanque.

4.1.3. Análisis de factor de seguridad

El factor de seguridad según el método de Von Mises debe ser superior a 1 para que el diseño del tanque sea aceptable y confiable en cuanto a la tensión o fuerza máxima, es decir que al calcular este valor debe estar por encima de este parámetro para establecer que el componente analizado cumple con las condiciones de cargas a las que se somete sin presentar deformación que afecte el funcionamiento del mismo.

Figura 4-4: Factor de seguridad material del tanque.



Nombre de la fuente: Elaboración propia.

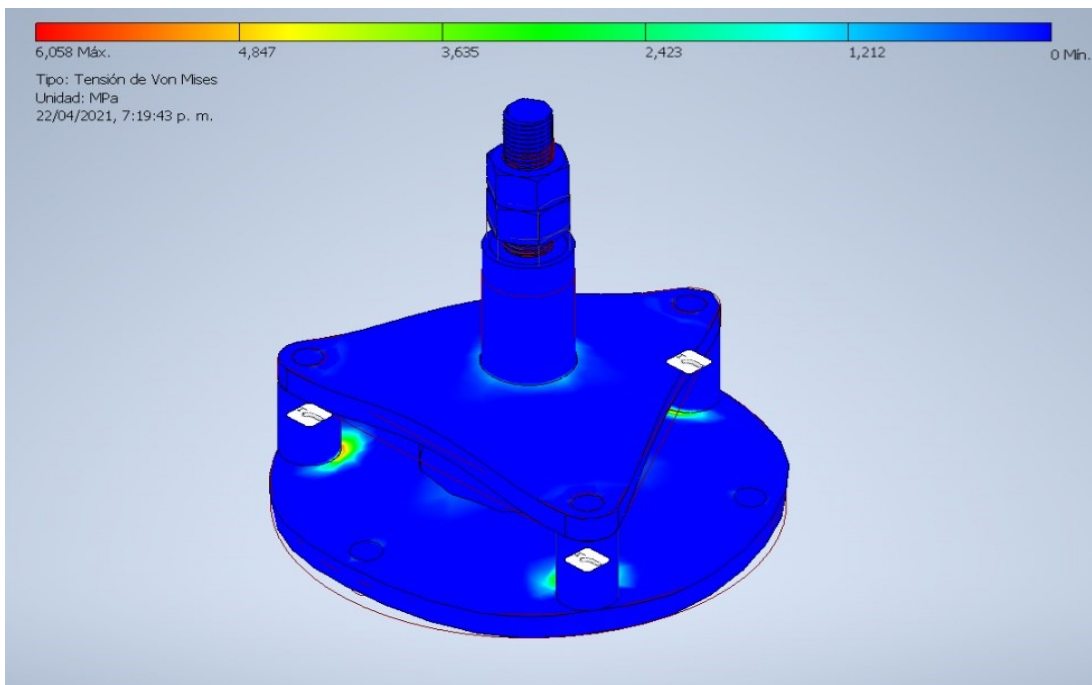
Bajo estas cargas, el coeficiente de seguridad es de 11.14; lo que nos da a conocer que el chasis cumple sus condiciones de diseño, ya que dicho valor es mayor a 1; por lo tanto, según Shigley (16), no ofrece riesgos de deformación y cizallamiento.

4.2. Simulación de la válvula de impulso

4.2.1. Análisis de esfuerzo válvula de impulso

Para la realización de la simulación se empleará el método de Von Mises, también llamado criterio de la máxima energía de distorsión, es un criterio de resistencia estática, aplicado a materiales dúctiles. De acuerdo con lo anterior el esfuerzo máximo del tambor se representa en la figura 4-4

Figura 4-5: Análisis de esfuerzo de válvula de impulso.



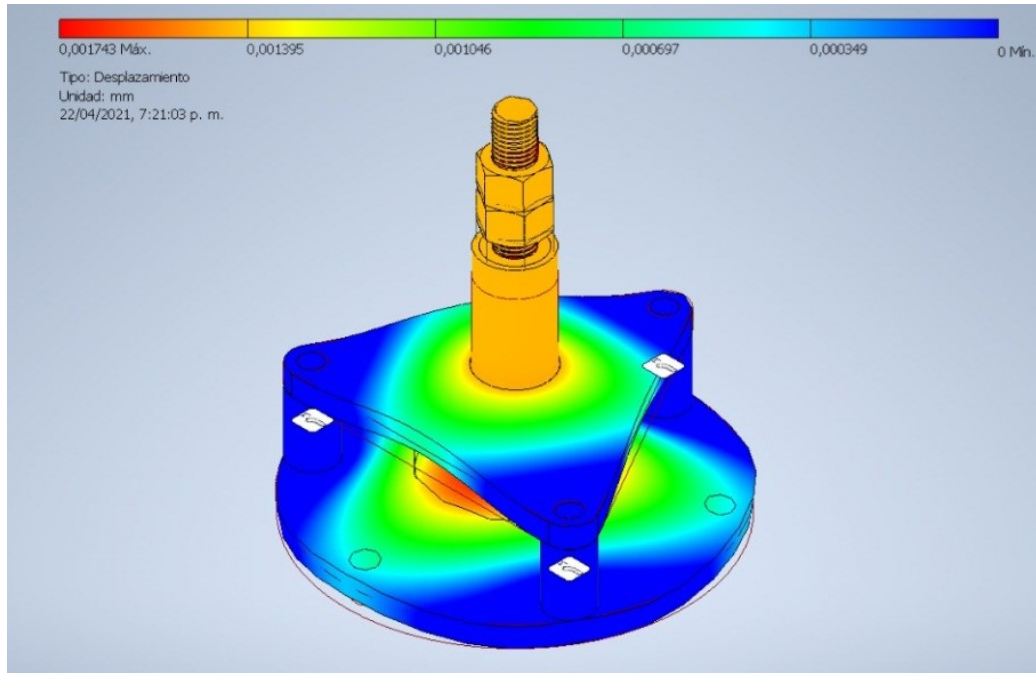
Nombre de la fuente: Elaboración propia.

El esfuerzo máximo generado bajo esta presión de la bomba sobre la válvula es de 6.058 MPa, y se concentra en la geometría de los espaciadores que separan el soporte de la base de la misma, esto se puede evidenciar con el color en verde y amarillo en las respectivas bases; la válvula no presenta riesgo de cizallamiento por tensión, por ende, puede operar en condiciones normales, lo cual es bueno y valida su operatividad.

4.2.2. Análisis de desplazamiento de válvula de impulso

El análisis de desplazamiento mediante el método de Von Mises, indica la cantidad de estiramiento que sufre un objeto o material al aplicarle o someterlo a una carga, lo que indica si se puede cizallar o no en su funcionamiento; la figura 4-5 indica el desplazamiento que sufre el tambor al aplicarle máximas cargas.

Figura 4-6: Análisis de desplazamiento de válvula de impulso.

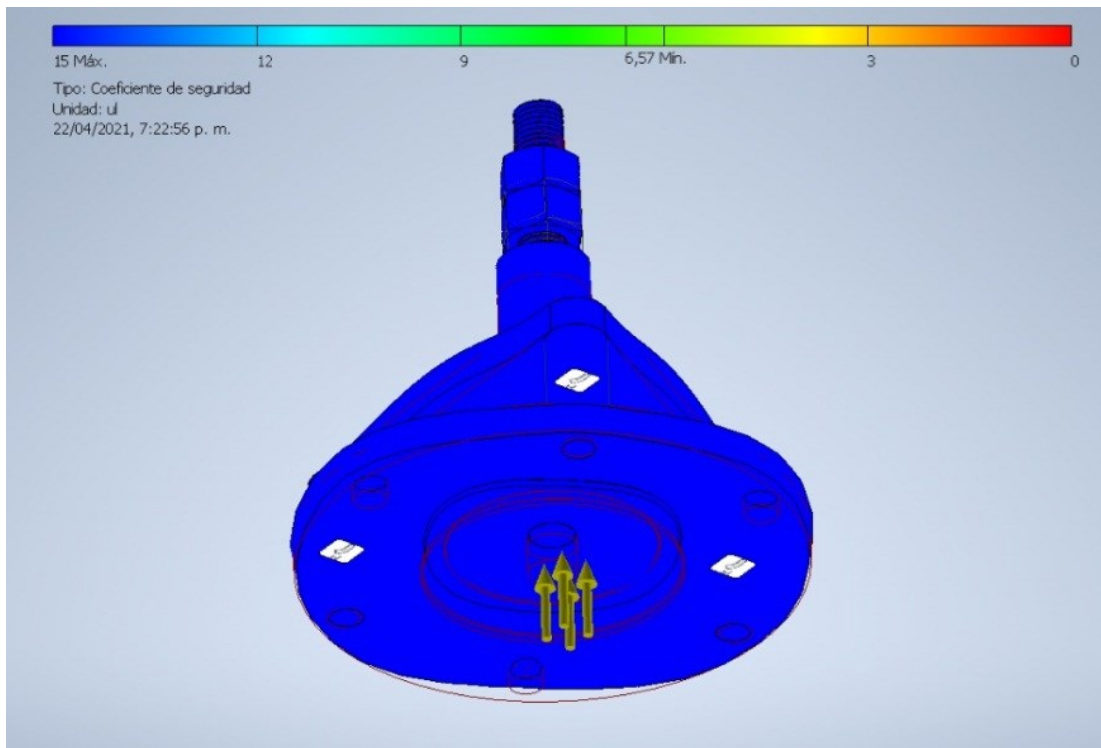


Nombre de la fuente: Elaboración propia.

El desplazamiento máximo sobre el material del conjunto es de 0.001 mm, este desplazamiento máximo se puede observar mediante el color rojo en la base del conjunto de la válvula, el soporte y la superficie en el diámetro exterior; sin embargo, no representa riesgo de cizallamiento o fractura del material para su funcionamiento.

4.2.3. Análisis de factor de seguridad de válvula de impulso

Figura 4-7: Factor de seguridad válvula de impulso.



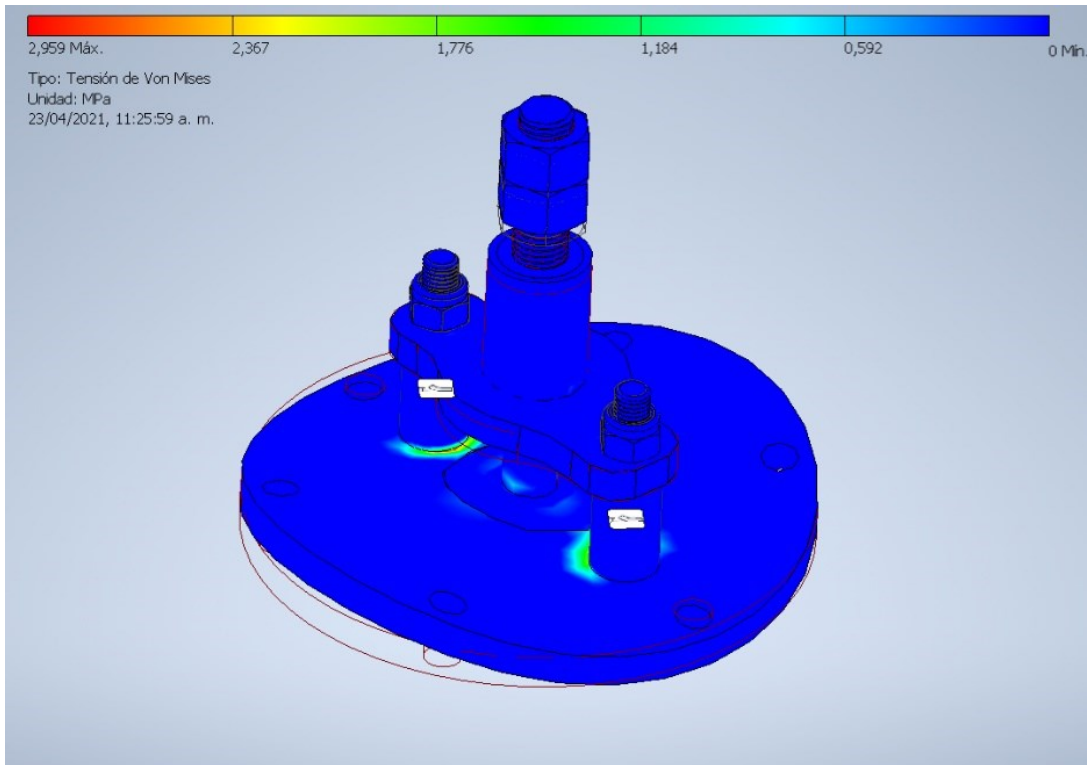
Nombre de la fuente: Elaboración propia.

El factor de seguridad de la pieza se es de 6.57, quiere decir que soporta 6,57 veces la carga a la que se está sometiendo; de acuerdo con lo anterior se concluye que la pieza cumple satisfactoriamente las condiciones de carga y puede desempeñar su trabajo sin problemas.

4.3. Simulación de la válvula de no retorno

4.3.1. Análisis de esfuerzo de válvula de no retorno

El análisis de esfuerzo mediante el método de Von Mises, indica la cantidad de estiramiento que sufre un objeto o material al aplicarle o someterlo a una carga, lo que indica si se puede cizallar o no en su funcionamiento; la figura 4-7 indica el desplazamiento que sufre el tambor al aplicarle máximas cargas.

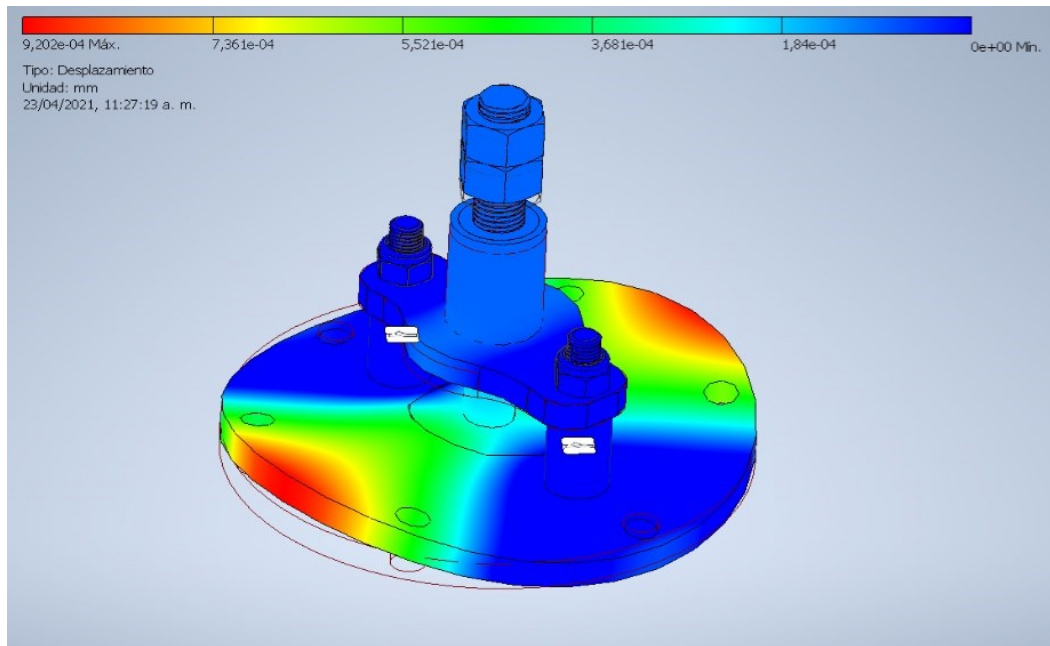
Figura 4-8: Esfuerzo máximo de válvula de no retorno.

Nombre de la fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la figura 4-7, se puede analizar que la presión a la cual estará sometida la válvula es de 13047 Kg/m², los materiales de construcción de esta válvula se hicieron en AISI 304 ya que estos poseen resistencia. Los puntos de concentración son en la base del espaciador y la superficie del acople de la válvula dado que en estos puntos sirven de apoyo y ensamble; el esfuerzo máximo generado bajo esta presión, sobre la válvula es de 2.96 Mpa.

4.3.2. Análisis de desplazamiento de válvula de no retorno

El análisis de desplazamiento mediante el método de Von Mises, indica la cantidad de estiramiento que sufre un objeto o material al aplicarle o someterlo a una carga, lo que indica si se puede cizallar o no en su funcionamiento; la figura 4-8 indica el desplazamiento que sufre la válvula de no retorno, al aplicarle máximas cargas.

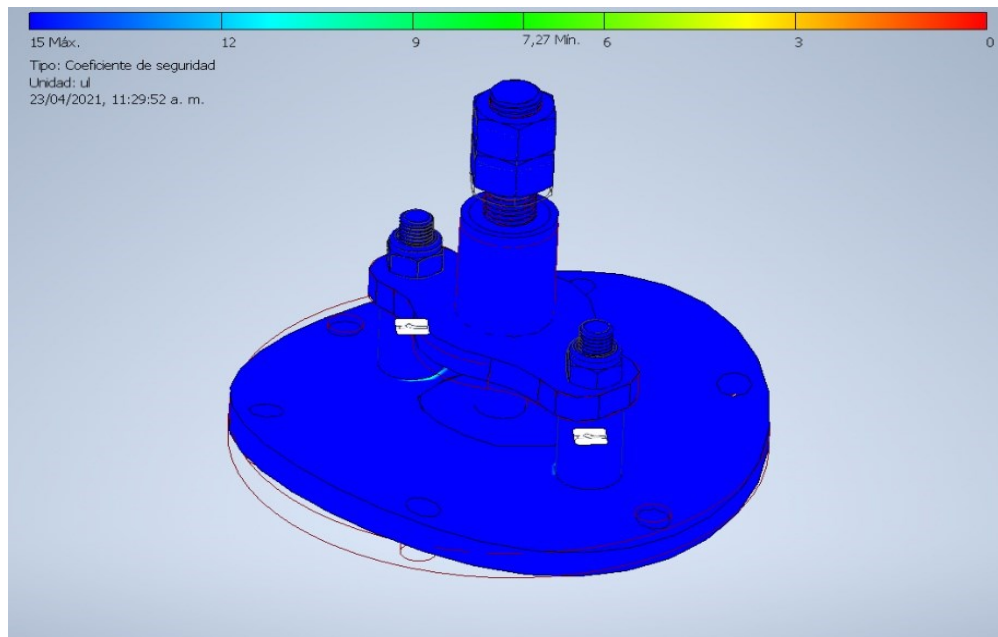
Figura 4-9: Desplazamiento máximo de válvula de no retorno.

Nombre de la fuente: Elaboración propia.

El desplazamiento máximo sobre el material del conjunto es de 0.00092 mm, este desplazamiento máximo se puede observar mediante el color rojo, en su diámetro exterior; sin embargo, no representa riesgo de cizallamiento o fractura del material para su funcionamiento.

4.3.3. Análisis de factor de seguridad

El factor de seguridad según el método de Von Mises debe ser superior a 1 para que el diseño sea aceptable y confiable en cuanto a la tensión o fuerza máxima, es decir que al calcular este valor debe estar por encima de este parámetro, para identificar que el componente analizado cumple con las condiciones de cargas a las que se somete sin presentar deformación la cual afecta el funcionamiento de la pieza y la operación.

Figura 4-10:Factor de seguridad válvula de no retorno.

Nombre de la fuente: Elaboración propia.

El factor de seguridad de la pieza se es de 7,27, quiere decir que soporta 7,27 veces la carga a la que se está sometiendo. En conclusión, se puede afirmar que la pieza cumple satisfactoriamente las condiciones de carga y puede desempeñar su trabajo sin problemas.

4.4. Comparativos costos de comprar bomba centrifuga vs bomba ariete

De acuerdo con este epígrafe, es importante establecer o identificar los beneficios que trae consigo cualquier solución a nivel de ingeniería; y mas si se contempla el hecho de mantener los sistemas productivos actuales y futuros de la finca El Manantial; esto implica la toma de decisiones asociadas a mantener el suministro de agua en la finca; por un lado la compra de una nueva bomba centrifuga de mayor capacidad, podra garantizar un suministro de agua a partir de los reservorios existentes en la finca y de donde actualmente se toma el agua; sin embargo en tiempo de verano la producción de agua baja, por ende la bomba tiene que entrar a hacer un mayor trabajo y por ende una mayor probabilidad de desgaste de sus piezas, sin contar con el consumo de energía; es

viable esta decisión, pero como se ha visto existen incrementos de costos y de trabajo de la bomba que reducen su vida útil; a lo que se suma la adecuación locativa de los actuales reservorios, como se indica en la figura 4-11.

Figura 4- 11: Reservorio actual para suministro de agua en la finca El Manantial



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el diseño de una bomba de ariete se considera a partir de las características ya mencionadas a lo que se suma contar con un suministro continuo entregado por el afluente San Isidro; por otro lado se debe agregar que los mantenimientos de este tipo de bomba no son de costo elevado; con respecto a su mantenimiento no es especializado y el mismo propietario lo puede realizar, lo cual va en contravía de una bomba centrífuga, que requiere en muchas ocasiones la presencia de un técnico especializado para realizarlo y el cual por la condición de trabajar en zona rural, podría retrasar la actividad de mantenimiento; de acuerdo con la investigación realizada desde el punto de vista del costo entre las dos bombas analizadas se tiene:

Tabla 4-2: Relación de costos de comprar bombas centrifugas vs bombas de ariete

Cotización electrobombas centrifugas.						
Potencia	Marca	Precio	Voltaje	Hmax	Qmax	Motor
1.0 Hp	Pearl	940.000	110/220	14 m	375 LPM	Monofásico
2.0 Hp	Pearl	3.450.000	110/220	22 m	450 LPM	Monofásico
3.0 Hp	Evans	4.650.000	220/440	26 m	660 LPM	Trifásico

Precio de bombas de ariete en proyectos.		
Proyecto.	País.	Costo total.
Diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico.	Perú.	4.776.966 COP
Construcción e instalación de una bomba de ariete hidráulico para alimentar el sistema de riego en un área definida para una finca agrícola.	Colombia	1.670.000COP

Precio bomba de ariete del mercado.		
Material	Capacidad de bombeo	Precio
Acero al carbono y tubería galvanizada	330 L/min	2.200.000

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar el comparativo entre las opciones de comprar una bomba de ariete el valor es mucho menor, lo que conlleva a establecer que definitivamente hay una conveniencia para el desarrollo del proyecto; esto se respalda por el hecho de que, al requerir una bomba de mayor potencia, claramente su valor aumenta; por otro lado, como se indicó en el numeral 3.2.1. el caudal suministrado por la bomba de ariete cumple con la demanda mensual proyectada, lo que hace viable para el dueño de la finca su implementación.

Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

Los criterios de diseño identificados en función de las necesidades de la finca son: demanda de agua futura (330.000 L/mes), la altura del reservorio (1 m), la velocidad del fluido en la tubería de alimentación, diámetro y coeficiente de fricción.

Se diseña un prototipo de bomba de ariete, el cual consta de un tanque de aire vertical en acero inoxidable AISI 304, una tapa, un nipple (3/4") y un flanche (165 mm) que se acopla mediante un sello y ajuste por tornillos hexagonales; una válvula de impulso que acopla al tanque de aire mediante flanche y sello. La bomba se diseñó a partir de las fases de ciclo del fluido en la tubería; la primera indica que la presión en la tubería se mantiene prácticamente constante hasta el momento en el que la válvula está casi totalmente cerrada; aquí el valor de la velocidad es de 0.979 m/s y el caudal Q es de 0.1399 L/min. La bomba trabara las 24 horas lo que garantiza el suministro de agua a la finca.

Para Simular y validar el correcto funcionamiento del prototipo se sometió el tanque de la bomba, así como la válvula de impulso y no retorno a esfuerzo, desplazamientos máximos mediante método de Von mises; los resultados indicaron que los elementos analizados pueden trabajar normalmente ya que los valores calculados se encuentran por debajo de los límites permisibles, haciéndolos seguros y confiables, lo que indica que estas cumplen satisfactoriamente las condiciones de carga y pueden desempeñar su trabajo sin problemas.

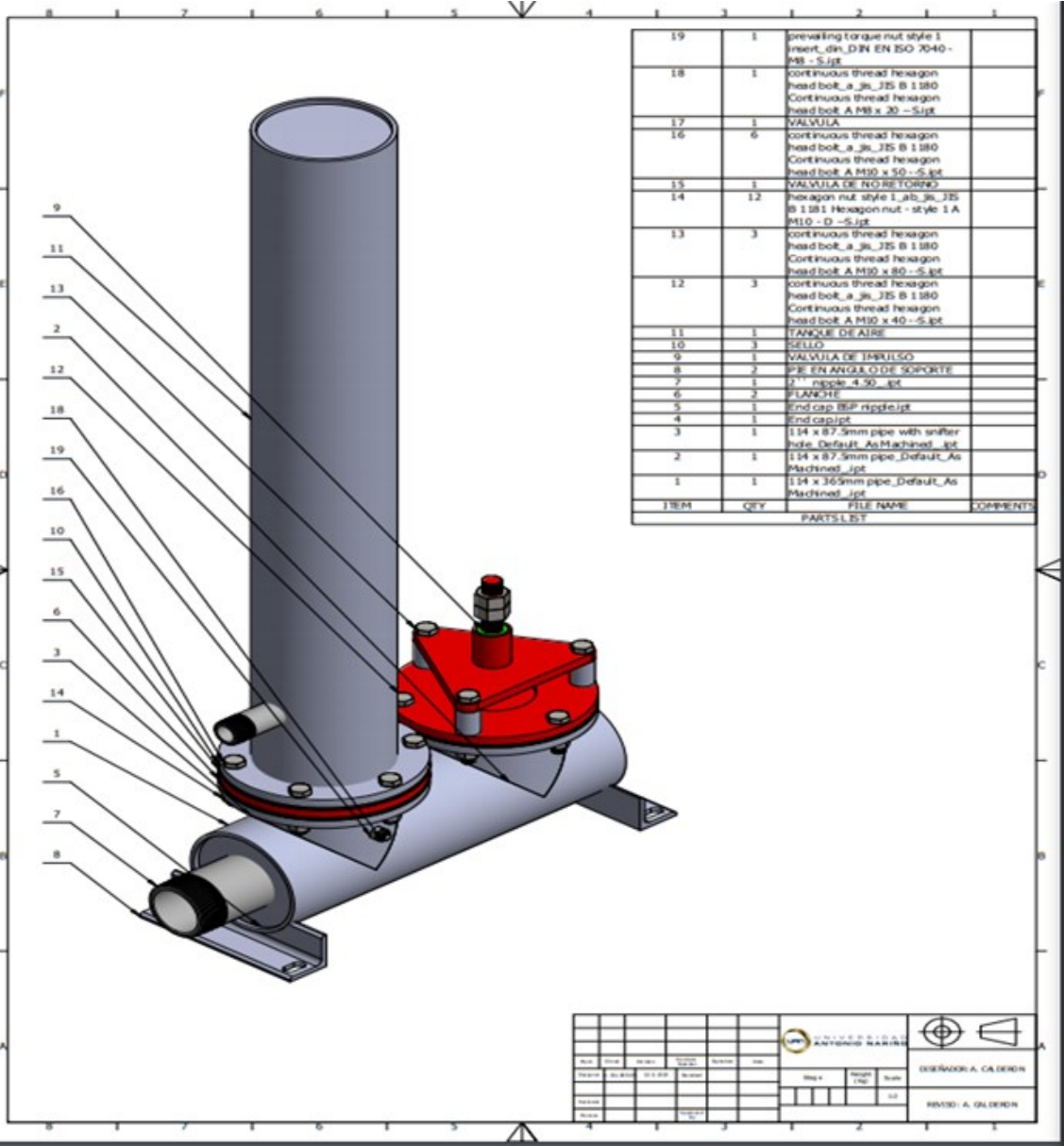
5.2. Recomendaciones

Modificar la válvula de choque de la bomba de ariete, cambiando la actual por una de pie de pozo modificada, de forma que se pueda variar manualmente el peso de la válvula, provocando que tarde más o menos en cerrarse, y así poder manejar algo las relaciones de caudales y rendimiento, escogiendo el peso más apropiado en caso de realizar el montaje. Esta modificación nos ayuda también a ampliar el rango de alturas de trabajo para las que la bomba podría funcionar sin que se cerrara definitivamente la válvula de choque.

Evaluar a futuro la implementación de materiales más livianos, que permitan tener mayor eficiencia de suministro.

Establecer un protocolo o lista de chequeo para evaluar mediante observación el estado de los elementos que componen la bomba, con el fin de establecer diagnósticos preventivos para la realización de mantenimientos.

A. Anexo A: Prototipo Bomba Ariete

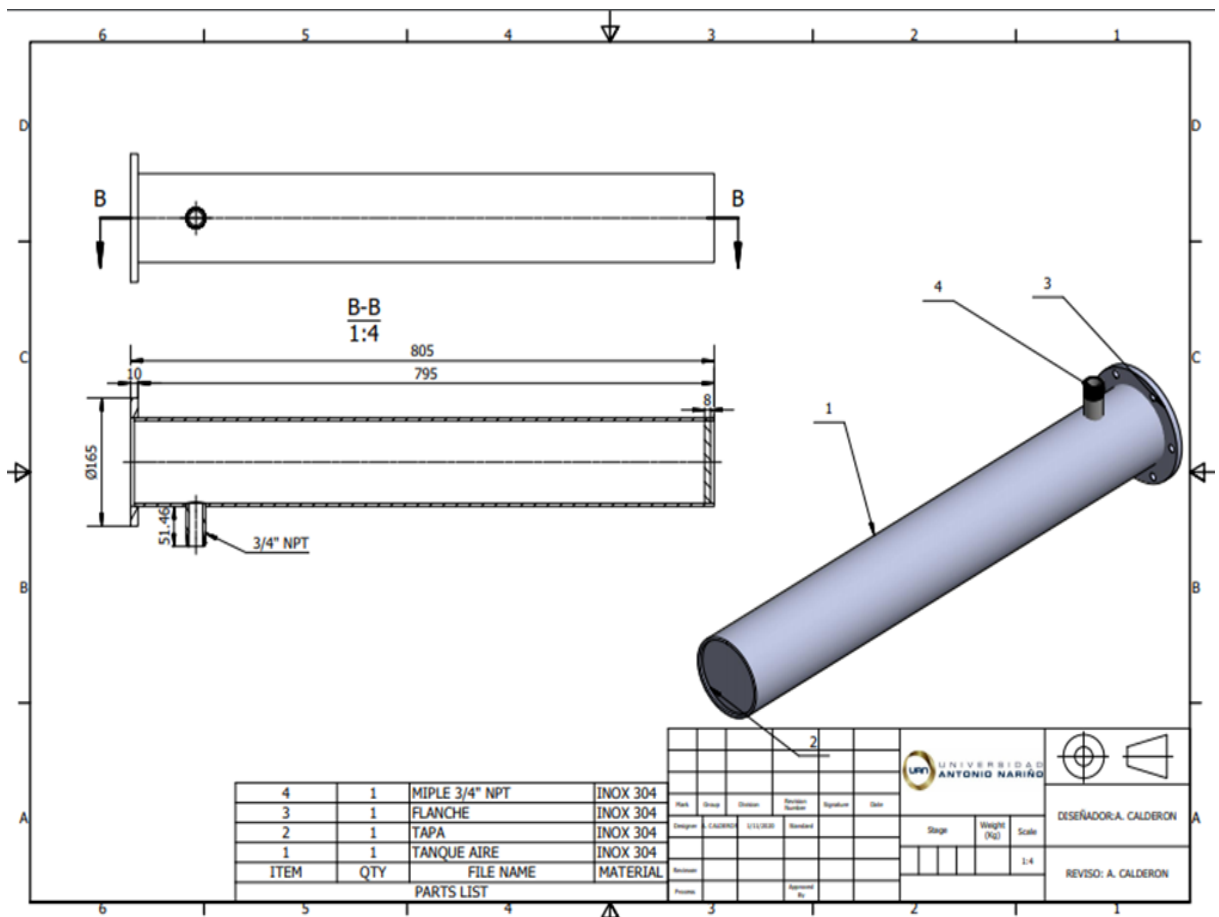


REV	DATE	BY	CHKD	APPROVED	DATE

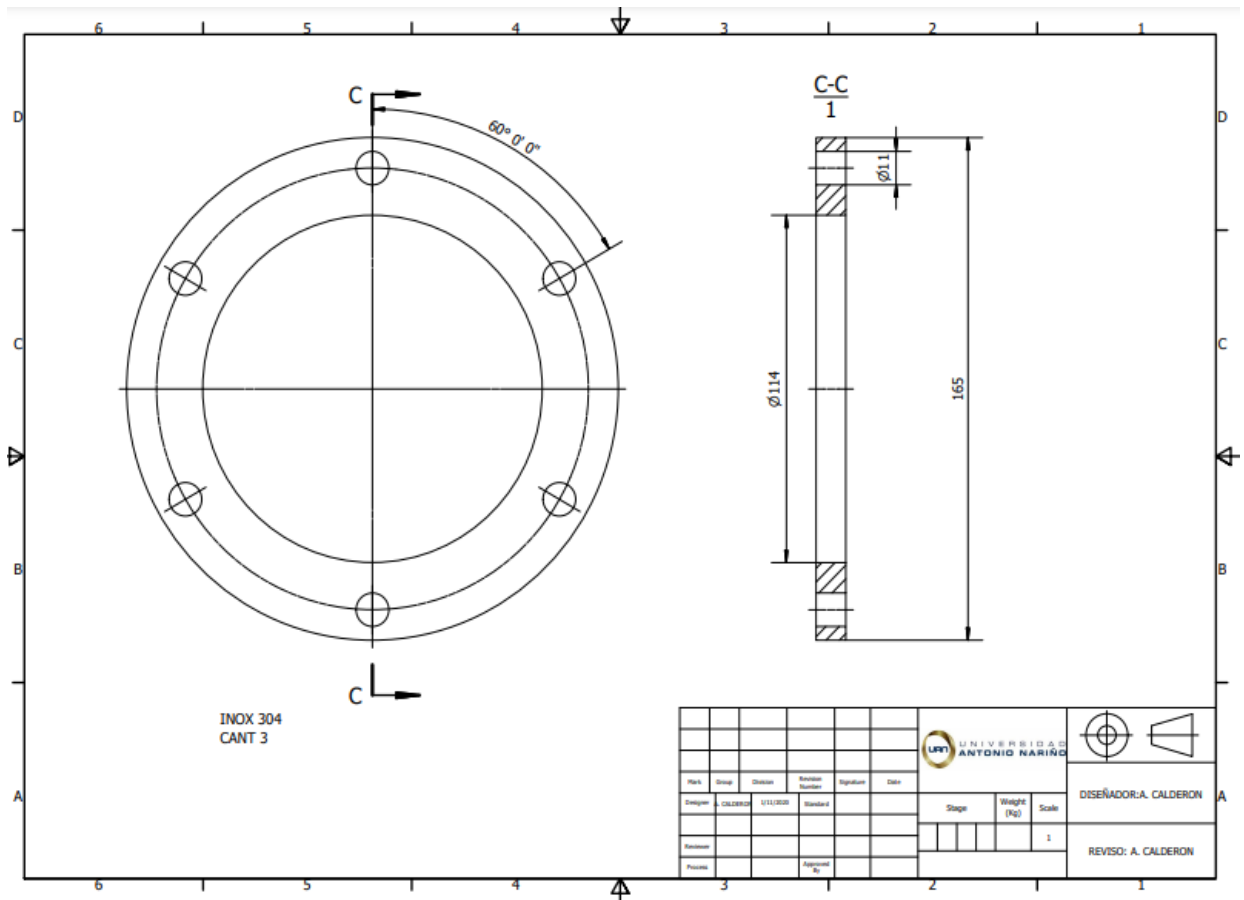
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUATEMALA

DISEÑADA: A. CALDERIN
REVISOR: A. CALDERIN

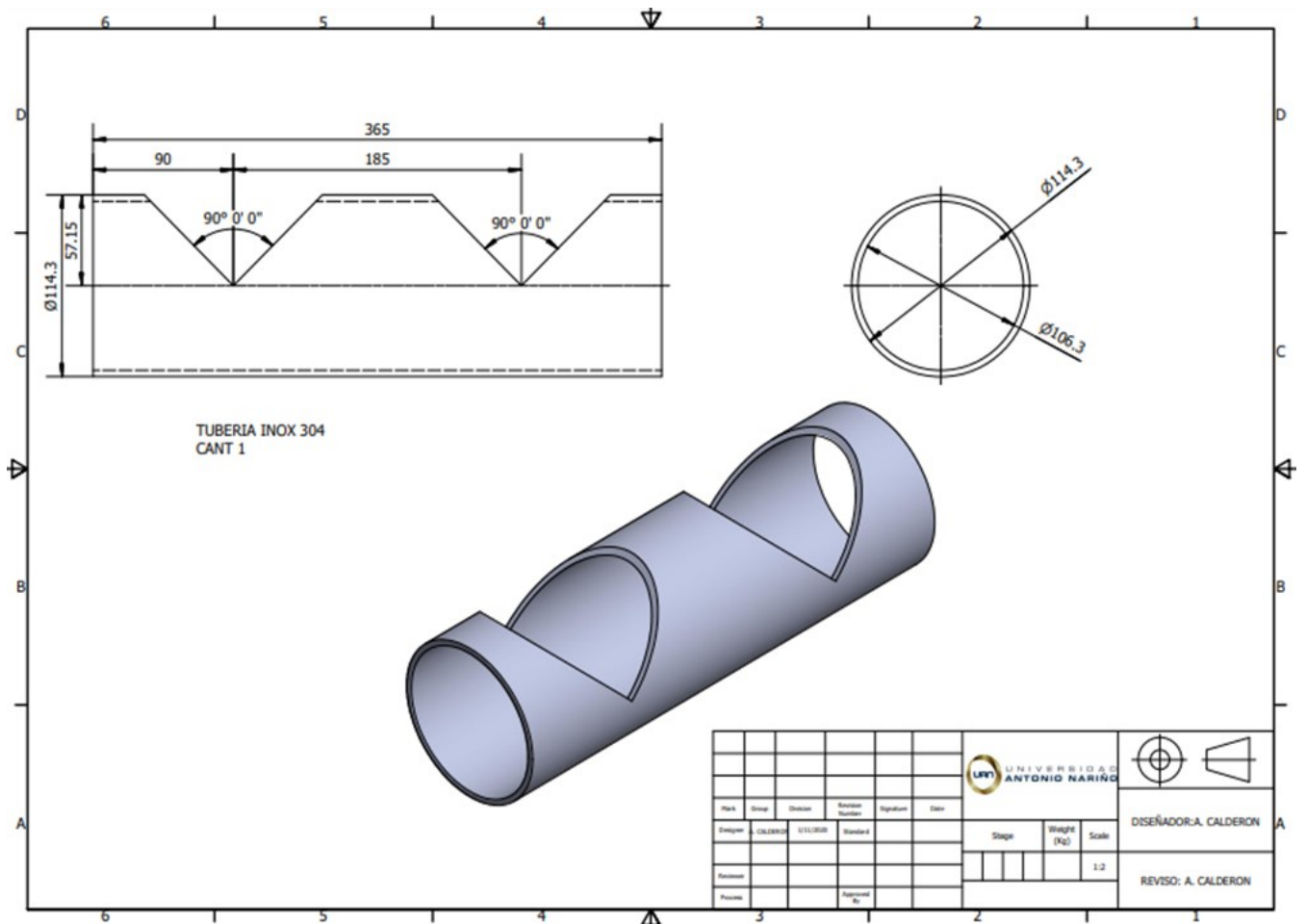
B. Anexo B: Tanque Aire



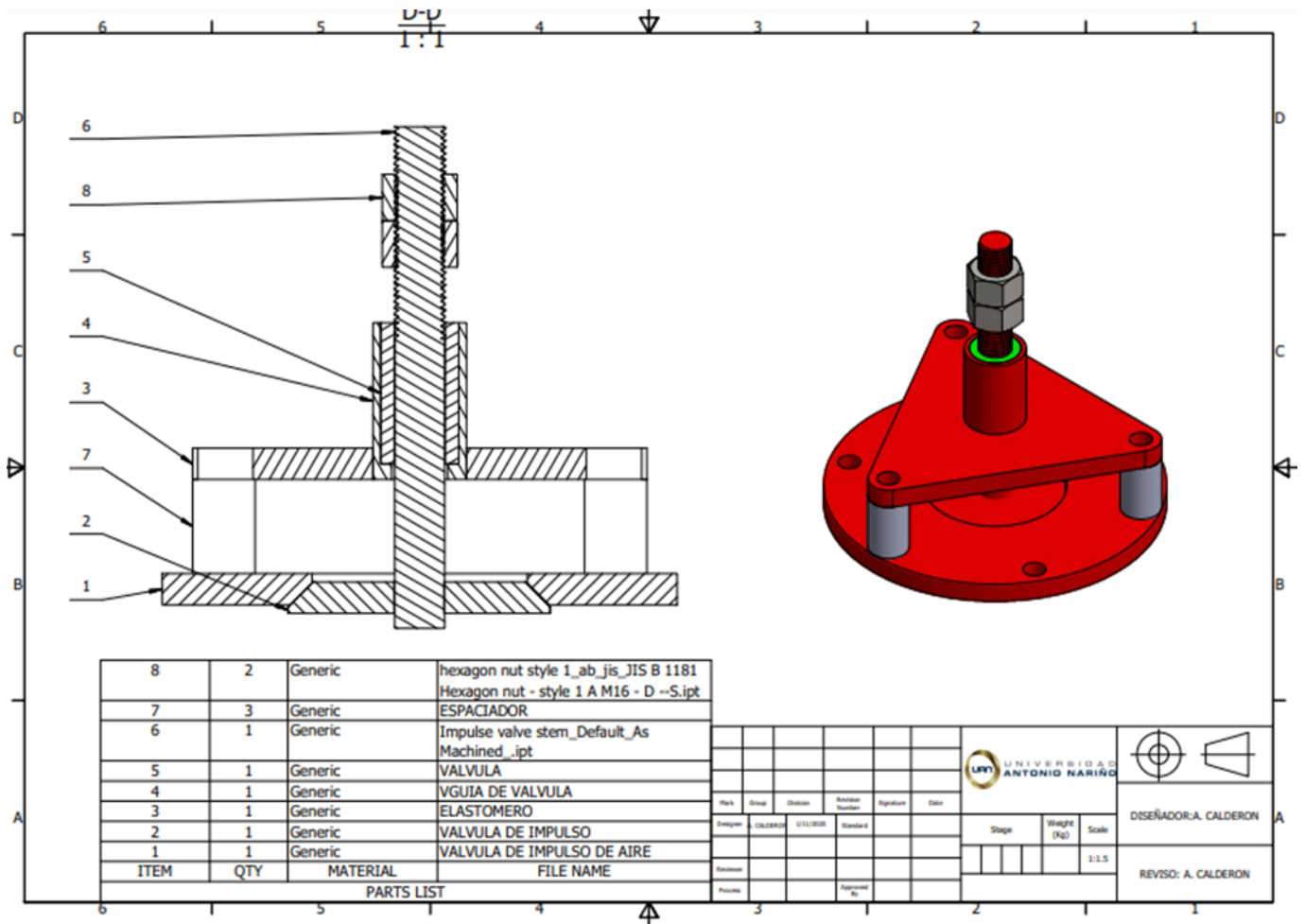
C. Anexo C: Vista vertical Tanque aire



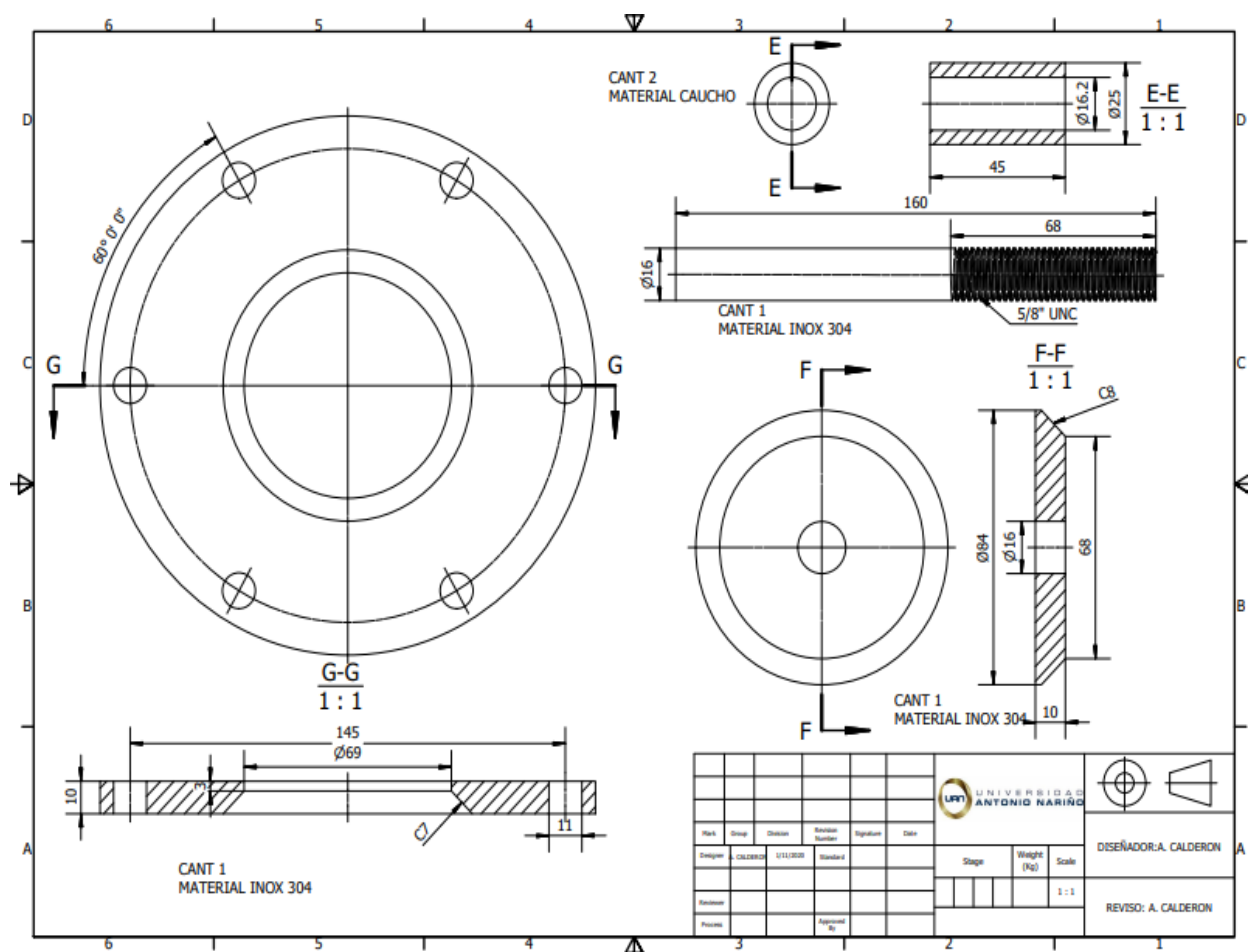
E. Anexo E: Nipple base Tanque aire



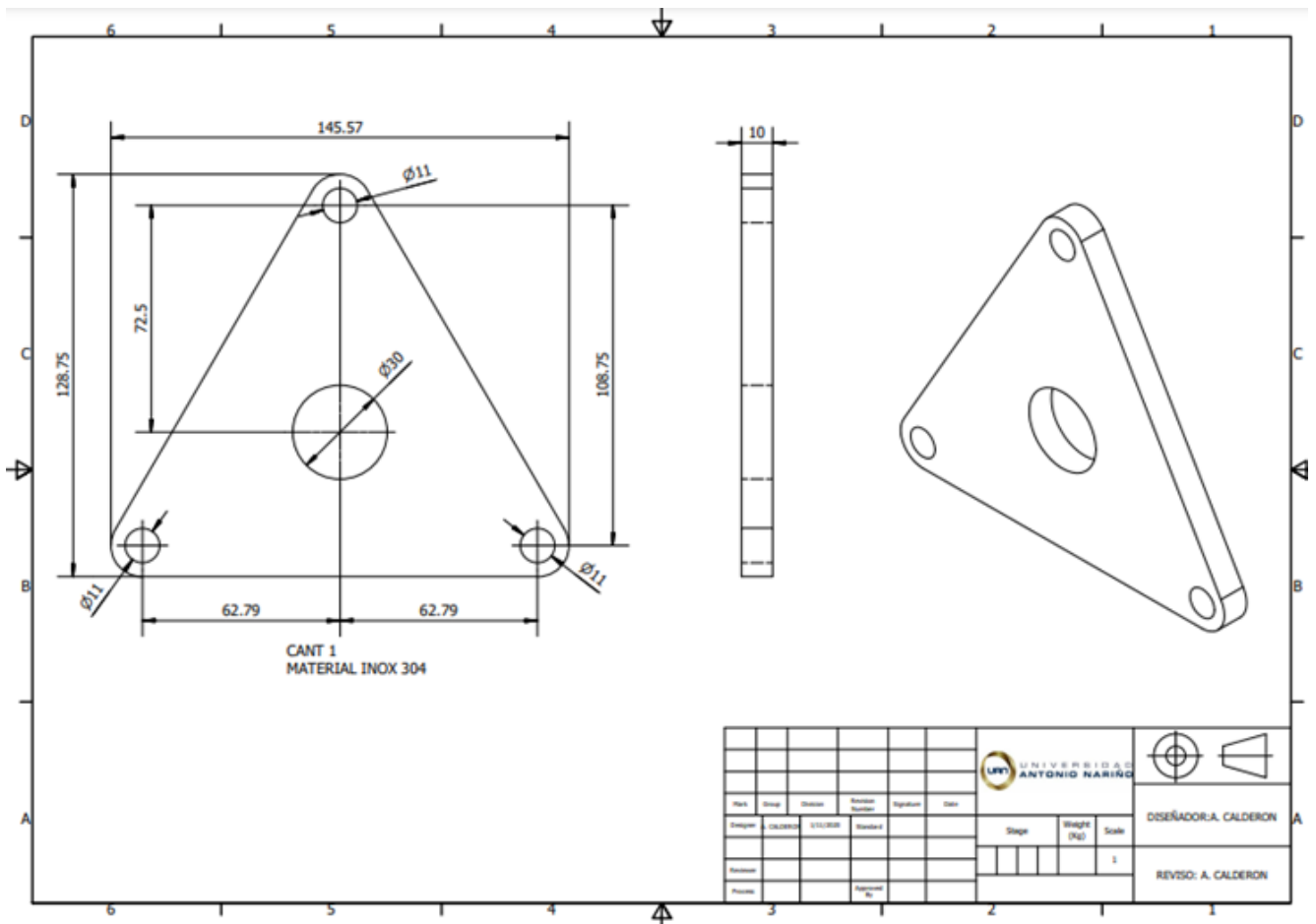
G. Anexo G: Válvula de impulso



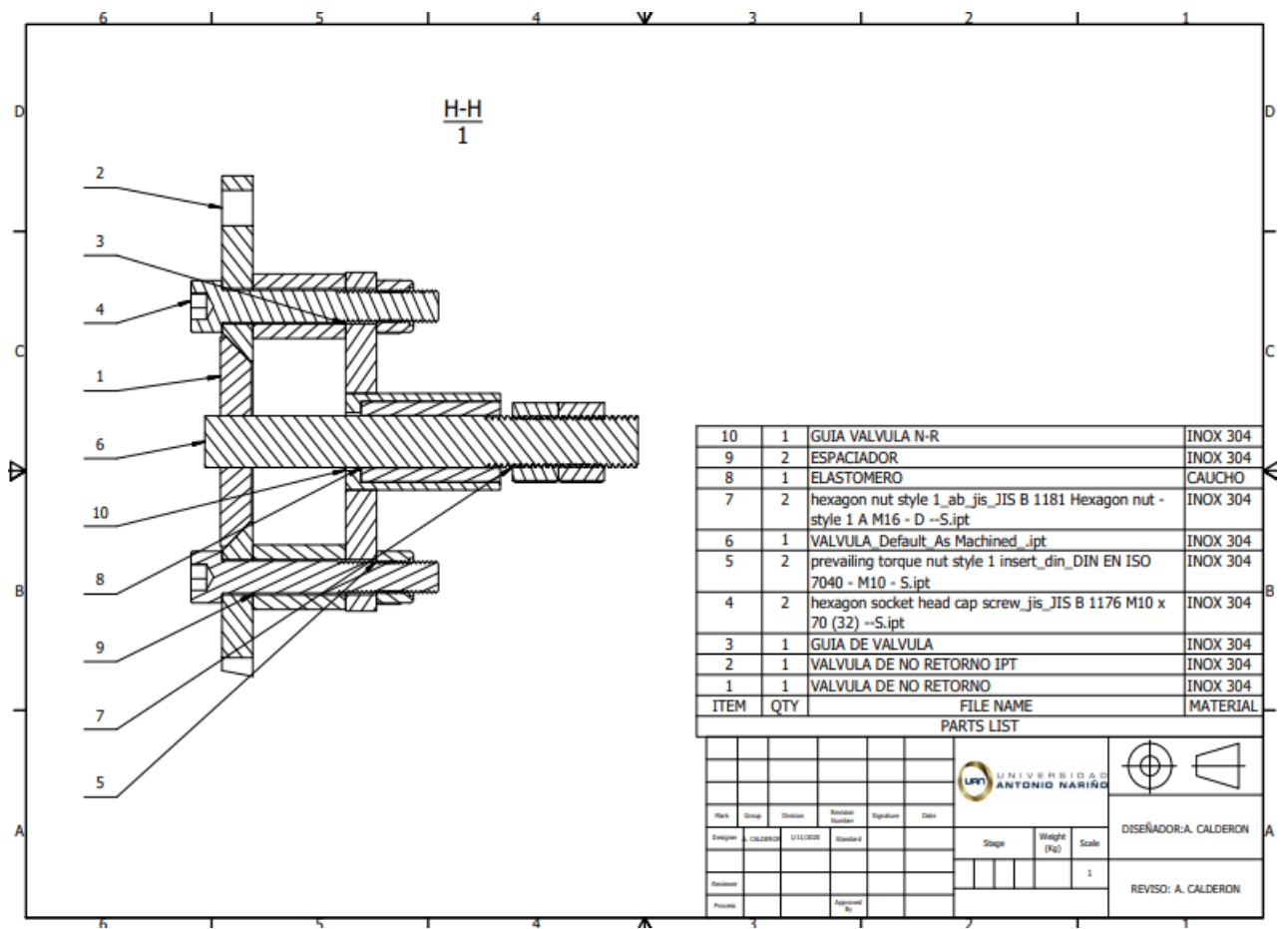
H. Anexo H: Vista frontal sello



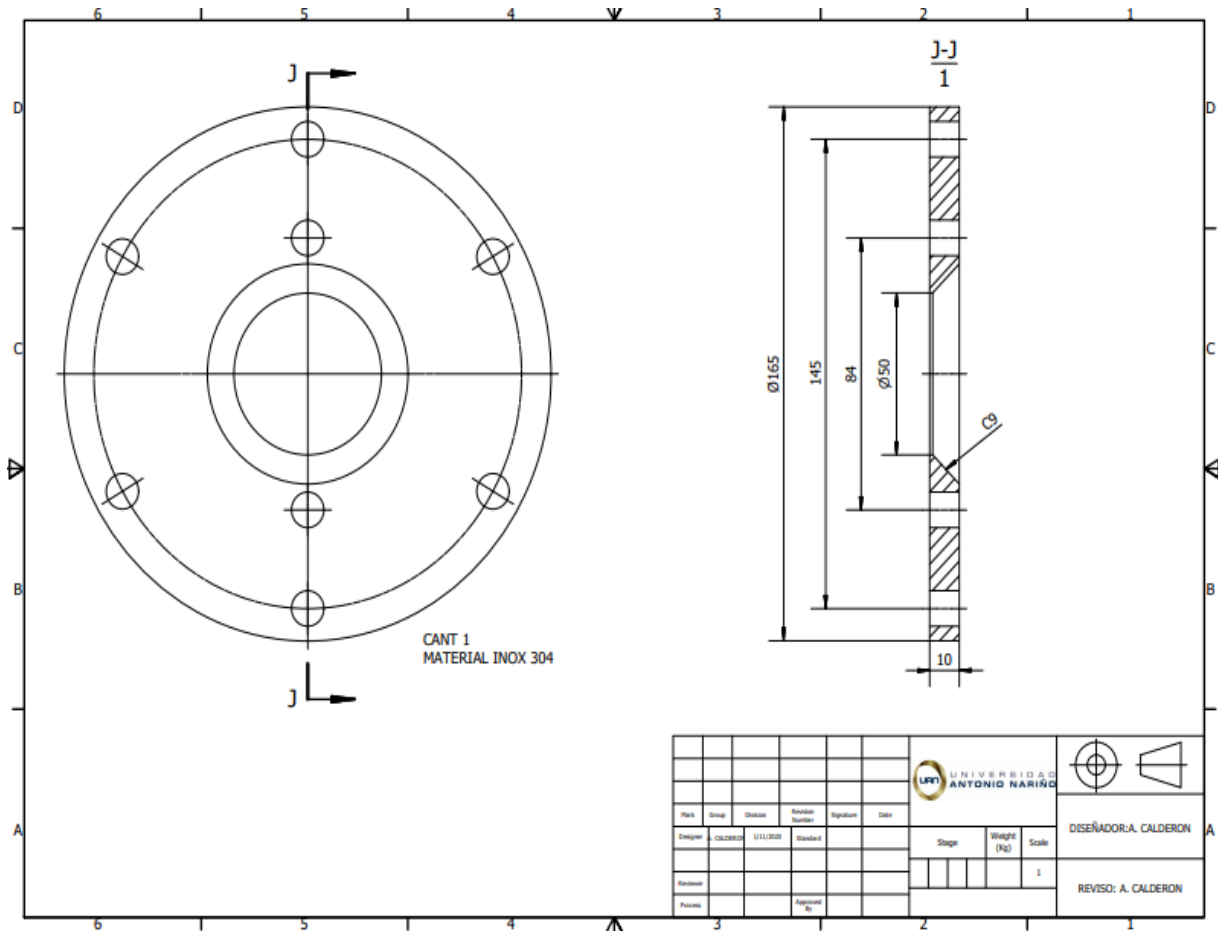
I. Anexo I: Soporte



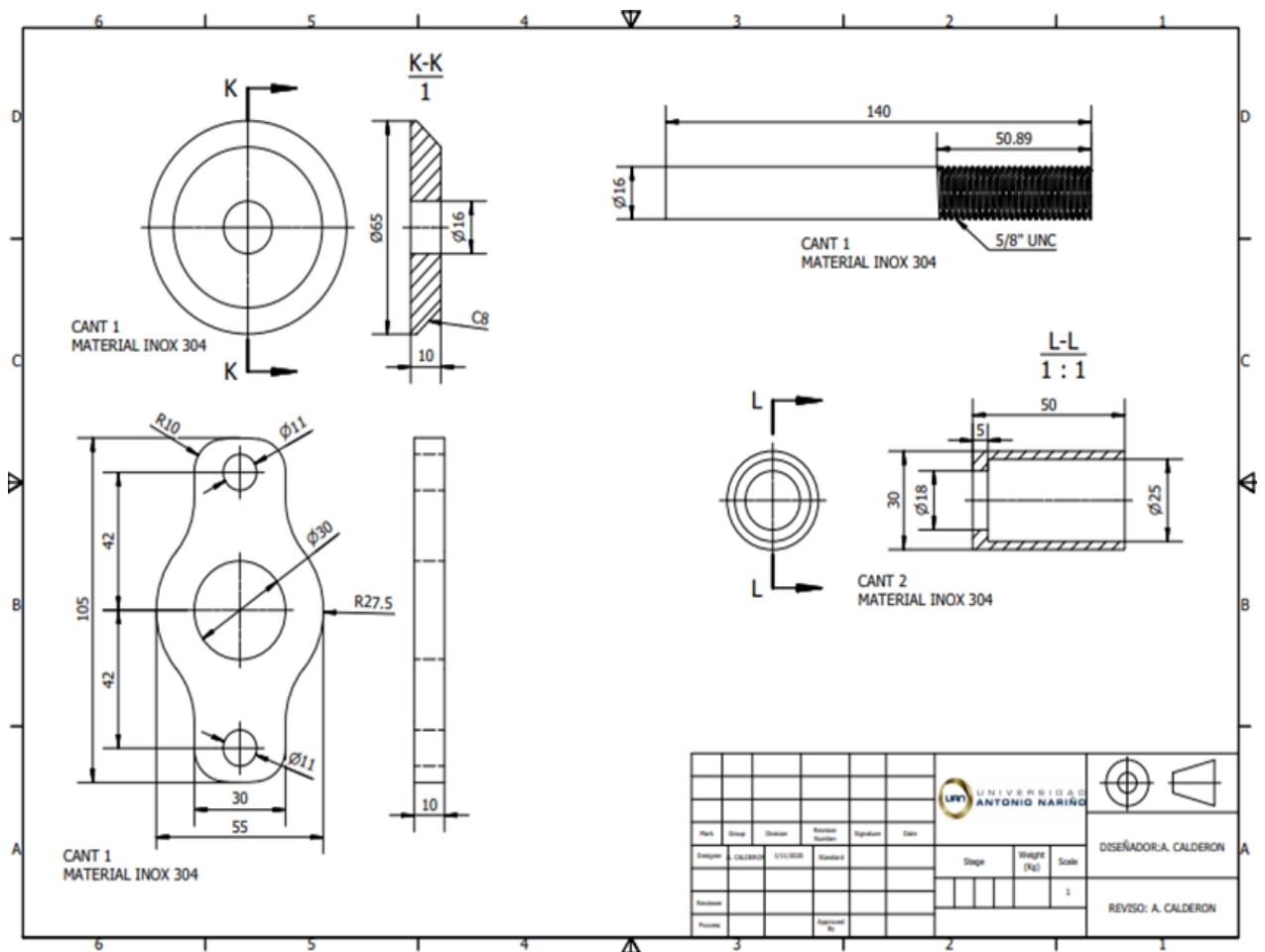
J. Anexo j: Válvula No Retorno



K. Anexo K: Vista frontal Válvula No Retorno



L. Anexo L: Flanche y Juntas para sello



Bibliografía

- [1] E. A. G. ALAYZA, Diseño y construcción de una bomba de ariete para una capacidad de 102 litros por hora y una altura de 8 metros., Arequipa (Perú): U catolica, 2015.
- [2] P. Otí I, Ariete hidráulico para riego, diseño construcción y montaje, Cantabria (España): U.Cantabria, 2017.
- [3] P. A. Sánchez S, La Bomba de Ariete Hidráulico como fuente de energía alternativa y sostenible, Ciudad de Panamá (Panamá): U.OTEIMA, 2018.
- [4] A. Iofrío G, Estudio paramétrico de la bomba de ariete, Cartagena: UPC, 2020.
- [5] S. Cuadro C y F. Restrepo M, Diseño, construcción y montaje de una turbina pelton para la generación de energía eléctrica, Bogotá: El sevier, 2013.
- [6] T. m. Edgar, Generador electrico para estanques artificiales, Bogotá: El sevier, 2016.
- [7] E. Torres, Generación electrica para casa, Bogotá: El sevier, 2019.
- [8] D. Gomez C y T. S. Daniel, Diseño y construcción de una bomba de ariete hidráulico para uso residencial, Bogotá: U disrital, 2015.
- [9] J. Nebra O, Construcción, caracterización hidráulica y estudio de aplicación de una bomba de ariete para el riego de una finca agrícola, Huesca (españa): U. Huesca, 2013.
- [10] A. Lizama C, Diseño de un sistema de bombeo mediante Ariete Hidrahulico, Piura: UPiura, 2018.
- [11] H. Mena R, Diseño de una instalación de bombeo para una granja agricola, Madrid (españa): ICAI, 2018.
- [12] J. Twyman, Golpe de ariete en una red de tuberías debido al cierre rápido de una válvula, Santiago de Chile (Chile): Scielo.org, 2018.

- [13] S. Rengifo H, Diseño y construcción de un sistema de ariete hidraulico, Pereira: UTP, 2016.
- [14] H. Peralta S, Aplicación del golpe de ariete hidraulico para el aprovechamiento del agua de manantial los Mohos, Puni (Perú): UNA, 2015.
- [15] J. B. Arapa Q, Evaluación del rendimiento del ariete hidráulico bah1.1/2 variando la longitud de la tubería de alimentación y condiciones de operación de la válvula de impulso, Lima (Perú): Scielo.org, 2016.
- [16] J. Ortega N, Construcción, caracterización hidráulica y estudio de aplicación de una bomba de ariete para el riego de una finca agrícola, Zaragoza: Scielo.org, 2013.
- [17] J. Izquierdo, I. Montalvo y R. I Pérez G, Simulación de un golpe de ariete mediante simulación Diagasting, Morelia (Mexico): Researchgate, 2012.
- [18] N. Julca P, Diseño de un sistema de bombeo mediante ariete hidráulico para la evacuación de aguas, ácidas en empresas mineras de Cajamarca, 2019, Cajamarca: UdelNorte, 2019.
- [19] B. S. Ramírez R, Construcción e instalación de una bomba de ariete hidráulico para alimentar el sistema de riego en un área definida para una finca agrícola, Bogotá: UDistrital, 2019.
- [20] S. Collazos y A. Laverde, Diseño y Construcción de una almanera (Dispositivo de protección para disipar el golpe de ariete), Bogotá: Scielo.org, 2018.
- [21] D. Gomez C y D. R. Triana S, Diseño y Construcción de una bomba de ariete hidráulico, Bogotá: U. Distrital, 2015.
- [22] S. R. Hincapié y J. D. G. Cadena, Diseño y construcción de un skstema de ariete hidráulico para el suministro de aguas lluvias, Pereira: UTP, 2016.
- [23] J. E. Quiroga M y C. A. B. G. E. Sierra G, Analysis configurations for a ramp pump, Bucaramanga: El sevier, 2013.
- [24] D. A. Penagos V, Análisis del comportamiento del ariete hidráulico en función del volumen del acumulador y la constante elástica del resorte, Barranquilla: ITM, 2018.
- [25] fluideco, «fluideco,» fluideco, 1 Enero 2020. [En línea]. Available: [https://fluideco.com/que-es-una-bomba-de-ariete-y-como-funciona/#:~:text=V%C3%A1lvula%20de%20choque%3A%20este%20elemento,en%20el%20momento%20de%20cerrarse.&text=Canalizaci%C3%B3n%20motriz%20\(o%20tubo%20de,la%20bomba%20y%20el%20dep%C3%B3sito.&text=Cuerpo%3](https://fluideco.com/que-es-una-bomba-de-ariete-y-como-funciona/#:~:text=V%C3%A1lvula%20de%20choque%3A%20este%20elemento,en%20el%20momento%20de%20cerrarse.&text=Canalizaci%C3%B3n%20motriz%20(o%20tubo%20de,la%20bomba%20y%20el%20dep%C3%B3sito.&text=Cuerpo%3). [Último

acceso: 13 Febrero 2021].

- [26] E. Guilarte D, Caracterización de un ariete hidráulico multipulsor, Moa (Cuba): ISMMM, 2017.
- [27] DTH, «DTH,» 18 Junio 2013. [En línea]. Available: <https://sistemasdeaguaysaneamientoparaeldesarrollo.files.wordpress.com/2013/10/resentacic3b3n-bomba-de-ariete-modo-de-compatibilidad.pdf>. [Último acceso: 12 Febrero 2021].
- [28] ECURED, «ECURED,» 4 Marzo 2019. [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Ariete_Hidr%C3%A1ulico. [Último acceso: 13 Febrero 2021].
- [29] R. Mott, Mecánica de Fluidos, Mexico D.F.: Pearson, 2006.
- [30] F. White, Mécanica de fluidos, Madrid (España), 2004.
- [31] P. F. Luís y S. Pérez, Criterios de Diseño, Cálculo y Selección de Tuberías en Base al Criterio de las Prestaciones Equivalentes, Buenos aires (Argentina), 2007.
- [32] J. B. Arapa Q, Evaluación del rendimiento del ariete hidráulico bah1.1/2 variando la longitud de la tubería de alimentación y condiciones de operación de la válvula de impulso”, Lima (Perú): UNALM, 2015.