



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

EXTENSIÓN LA MANÁ

CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE DOS FLUIDOS DE DIFERENTE DENSIDAD PARA LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ”

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero en Electromecánica.

AUTORES:

Erick Amilkare Masaquiza Masaquiza
Freddy Jonathan Ninasunta Guanoquiza

TUTOR:

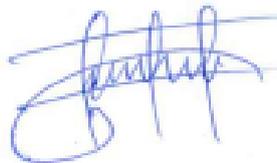
Ing. Cristian Orlando Guilcaso Molina Mg.

LA MANÁ-ECUADOR
FEBRERO-2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Masaquiza Masaquiza Erick Amilkare, con cédula de ciudadanía No. 1805628250, Ninasunta Guanoquiza Freddy Jonathan, con cédula de ciudadanía No. 0550218945, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE DOS FLUIDOS DE DIFERENTE DENSIDAD PARA LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ”**, siendo el Ing. Cristian Guilcaso. Mg. tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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



Erick Amilkare Masaquiza Masaquiza
C.C:1805628250



Freddy Jonathan Ninasunta Guanoquiza
C.C: 0550218945

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad del Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE DOS FLUIDOS DE DIFERENTE DENSIDAD PARA LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ”, de Masaquiza Masaquiza Erick Amilkare; Ninasunta Guanoquiza Freddy Jonathan, de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

La Maná, 28 de febrero del 2024



Ing. Cristian Orlando Guileaso Molina Mg.
C.C.: 0503066706
TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de lectores, aprueban el presente informe de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, por la Extensión La Mana; por cuanto, los postulante Masaquiza Masaquiza Erick Amilkare, Ninasunta Guanoquiza Freddy Jonathan, con el título de Proyecto De Investigación: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE DOS FLUIDOS DE DIFERENTE DENSIDAD PARA LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación dl trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabare los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

La Maná, 28 de febrero del 2024

Para constancia firman:



Ing. Johnatan Israel Corrales Bonilla M.Sc.
C.C: 0503145518
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. William Armando Hidalgo Osorio M.Sc.
C.C: 0502657885
LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. Alex Darwin Paredes Anchatipán M.Sc.
C.C.: 0503614935
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor de tesis, Ing. Cristian Guilcaso. Mg. por su orientación experta, apoyo constante y paciencia durante todo el proceso de investigación. Sus conocimientos y experiencia han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Agradezco también a mis profesores y compañeros de clase por sus comentarios valiosos y sugerencias constructivas que han enriquecido la calidad de este estudio.

Mi reconocimiento se extiende a [Universidad Técnica de Cotopaxi] por proporcionarme los recursos necesarios y el entorno propicio para llevar a cabo esta investigación.

Erick & Freddy

DEDICATORIA

Este tema de Titulación va dedicado a mi madre por estar en todos los momentos buenos y malos durante toda mi carrera Universitaria por darme siempre un apoyo económico, moral y brindarme todo su amor y comprensión para poder cumplir uno de mis sueños que es culminar mis estudios.

A mi padre que ha sido el pilar fundamental para poder progresar día a día el cual me dio un ejemplo a seguir y fue mi guía para no desviarme del camino del bien, también me supo enseñar que con esfuerzo y responsabilidad puedo cumplir todas mis metas y propósitos para llegar al éxito.

A mis hermanas por brindarme su cariño, amor y los buenos deseos para poder seguir adelante con mis estudios y ser un gran ejemplo en la familia como ellos lo desean.

Erick

DEDICATORIA

A mis padres, [Manuel Ninasunta y María Guanoquiza], por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios que hicieron posible mi educación. Su ejemplo de perseverancia y dedicación ha sido mi mayor inspiración.

A [Segundo Guanoquiza], quien, con su sabiduría, orientación y paciencia, ha guiado mis pasos a lo largo de este arduo camino académico. Gracias por compartir su conocimiento y por creer en mi capacidad para alcanzar mis metas.

Este logro no hubiera sido posible sin el amor, aliento y comprensión de todas las personas que forman parte de mi vida. A cada uno de ustedes, mi más sincero agradecimiento.

Freddy

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

EXTENSIÓN LA MANÁ

TÍTULO: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE DOS FLUIDOS DE DIFERENTE DENSIDAD PARA LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ”

Autores:
Masaquiza Masaquiza Erick Amilkare
Ninasunta Guanoquiza Freddy Jonathan

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se proyecta la metódica para la “Implementación de un sistema de bombeo de dos fluidos de diferente densidad para la carrera de Electromecánica de la UTC extensión La Maná”, aplicado específicamente en una máquina de espuma, para fines recreativos y de estudio científico, para lo cual se tiene en cuenta conceptos teóricos de mecánica de fluidos a la par con teorías relacionadas con la electromecánica, el análisis de las variables como lo son los fluidos a utilizar se enfoca en sus propiedades físicas y químicas. El sistema de bombeo en una máquina de espuma puede variar según el tipo específico de máquina y su aplicación. La generación de espuma implica mezclar aire o gas con un líquido espumante para producir una espuma estable. La viabilidad técnica es fundamental para el desarrollo de este proyecto, para lo cual se evaluará una serie de componentes y materiales para la elaboración del prototipo. Se construyó una máquina de espuma con un sistema de bombeo para fluidos de diferente densidad y se verificó que la densidad del líquido espumante influye en la calidad y consistencia de la espuma. Para esto se diseñó un arreglo de tuberías y una bomba que transportó de manera uniforme la mezcla espumante desde el depósito de almacenamiento hacia la entrada del cañón, con una velocidad de 0,046 m/s y una presión de 1,031 bares. Se implementó el sistema de bombeo y el mecanismo de dirección diseñado en el software Inventor 2021, obteniendo como resultado un alcance máximo de 8,5 m de la espuma generada, con una densidad de 2,4 kg/m³, la cual se caracterizó por una alta esponjosidad y estabilidad.

Palabras clave: Densidad, Fluidos, Máquina De Espuma, Mecanismos, Sistema De Bombeo.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

EXTENSION LA MANÁ

TITLE: “IMPLEMENTATION OF A PUMPING SYSTEM FOR TWO FLUIDS OF DIFFERENT DENSITY FOR THE ELECTROMECHANICAL COURSE OF THE UTC EXTENSION LA MANÁ”

Authors:

**Masaquiza Masaquiza Erick Amilkare
Ninasunta Guanoquiza Freddy Jonathan**

ABSTRACT

The present research work projects the method for the “Implementation of a pumping system of two fluids of different densities for the Electromechanics major of the Technical University of Cotopaxi in La Maná”, specifically applied in a foam machine, for recreational and educational purposes. scientific study, for which theoretical concepts of fluid mechanics are taken into account along with theories related to electromechanics, the analysis of variables such as the fluids to be used focuses on their physical and chemical properties. The pumping system in a foam machine can vary depending on the specific type of machine and its application. Foam generation involves mixing air or gas with a foaming liquid to produce a stable foam. Technical feasibility is essential for the development of this project, for which a series of components and materials were evaluated for the development of the prototype. A foam machine was built with a pumping system for fluids of different densities and it was verified that the density of the foaming liquid influences the quality and consistency of the foam. For this, an arrangement of pipes and a pump were designed that uniformly transported the foaming mixture from the storage tank to the entrance of the cannon, with a speed of 0.046 m/s and a pressure of 1031 bars. The pumping system and steering mechanism designed in the Inventor 2021 software were implemented, resulting in a maximum reach of 8.5 m of the foam generated, with a density of 2.4 kg/m³, which was characterized by high sponginess and stability.

Keywords: Density, Fluids, Foam Machine, Mechanisms, Pumping System.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
ÍNDICE GENERAL	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE TABLAS	xviii
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	3
4.1. Beneficiarios Directos	3
4.2. Beneficiarios Indirectos.....	3
5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
5.1. Planteamiento del problema.....	4
5.2. Delimitación del problema.....	4
6. OBJETIVOS.....	4
6.1. Objetivo general	4
6.2. Objetivos específicos.....	5
7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS.....	5
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	6
8.1. Sistema de bombeo.....	6
8.1.1. Definición	6
8.1.2. Elementos.....	6
8.1.3. Problemas de diseño y operación.....	6
8.1.4. Ecuaciones básicas de diseño.....	7
8.1.4.1. Ecuación de continuidad.....	8
8.1.4.2. Ecuación de la cantidad de movimiento	9

8.1.4.3.	Ecuación de la energía	9
8.2.	Bombas.....	11
8.2.1.	Características	11
8.2.2.	Tipos.....	12
8.2.2.1.	Bombas volumétricas.....	13
8.2.2.2.	Bombas rotodinámicas.....	16
8.2.3.	Parámetros de operación de una bomba	18
8.2.3.1.	Salto útil.....	19
8.2.3.2.	Potencia hidráulica.....	20
8.2.4.	Curva característica de la bomba	20
8.2.5.	Punto de operación.....	21
8.2.6.	Bombas en serie	22
8.2.7.	Bombas en paralelo.....	23
8.2.8.	Cavitación en bombas	23
8.2.8.1.	NPSH	23
8.2.9.	Diseño de la aspiración	25
8.2.9.1.	Mejora del NPSH.....	25
8.2.9.2.	Vórtice de entrada	26
8.2.9.3.	Cebado	26
8.3.	Selección de Bombas	27
8.3.1.	Parámetros adimensionales.....	27
8.3.2.	Factores que influyen en la selección	27
8.3.3.	Rendimiento óptimo	28
8.4.	Tuberías	28
8.4.1.	Cálculo de flujo en tuberías	28
8.4.1.1.	Ecuación de continuidad.....	29
8.4.1.2.	Ecuación de la energía	29
8.4.1.3.	Perdida de carga	30
8.4.1.4.	Línea piezométrica y línea de energía.....	31
8.4.1.5.	Curva característica.....	31
8.4.1.6.	Cavitación	32
8.4.2.	Perdidas lineales en tuberías	33
8.4.2.1.	Flujo laminar.....	33
8.4.2.2.	Flujo turbulento.....	33

8.4.2.3.	Coeficiente de fricción	34
8.4.3.	Perdidas singulares en tuberías	35
8.4.3.1.	Coeficiente de perdidas singulares.....	36
8.4.3.2.	Longitud equivalente	36
8.4.4.	Configuraciones de tuberías.....	37
8.4.4.1.	Tubería simple.....	37
8.4.4.2.	Tuberías en serie	37
8.4.4.3.	Tuberías en paralelo	38
8.4.4.4.	Nudos de tuberías.....	38
8.4.5.	Determinación de la tubería	39
8.4.5.1.	Selección del diámetro	39
8.4.5.2.	Presión de diseño	40
8.4.5.3.	Espesor de las tuberías	40
8.5.	Válvulas.....	41
8.5.1.	Tipos de válvulas	41
8.5.1.1.	Válvula compuerta	41
8.5.1.2.	Válvula mariposa	42
8.5.1.3.	Válvulas esféricas y cónicas	43
8.5.1.4.	Válvulas de globo y aguja.....	44
8.5.1.5.	Válvula antirretorno	44
8.5.2.	Coeficientes de perdidas en válvulas	45
8.5.3.	Cavitación en válvulas	46
8.6.	Sistemas de regulación	46
8.6.1.	Deposito abierto	47
8.6.2.	Deposito a presión	48
8.6.3.	Regulación con válvulas	48
8.6.3.1.	Válvulas en serie y bypass	48
8.6.3.2.	Selección de válvulas de control.....	49
8.6.3.3.	Válvulas reductoras de presión	50
8.7.	Espuma.....	50
8.7.1.	Fisicoquímica de Interfaces fluidas	51
8.7.1.1.	Tensión superficial de Equilibrio	51
8.7.1.2.	Tensión interfacial dinámica	52
8.7.2.	Física de espumas líquidas.....	53

8.7.2.1.	Geometría y leyes de Plateau.....	53
8.7.2.2.	Dinámica de espumas	54
8.8.	Máquina de espuma.....	54
9.	VALIDACIÓN DE PREGUNTAS CIENTÍFICA O HIPÓTESIS	55
10.	METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	55
10.1.	Investigación bibliográfica	55
10.2.	Investigación experimental.....	56
10.3.	Localización.....	56
10.4.	Tipos de investigación	56
10.4.1.	Investigación bibliográfica.....	56
10.4.2.	Investigación aplicada tecnológica.....	56
10.4.3.	Investigación descriptiva.....	57
10.5.	Técnicas e instrumentos.....	57
10.6.	Dimensiones del depósito contenedor y características de la mezcla	57
10.6.1.	Depósito contenedor.....	57
10.6.2.	Mezcla espumante	58
10.6.2.1.	Mezcla 1:.....	58
10.6.2.2.	Mezcla 2:.....	59
10.7.	Características generales de los elementos.....	59
10.7.1.	Bomba periférica	59
10.8.	Características de operación de la bomba.....	61
10.8.1.	Regulador de Presión	61
10.8.2.	Manguera de entrada	63
10.8.3.	Manguera de salida.....	64
10.8.4.	Adaptador 1” a ½”	65
10.8.5.	Válvula antirretorno	66
10.8.6.	Válvula de entrada al cañón	67
10.9.	Diseño de partes de la estructura	68
10.10.	Ensamble de partes estructurales de la máquina de espuma	70
10.11.	Motor propulsor de espuma.....	71
10.12.	Diseño del circuito eléctrico	72
11.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	74
11.1.	Características generales de la máquina de espuma	74
11.2.	Cálculo de densidad de mezclas	76

11.2.1.	Cálculo de la densidad de la mezcla 1.....	76
11.2.2.	Cálculo de la densidad de la mezcla 2.....	77
11.3.	Cálculo de parámetros de operación de la bomba	78
11.4.	Cálculo de la velocidad del fluido después del adaptador de 1” a ½”.....	80
11.5.	Rendimiento de la máquina de espuma	81
11.5.1.	Producción de espuma.....	81
11.5.2.	Calidad de la espuma.....	82
11.6.	Eficiencia del proceso.....	82
11.6.1.	Consumo de materiales	82
11.6.2.	Consumo de energía	83
11.7.	Factor de seguridad.....	84
11.8.	Usabilidad.....	86
11.8.1.	Interfaz del usuario.....	87
11.8.2.	Mantenimiento	87
12.	IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)	88
12.1.	Impacto técnico.....	88
12.2.	Impacto social.....	88
13.	PRESUPUESTO DEL PROYECTO	89
14.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
14.1.	Conclusión.....	90
14.2.	Recomendaciones	91
15.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Sistema de distribución de agua potable para una comunidad.	6
Figura 2.	Un diseño específico para la aspiración en una tubería central.	7
Figura 3.	Estrechamiento de la sección 1 (S_1) a la sección 2 (S_2).....	8
Figura 4.	Principio de la conservación de la energía en dinámica de fluidos.	10
Figura 5.	Bomba de piston de doble acción.	11
Figura 6.	Bomba de ariete (izquierda), tornillo de arquimedes (derecha).	12
Figura 7.	Bomba alternativa de embolo, principio de funcionamiento.....	13
Figura 8.	Bomba de embolo, diagrama e indicador real.	14
Figura 9.	Bomba rotativa de engranaje.	15
Figura 10.	Bomba rotativa axial de paletas deslizante.....	15
Figura 11.	Bomba centrifuga y su esquema.	16
Figura 12.	Bomba centrifuga.	17
Figura 13.	Bomba axial.....	17
Figura 14.	Bomba mixta.	18
Figura 15.	Representación del salto útil de una bomba..	20
Figura 16.	Bomba centrífuga y características capacidad de carga (H-Q), Potencia hidráulica (P-Q) y eficiencia (η -Q).	21
Figura 17.	Punto de operación de una bomba.	22
Figura 18.	Combinación en serie de bombas.	22
Figura 19.	Combinación en paralelo de bombas.....	23
Figura 20.	Caudal limite, punto ideal de funcionamiento.....	25
Figura 21.	Cebado de un sistema de bombeo.....	26
Figura 22.	Rendimiento óptimo basado en el punto de operción de la bomba.	28
Figura 23.	Nudo en tuberías.....	29
Figura 24.	Nudo i , j, unidas por tuberias T_1 y T_2	30
Figura 25.	Linea de energía y linea piezométrica.	31
Figura 26.	Tramo de tubería y su curva característica.	32
Figura 27.	Diferencia entre cavitación y vaporización.	32
Figura 28.	Diagrama de Moody.	34
Figura 29.	Tuberías en simple que une dos tanques.....	37
Figura 30.	Tuberías en serie.	38
Figura 31.	Tuberías en paralelo.....	38

Figura 32.	Nudo de tubería.	39
Figura 33.	Válvulas, corte transversal.....	41
Figura 34.	Válvula compuerta.....	42
Figura 35.	Operación de válvula mariposa.	43
Figura 36.	Válvula esférica.	43
Figura 37.	Válvula de ángulo (izquierda) y aguja (derecha).....	44
Figura 38.	Válvula antirretorno.....	45
Figura 39.	Curvas de coeficiente de pérdidas K contra fracción de apertura.	46
Figura 40.	Tanque elevado.	47
Figura 41.	Deposito a presión.	48
Figura 42.	Regulación con válvula en serie..	49
Figura 43.	Regulación con by-pass.	49
Figura 44.	Reguladores de presión.....	50
Figura 45.	Espuma y sus secciones.	51
Figura 46.	Desbalance de fuerza en la interfaz respecto al volumen, en una gota de agua.	52
Figura 47.	Dinámica de absorción de un tensioactivo.	53
Figura 48.	La geometría típica de una burbuja en una espuma con bajo contenido líquido (a). Forma de un borde de plateau (b).	53
Figura 49.	Esquema para dos burbujas adyacentes.....	54
Figura 50.	Imagen referencial de una máquina de espuma.....	55
Figura 51.	Deposito contenedor de mezcla espumante.....	58
Figura 52.	Imagen referencial de bomba de agua INGCO UVPM3708.....	60
Figura 53.	Curva de rendimiento de bomba de agua INGCO UVPM3708.....	61
Figura 54.	Imagen referencial Regulador Press Control INGCO UWAPS002.	62
Figura 55.	Imagen referencial de manguera de entrada.	63
Figura 56.	Imagen referencial de manguera de salida.	64
Figura 57.	Imagen referencial de adaptador de tubería 1" a 1/2'.	65
Figura 58.	Imagen referencial de válvula antirretorno de pie de 1".....	66
Figura 59.	Imagen referencial de válvula esférica de 1/2".	67
Figura 60.	Soporte de anclaje de la base al cañon.	68
Figura 61.	Estructura anterior del cañon.....	68
Figura 62.	Estructura posterior del cañon.	69
Figura 63.	Estructura base para ensamble de bomba y cañon.	69
Figura 64.	Ensamble de todas las partes de la maquina de espuma.....	70

Figura 65.	Motor monofásico WEG.	71
Figura 66.	Diseño de la conexión eléctrica (CAdE_SIMU).	72
Figura 67.	Interruptor termomagnético monopolo 16A(izquierda), cable vulcanizado 2x12 AWG(derecha).	73
Figura 68.	Máquina de espuma en funcionamiento.	75
Figura 69.	Ecuación de continuidad aplicada en el adaptador de 1" a ½ ".	80
Figura 70.	Factor de seguridad de estructura base de máquina de espuma, apoyo del cañón.	85
Figura 71.	Factor de seguridad de estructura base de máquina de espuma, apoyo de la bomba.	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Beneficiarios de la carrera de Electromecánica	3
Tabla 2.	Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos	5
Tabla 3.	Unidades de las variables significativas.....	19
Tabla 4.	Tuberías y su rugosidad.....	35
Tabla 5.	Coefficiente de resistencia para algunos accesorios.....	36
Tabla 6.	Velocidad del fluido (agua), según el diámetro de la tubería	40
Tabla 7.	Técnicas e instrumentos	57
Tabla 8.	Características del deposito contenedor de la mezcla.	58
Tabla 9.	Ingredientes de la mezcla 1 (20 litros).	59
Tabla 10.	Ingredientes de la mezcla 2 (5 litros).....	59
Tabla 11.	Características de la bomba de agua preseleccionada de la marca INGCO.	60
Tabla 12.	Características del Regulador Press Control INGCO.....	62
Tabla 13.	Características de la manguera de entrada de la Bomba hidráulica.	63
Tabla 14.	Características de la manguera de salida de la Bomba hidráulica.	64
Tabla 15.	Características de adaptador de 1 pulgada a 1/2 pulgada.	65
Tabla 16.	Características de válvula antirretorno de 1”.....	66
Tabla 17.	Características de válvula de entrada al cañon.	67
Tabla 18.	Características del motor impulsor de espuma del cañon.	71
Tabla 19.	Características técnicas de la máquina de espuma.	74
Tabla 20.	Resultado generales de producción de espuma.	81
Tabla 21.	Resultados generales de calidad espuma.	82
Tabla 22.	Comparativa en el uso de recursos de las mezclas espumantes utilizadas (20 Litros).	83
Tabla 23.	Consumo de energía de la máquina de espuma.	84
Tabla 24.	Pasos para mantenimiento de máquina de espuma.....	87
Tabla 25.	Presupuesto Del Proyecto.....	89

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“Implementación de un sistema de bombeo de dos fluidos de diferente densidad para la carrera de Electromecánica de la UTC extensión La Maná”

Fecha de inicio:	Noviembre del 2023
Fecha de finalización:	Enero del 2024
Lugar de ejecución:	Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná
Unidad académica que auspicia:	Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas CIYA
Carrera que auspicia:	Ingeniería Electromecánica
Proyecto de investigación vinculado:	La transferencia tecnológica sustentable como eje fundamental para el desarrollo socio económico y la vinculación social
Equipo de trabajo:	
Tutor del Proyecto:	Ing. Cristian Orlando Guilcaso Molina. Mg.
Postulante:	Erick Amilkare Masaquiza Masaquiza Freddy Jonathan Ninasunta Guanoquiza
Área de conocimiento:	Ingeniería, Industria y Construcción
Línea de investigación:	Procesos Industriales
Sub líneas de investigación de la carrera:	Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos
Núcleo Disciplinar:	Desarrollo de tecnología y procesos de fabricación

2. INTRODUCCIÓN

Un sistema de bombeo de fluidos de diferente densidad para una máquina de espuma, es un componente esencial en diversos campos, desde la lucha contra incendios hasta aplicaciones industriales especializadas. La generación controlada y eficiente de espuma requiere un sistema de bombeo meticulosamente diseñado que pueda dosificar con precisión tanto el líquido espumante como el aire o gas necesario para crear la espuma deseada. Este aspecto crítico del proceso no solo afecta la efectividad y rapidez de la respuesta, sino que también influye en la calidad y aplicabilidad de la espuma en contextos industriales o eventos recreativos.

La incorporación de un mecanismo de bombeo, en este marco, se convierte en una pieza clave para optimizar el rendimiento y la versatilidad de una máquina de espuma. Desde la selección de bombas adecuadas hasta el diseño de sistemas de control sofisticados, cada detalle debe ser cuidadosamente considerado para garantizar no solo la eficiencia operativa, sino también la seguridad y confiabilidad del sistema en su conjunto.

Se considerará cómo estas implementaciones pueden ser adaptadas para satisfacer las necesidades específicas de la carrera de electromecánica en la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná. La integración de proyectos de esta naturaleza en el contexto académico no solo proporciona a los estudiantes una experiencia práctica, valiosa y recreativa, sino que también contribuye al fortalecimiento de la investigación aplicada y al desarrollo de habilidades técnicas esenciales para su futuro profesional.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto será aplicable a máquinas que se emplean de forma común hoy en día. El lograr bombear fluidos de distinta densidad de manera uniforme para formar mezclas homogéneas es un principio fundamental de la mecánica de fluidos. Estas teorías se pueden aplicar en la industria o incluso en máquinas más sencillas, como es el caso de la máquina de espuma, a sí mismo, su diseño y elaboración constructiva es una de las finalidades de este proyecto de investigación.

El principal aporte de este proyecto será el de proveer a la carrera de una herramienta de estudio didáctica que permita evidenciar la variación y comportamientos de los fluidos en distintas circunstancias y bajo diferentes parámetros. Esto facilitará a los educandos el observar cómo los cambios en las variables influyen en los resultados. También, servirá de apoyo en las labores académicas de los maestros, esto permitirá un entendimiento más efectivo por parte de los estudiantes.

Como aprendices de la especialidad de electromecánica es necesario conocer e indagar sobre los fenómenos y mecanismos que impulsan el movimiento de fluidos con distintas propiedades, que potencialmente serán empleados para suplir necesidades diversas. En la actualidad, solo se ha logrado plasmar de manera teórica este fenómeno, sin llevarlo a la práctica; por lo que este puede ser un mecanismo de investigación que permita experimentar con fluidos de naturaleza físico-química variada. Adicionalmente, podrá emplearse como herramienta recreativa en fiestas o eventos, evitándole a la universidad el gasto del alquiler de una máquina similar, al contar con una propia.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

4.1. Beneficiarios Directos

Las personas más favorecidas del presente proyecto serán las autoridades, maestros y estudiantes de la carrera de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná. Este grupo, al tener acceso y utilizar la máquina que está siendo construida, experimentará un amplio rango de beneficios tanto recreativos como académicos. La utilidad práctica y empírica de la máquina permitirá examinar de cerca diversos fenómenos que se manifiestan en los fluidos.

Tabla 1. *Beneficiarios de la carrera de Electromecánica*

Hombres	Mujeres	Docentes	Total
172	11	10	193

Fuente: Secretaría académica, UTC extensión La Maná

4.2. Beneficiarios Indirectos

Las personas que se benefician de manera secundaria, con esta investigación son los individuos partícipes de eventos realizados por la Universidad de Cotopaxi extensión La Maná, donde la máquina de espuma es empleada. Además, se extiende este beneficio a otros estudiantes e investigadores que manifiesten interés en la temática de sistemas de bombeo, utilizando estos resultados como antecedentes y fundamentos teóricos en sus respectivos campos de estudio.

5. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

5.1. Planteamiento del problema

En la facultad de ciencias de la ingeniería y aplicadas, carrera de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná, cuenta con un dispositivo conformado por un sistema de bombeo para el manejo de líquidos de distintas densidades, el cual no es eficiente, a partir de este punto se optó por la opción de realizar un diseño mejorado, para el estudio teórico-práctico de mecánica de fluidos, y a su vez para uso recreativo en eventos o fiestas de la institución. Es de suma importancia la aplicación práctica en la problemática, esto consiste en lograr desplazar dichas sustancias a través de tubos, de manera tal, que sea posible obtener como resultado una mezcla homogénea de espuma con propiedades físico-químicas específicas.

Esta espuma debe ser segura para la piel y ser capaz de mantener su consistencia durante tiempos determinados, ser biodegradable y compatible con el medio ambiente. Además de la poca integración entre los conocimientos teóricos y experimentales en la carrera, y la limitada experiencia práctica en la implementación de sistemas reales, se plantea como uno de los proyectos desafiantes para los estudiantes de Electromecánica.

5.2. Delimitación del problema

En cuanto a su descripción geográfica, la investigación se desarrollará en el Cantón La Maná, provincia de Cotopaxi, para su presentación en la UTC extensión La Maná. Su delimitación temporal se ubica en un periodo de meses, partiendo de noviembre del 2023 a enero del 2024. La acotación teórico conceptual se encuentra definida por el análisis del diseño, cuidado y ejecución de sistemas electromecánicos, así como la creación de prototipos y adquisición de elementos. La demarcación económica está condicionada por la disponibilidad de fondos. La obtención de equipos especializados, materiales de calidad y tecnologías avanzadas podría verse restringida por restricciones presupuestarias.

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo general

- Construir una máquina de espuma, implementando un sistema de bombeo para fluidos de diferente densidad para la carrera de electromecánica de la UTC extensión La Maná.

6.2. Objetivos específicos

- Investigar las características teóricas y técnicas de sistemas de bombeo para manejar dos fluidos de diferente densidad.
- Diseñar un sistema de bombeo capaz de transportar, de manera uniforme, fluidos de distinta densidad, dentro de tubos de diámetro específico.
- Implementar el sistema de bombeo para fluidos de distinta densidad diseñado, en la construcción de una máquina de espuma.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS.

Tabla 2. *Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos*

Objetivos	Actividades	Resultados de las actividades	Descripción (técnicas e instrumentos)
Investigar las características teóricas y técnicas de sistemas de bombeo para manejar dos fluidos de diferente densidad.	Investigación Búsqueda bibliográfica Revisión del estado del arte	Conocimiento sobre sistemas de bombeo, la espuma y los fluidos que la componen para un óptimo funcionamiento de la máquina.	Búsqueda de información en internet, libros, artículos científicos y patentes de mecanismos similares
Diseñar un sistema de bombeo capaz de transportar, de manera uniforme, fluidos de distinta densidad, dentro de tubos de diámetro específico.	Cálculo de diámetros y flujo, cantidades para componer la mezcla y dimensionamiento del sistema de bombeo	Diseño de la máquina de espuma y sus mecanismos de impulsión para los fluidos determinados.	Cálculo de las proporciones ideales de fluidos para lograr la mezcla deseada. Cálculo de tuberías acorde a las formas y las cantidades de fluido deseadas. Elección y cálculo del sistema de bombeo a emplearse para lograr la presión deseada.
Implementar el sistema de bombeo para fluidos de distinta densidad diseñado, en la construcción de una máquina de espuma.	Construcción de la máquina de espuma empleando el sistema de desplazamiento de fluidos.	Máquina dispensadora de espuma	Construcción de la máquina de espuma implementando el mecanismo de bombeo de fluidos diseñado.

Fuente: Elaboración propia

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.

8.1. Sistema de bombeo

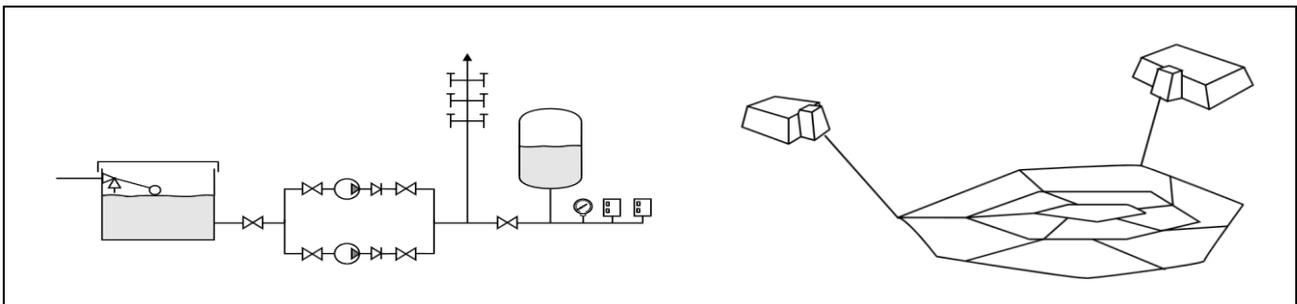
8.1.1. Definición

Un sistema de bombeo de múltiples piezas se utiliza para permitir el movimiento de fluidos desde el interior de un depósito hasta el punto de aplicación, satisfaciendo a la vez requisitos precisos de presión y caudal para distintos sistemas y procesos. Cuando se utilizan varias bombas, su disposición en serie, paralelo o mixta afecta la velocidad de desplazamiento de volumen por unidad de tiempo final producido por la acción combinada de todas ellas [1].

8.1.2. Elementos

Dentro de un sistema estándar, la integridad de su funcionamiento depende de varios componentes que van más allá de los conductos que conectan los puntos de salida y llegada. Entre estos elementos destacan áreas de almacenamiento y depósitos, los cuales desempeñan un papel fundamental al proporcionar la energía necesaria para facilitar el transporte del fluido. Adicionalmente, otros dispositivos, como válvulas y mecanismos de medición, cumplen su función en el sistema al encargarse de tareas de regulación y control. Este conjunto de partes, garantizan la eficiencia y estabilidad operativa del arreglo hidráulico [2].

Figura 1. Sistema de distribución de agua potable para una comunidad.



Fuente: [3]

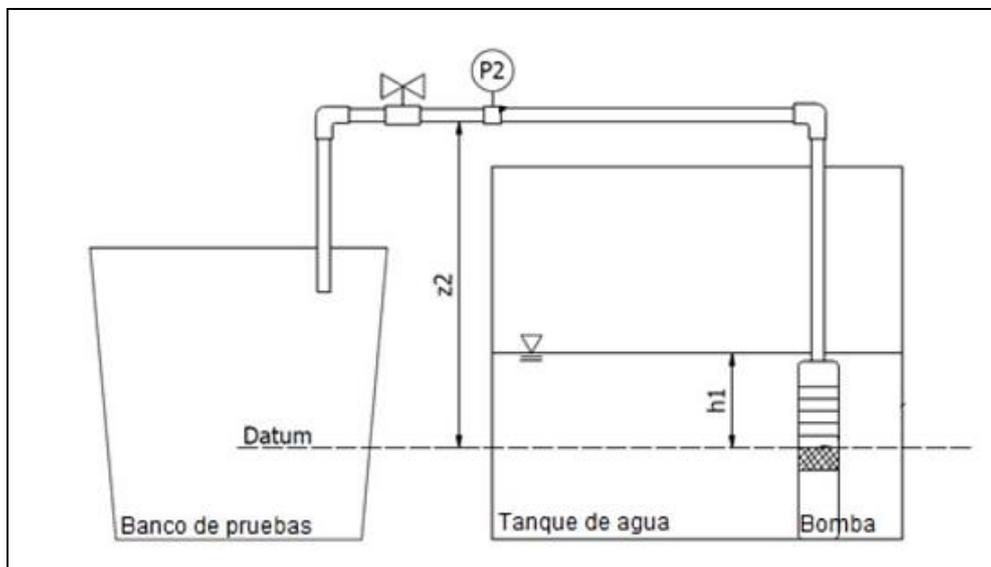
8.1.3. Problemas de diseño y operación

Un motor que pone en marcha una bomba de agua está implícito en la forma en que están configurados los subsistemas motor-bomba. Por lo general, los motores son capaces de funcionar con flujo eléctrico alterno (AC) o corriente continua (CC). También, las bombas pueden ser de desplazamiento positivo o centrífugas. Los sistemas de motobomba se clasifican como de superficie o sumergibles en función de su ubicación dentro del pozo. En el contexto de esta investigación se

plantea de qué manera se utilizará el tipo de hidrobomba elegida, y la clase de tuberías, conectores, válvulas y resto de elementos que hacen posible el funcionamiento de un arreglo de bombeo [4].

El sistema de transporte de líquido, puede variar en longitud y complejidad, la conducción de fluidos implica tuberías rectas, mayormente cilíndricas y con diferentes diámetros, conectadas por uniones adecuadas, curvas, codos y válvulas. El movimiento espontáneo del fluido ocurre si su energía total experimente una reducción en la línea del flujo. Tanto el par producido como la corriente de arranque utilizada por el motor pueden gestionarse ajustando la tensión suministrada [5].

Figura 2. *Un diseño específico para la aspiración en una tubería central.*



Fuente: [6]

Para asegurar el rendimiento óptimo de un sistema de bombeo, se deben abordar las cuestiones de regulación y control que garanticen la consecución de los niveles deseados de caudal y presión. Además, es fundamental atender a los desafíos potenciales relacionados con la cavitación, inestabilidades y eventos transitorios que puedan manifestarse. Es todo un tema de investigación porque estos sistemas implican conocimientos de ingeniería mecánica, eléctrica, electrónica e hidráulica. Los arreglos de bombeo se clasifican y diseñan de distintas maneras [6].

8.1.4. Ecuaciones básicas de diseño

Mucho antes de la relatividad, en el siglo XVIII, I. Newton, L. Euler, D. Bernoulli y L. Lagrange crearon los primeros modelos matemáticos de hidrodinámica. Estos trabajos examinaban esencialmente los fluidos en el régimen newtoniano, que ahora denominamos no relativista. En las

subsecciones siguientes esbozamos los escenarios óptimos. Estas expresiones se derivan de la primera ley de termodinámica y la segunda ley de Newton [7].

8.1.4.1. Ecuación de continuidad

La formulación matemática del estado de un fluido en movimiento se logra mediante funciones que describen la distribución de la velocidad del fluido, $v = v(x, y, z, t)$, y de dos propiedades termodinámicas cualesquiera pertenecientes al fluido, como la presión $p(x, y, z, t)$ y la densidad $\rho(x, y, z, t)$. Estas funciones están determinadas por los parámetros tridimensionales x, y, z y del tiempo t . Esta ecuación se deriva según la expresión de la preservación de la materia y, en su forma derivada, se expresa como [8]:

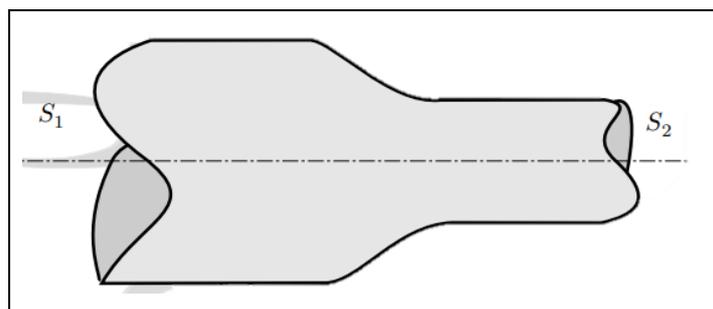
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \Delta \vec{v} = 0 \quad \text{Ecuación 1}$$

Utilizando el volumen como medio de control definido por el control de un área, se manifiesta en su forma integral:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{SV} \rho dVol + \int_{SC} \rho (\vec{V}_r \cdot d\vec{S}) = 0 \quad \text{Ecuación 2}$$

Entre dos secciones:

Figura 3. Estrechamiento de la sección 1 (S_1) a la sección 2 (S_2).



Fuente: [9]

En cada área alineada con el eje del conducto y perpendicular a la sección normal, se considera la velocidad promedio. Frecuentemente, es posible suponer que el flujo es estacionario y que la velocidad exhibe uniformidad en una superficie transversa. La densidad, que se emplea habitualmente en hidrodinámica, ha asumido el papel de la relación entre la masa y volumen de partículas. Como

resultado, esta fórmula matemática coincide con la expresión microscópica de la ecuación de dinámica de fluidos de conservación de la masa [10].

$$\rho_1 S_1 V_1 = \rho_2 S_2 V_2 \quad \text{Ecuación 3}$$

La ecuación se puede simplificar si el flujo no es compresible:

$$S_1 V_1 = S_2 V_2 = Q \quad \text{Ecuación 4}$$

8.1.4.2. Ecuación de la cantidad de movimiento

En el estudio de distintos dispositivos en el ámbito de fluidos, así como en la construcción de edificaciones, barcos, hélices, turbinas y bombas, se hace imperativo tener un conocimiento profundo de las fuerzas que los líquidos en desplazamiento pueden ejercer. Básicamente, la cantidad de movimiento final está compuesta por una cantidad de movimiento inicial y adicionalmente un impulso [11].

$$\rho \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} = -\Delta \bar{T} + \rho \vec{f} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde \bar{T} es el tensor de tensiones y \vec{f} fuerzas exteriores.

La ecuación final se reduce a la forma:

$$\sum \vec{F} = \rho Q (\vec{V}_2 - \vec{V}_1) \quad \text{Ecuación 6}$$

En la cual \vec{V}_r representa la variación del fluido, en relación al área de control.

8.1.4.3. Ecuación de la energía

Tanto la fuerza cinética como el potencial energético asociado, se ven alteradas en un sistema en el cual se efectúa el trabajo mecánico. Esta relación se ajusta a la ecuación hidrodinámica de conservación de la energía, en la que se ha identificado la fórmula microscópica de la energía interna por unidad de masa. Por consiguiente, en su forma diferencial, la expresión matemática de la energía es representada por [11]:

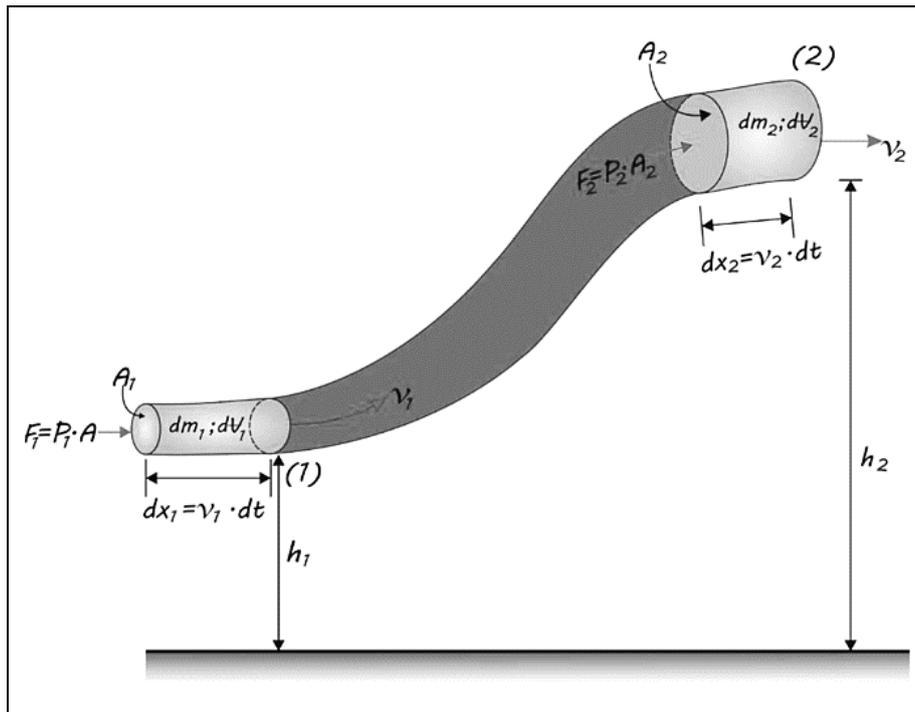
$$\rho \frac{\partial e}{\partial t} = -\Delta \vec{q} - P \Delta \vec{v} + \phi_V \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde e es la energía interna, ϕ_V la función de disipación y el flujo térmico como vector \vec{q} . Mientras en su forma integral se escribe la forma:

$$\frac{dQ}{dt} - \frac{dW}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} E \rho dVol + \int_{SC} E \rho (V_{vecr} d\vec{S}) \quad \text{Ecuación 8}$$

La totalidad de la energía interna del fluido se denota como E , Q indica el intercambio de calor (solo para esta ecuación, en el resto representa caudal) con el volumen de control, W representa la interacción del volumen de control con el trabajo, si es realizado por esta misma variable es positivo. Se puede observar tres contribuciones distintas, una relacionada con el trabajo realizado por las fuerzas de presión, otra con el intercambio de calor y otra con el flujo de convección macroscópico. Son responsables de la variación temporal de la energía [11].

Figura 4. Principio de la conservación de la energía en dinámica de fluidos.



Fuente: [11]

La forma integral representada por la ecuación (8), si se desprecia la energía exterior y el rozamiento, es reducida a la ecuación de Bernoulli. Donde, $\frac{P}{\rho g}$ es la energía generada por la presión, $\frac{v^2}{2g}$ representa la energía cinética y Z la energía potencial, resulta en un punto H , que es la altura al

sumar estas variables, esta ecuación es fundamental en el cálculo de los parámetros de un sistema de bombeo [11].

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad \text{Ecuación 9}$$

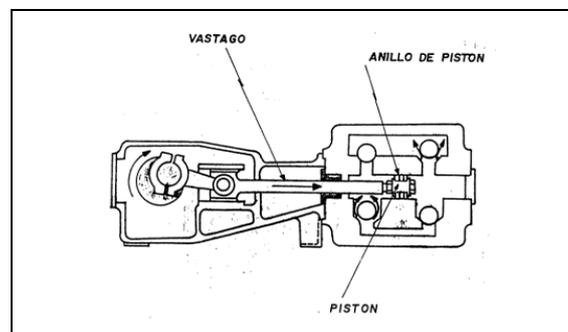
8.2. Bombas

Un dispositivo que puede transformar la energía mecánica en hidráulica es una bomba, esta máquina está destinada a elevar la fuerza de un líquido sobre un área de flujo al transferirle trabajo, se compone de un impulsor rotativo alojado en una voluta. Este mecanismo transforma el estado del fluido desde una baja presión estática a una presión más elevada. Existen diferentes tipos de bombas en función de su aplicación [4].

8.2.1. Características

La tarea específica de un dispositivo de bombeo implica facilitar el movimiento en una instalación mediante la transferencia de energía al líquido. Generalmente, se traduce en un incremento de la fuerza en la salida de la bomba, relacionado con la cantidad de fluido que se está desplazando y representado por una curva matemática. Características del fluido, tales como su configuración, modo de operación, dimensiones y velocidad de accionamiento, especialmente su viscosidad, influyen en esta curva característica. Es conveniente mencionar que existe la capacidad de trasladar el líquido sin un aumento de la fuerza de flujo, inclusive sin mecanismos de propulsión, es así el caso de los cordones capilares o el derrame de una sustancia desde un depósito [12].

Figura 5. *Bomba de piston de doble acción.*



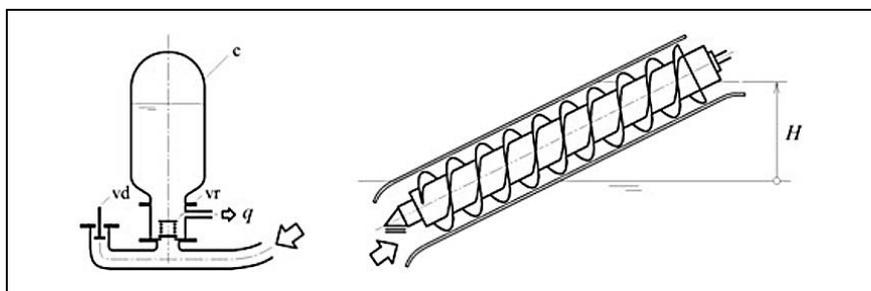
Fuente: [13]

8.2.2. Tipos

Las hidrobombas más comunes son las turbomáquinas o rotodinámicas, así como las volumétricas o de desplazamiento positivo. Al pasar por uno o más rodetes, rotores o impulsores, la bomba rotodinámica, en modo de máquina generadora, incrementa la cantidad de movimiento del fluido al transferirle energía, sin que ello conlleve un cambio en la densidad. Su clasificación se distribuye como radiales o centrífugas, axiales y de flujo mixto dependiendo de la orientación del flujo en el rodete [12].

En otra perspectiva, las bombas de desplazamiento positivo son mecanismos que desplazan el fluido en lotes individuales no interactivos. Sin embargo, realiza el traslado eficiente de fluidos de mayor densidad bajo un aumento de presión y el caudal se mantiene constante respecto a la compresión a determinadas velocidades de rotación. Esta característica las vuelve particularmente adecuadas en aplicaciones prácticas en sistemas de energía y dosificación, ámbitos industriales donde encuentran numerosas utilidades sin apenas competencia [12].

Figura 6. Bomba de ariete (izquierda), tornillo de arquimedes (derecha).



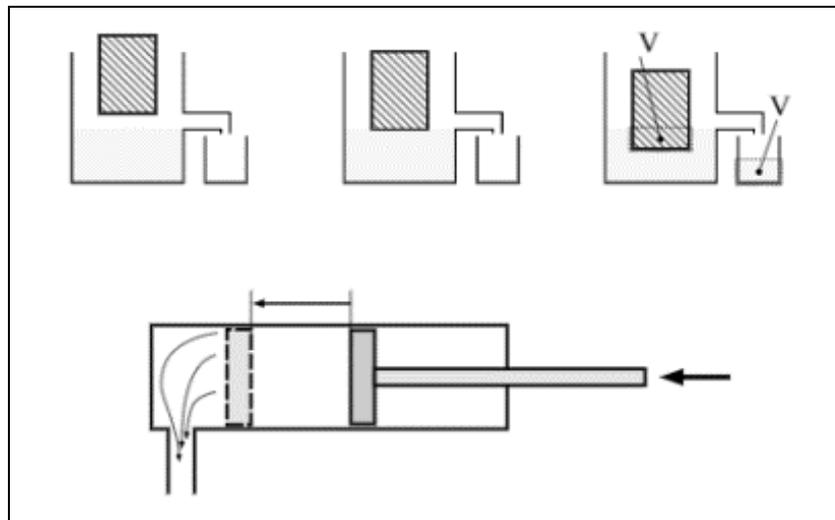
Fuente: [12]

En el ámbito de la ingeniería mecánica, cabe destacar las bombas gravimétricas, ingenios diseñados con la finalidad de conducir fluidos mientras se mantiene una presión constante. Este tipo de máquinas, que abarcan tanto norias como rosarios, se caracterizan por ser poco comunes y demandar una ejecución especializada para su implementación efectiva. Por otro lado, las aplicaciones contemporáneas de los tornillos de Arquímedes, que continúan siendo relevantes y atractivos en diversos contextos industriales gracias a su eficacia y versatilidad en la manipulación de sustancias. [12].

8.2.2.1. Bombas volumétricas

Cuando se reduce el volumen de un líquido en las bombas de desplazamiento positivo, el fluido se desplaza al aumentar su presión. Esta sustancia se transporta a la vez que se libera del espacio más pequeño en el que se encuentra, como se ve en la figura. Entre otros muchos mecanismos, la reducción de capacidad se realiza sistemáticamente mediante engranajes, tornillos y pistones. Por su amplia gama de cabezales, las hidrobombas de desplazamiento positivo son perfectas para aplicaciones que requieren alta fuerza sobre superficies de flujo o fluidos muy viscosos [14].

Figura 7. Bomba alternativa de embolo, principio de funcionamiento.

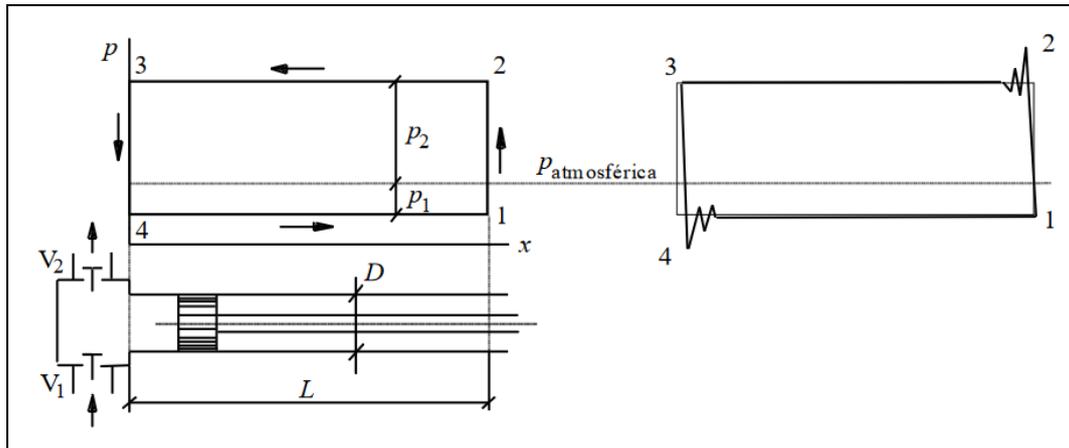


Fuente: [14]

8.2.2.1.1. Bombas alternativas

Las aplicaciones que superan la eficiencia de las hidrobombas de tipo centrífugo suelen recurrir a las bombas alternativas; aunque en algunos casos podría considerarse el uso de mecanismos centrífugos o rotatorios, esto conllevaría que las demandas de potencia o en las necesidades de mantenimiento incrementen. El uso de pistones comúnmente se ve equipada en hidrobombas alternativas [15].

Figura 8. Bomba de embolo, diagrama e indicador real.



Fuente: [15]

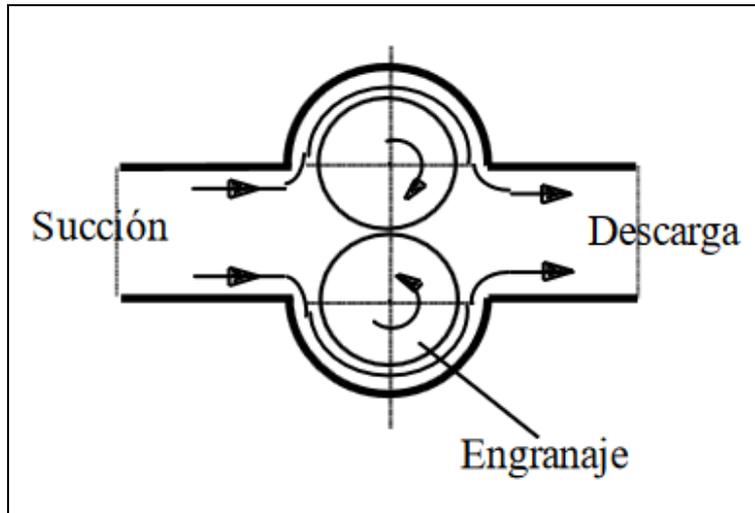
Cuando el pistón se desplaza hacia la derecha, el fluido que ingresa a través de V_1 y se abastece completamente el depósito cilíndrico. La presión en el recipiente de válvulas, es menor que la atmosférica, explicando así la oposición al desplazamiento del pistón. Luego, en la situación 1, el pistón invierte su dirección, cerrándose automáticamente la válvula 1, al comenzar su movimiento a la izquierda. Tanto en el compartimento de válvulas como el pistón, la presión alcanza el nivel de energía, mayor a la presión en el aire, lo que provoca la apertura de la válvula de evacuación V_2 para liberar el fluido [15].

En el extremo izquierdo de la posición, el pistón varía su dirección de avance, iniciando una nueva fase hacia la derecha, completando así el ciclo del diagrama de la figura 8. La superficie del gráfico indica el trabajo por unidad de área realizado por el vástago en dos ciclos. Las variaciones de presión al inicio de la admisión y de la compresión son responsables de las discrepancias entre el diagrama indicador real y el teórico [15].

8.2.2.1.2. Bombas rotativas

Estas hidrobombas, al ser fundamentales en diversos campos industriales, tienen un funcionamiento eficiente de maquinarias y sistemas de transmisión de energía. Su capacidad para generar un desplazamiento positivo rotativo las convierte en elementos para la lubricación efectiva, el control preciso de motores y la puesta en marcha óptima de compresores. Además, su versatilidad se evidencia en su contribución a la operación fluida de bombas de fluido hidráulico, lo que amplía su relevancia en el ámbito de la ingeniería [15].

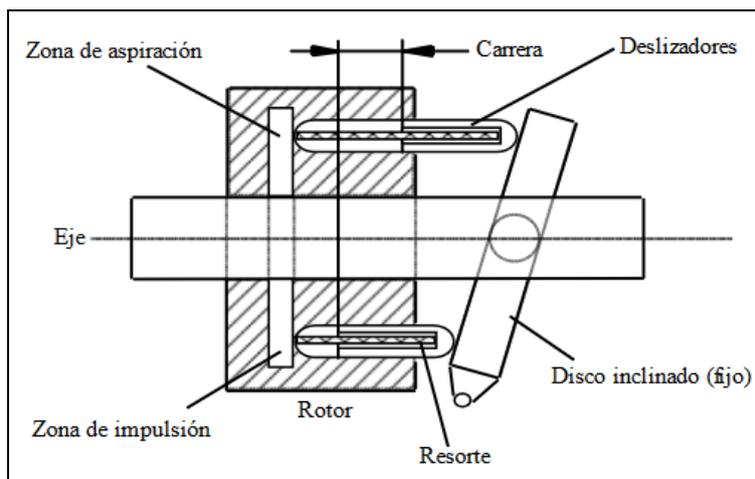
Figura 9. *Bomba rotativa de engranaje.*



Fuente: [15]

Las bombas de paletas deslizantes, con su construcción más compleja, tienen varios tipos constructivos. Se destacan aquellas con suministro interno y aquellas con aporte externo del fluido. Además, las bombas de engranajes, al invertir la dirección de los engranajes, pueden cambiar la dirección del flujo de líquido, y también tienen la capacidad de funcionar como motores hidráulicos [15].

Figura 10. *Bomba rotativa axial de paletas deslizante.*



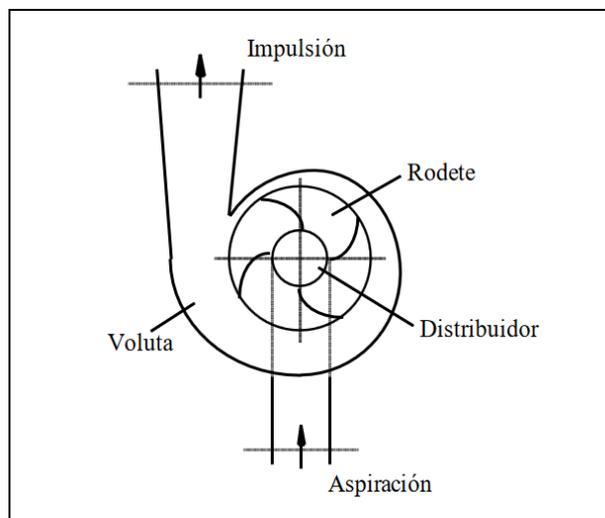
Fuente: [15]

En el ámbito de los sistemas destinados al control y la lubricación de maquinaria y motores de envergadura, se destaca la aplicación específica de las hidrobombas helicoidales, también denominadas bombas de tornillo helicoidal. Su utilización se distingue por su eficacia en entornos de gran escala, contribuyendo de manera significativa a la operatividad y rendimiento de estos arreglos especializados. Por otra parte, tanto los mecanismos de pistón axial como las de pistón radial se definen como máquinas reversibles y convertibles, característica que resalta su versatilidad en diversas aplicaciones industriales [15].

8.2.2.2. Bombas rotodinámicas

También llamadas turbobombas o rotatorias, mediante un componente rotativo conocido como rotor, se establece un trasvase de momentum entre el fluido y el mecanismo. Los canales formados por las palas permiten el flujo continuo del líquido. Las fuerzas predominantes actúan en dirección tangencial, generando una alteración en la energía cinética de transporte de volumen, al atravesar el estator. Esto conduce a la transmisión de una fuerza de torsión entre la sustancia y el rodete, dando lugar a una transferencia de momento mecánico [15].

Figura 11. Bomba centrífuga y su esquema.



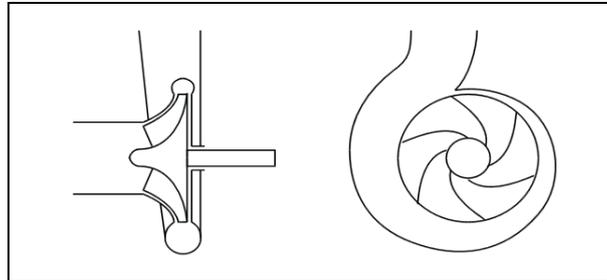
Fuente: [15]

8.2.2.2.1. Bomba radial (centrífuga)

Las hidrobombas centrífugas están clasificadas en el tipo cinético, caracterizadas por la descarga del líquido en una dirección perpendicular a su entrada en la bomba, es decir, el flujo es radial. A pesar de que se generaliza la palabra "centrífugas" para agrupar a todas las bombas cinéticas

o rotodinámicas, es crucial recordar que las centrífugas son simplemente un subtipo dentro de esta categoría. Maneja caudales pequeños a una presión elevada [16].

Figura 12. *Bomba centrífuga.*

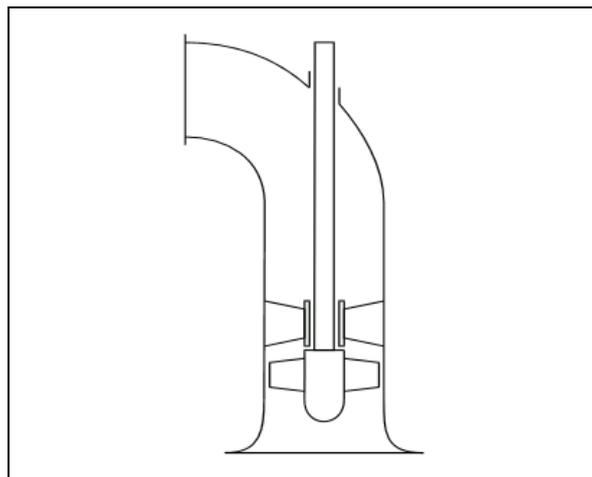


Fuente: [3]

8.2.2.2.2. Bombas axiales

La operación conveniente de estas bombas axiales se da cuando trabajan de manera vertical con el impulsor sumergido en agua, ya que, en posición horizontal, la carga de succión afecta negativamente la optimización, generando pérdidas considerables. Estos mecanismos pueden ser utilizadas en aplicaciones horizontales, verticales o inclinadas, así como sumergidas parcial o completamente. Aunque son capaces de manejar grandes volúmenes de fluido, su eficiencia disminuye notablemente a altas presiones. Esto las convierte en la elección preferida de empresas especializadas en actividades como riego, drenaje y bombeo en pequeñas variaciones de altura [17].

Figura 13. *Bomba axial.*

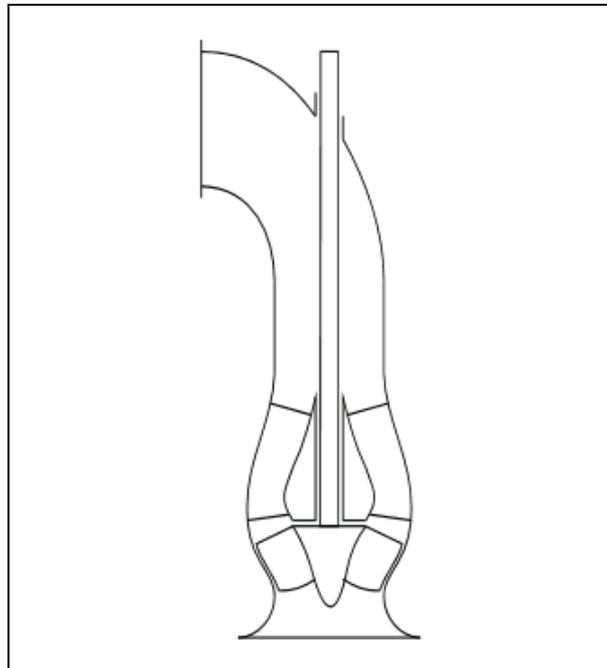


Fuente: [3]

8.2.2.2.3. Bombas mixtas

Al ser introducidas axialmente y evacuar con una inclinación angular, estas bombas, conocidas como flujo diagonal o semiaxial, capitalizan tanto la fuerza centrífuga como el impulso axial. Este diseño ingenioso resulta en un equilibrio óptimo entre los caudales y las alturas características de las hidrobombas radiales y axiales. En consecuencia, estas máquinas hidráulicas no solo demuestran un rendimiento eficiente, sino que también representan una solución intermedia de ambos tipos de bombas, destacándose como elementos clave en aplicaciones que requieren una combinación específica de caudal y presión [17].

Figura 14. *Bomba mixta.*



Fuente: [3]

8.2.3. Parámetros de operación de una bomba

En el análisis de una estación de bombeo, la tabla proporciona los parámetros más comúnmente evaluados junto con las respectivas unidades de medida. Entre estas variables, el salto útil, el caudal y la potencia hidráulica emergen como los aspectos de mayor relevancia. Dichas magnitudes son fundamentales para comprender el rendimiento y la eficiencia del sistema, proporcionando información clave para la toma de decisiones en el diseño y la gestión de la estructura de propulsión de agua [18].

Tabla 3. *Unidades de las variables significativas.*

Nombre	Símbolo	Unidad	Dependencia
Salto útil	H_u	m	
Caudal	Q	m^3/s	
Torque	T	kNm	
Velocidad de rotación	n	rpm	
	ω	Hz	$= \pi n/30$
Potencia hidráulica	P_h	kW	$= gH_uQ$
Potencia mecánica	P_m	kW	$= T\omega$
Potencia eléctrica	P_e	kW	
Rendimiento hidráulico	η_h		
Rendimiento mecánico	η_m		
Rendimiento eléctrico del motor	η_e		

Fuente: [18]

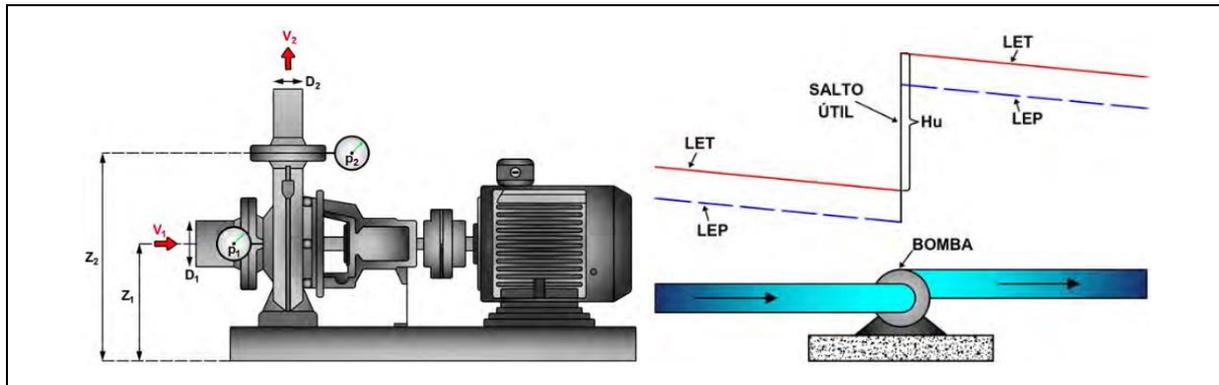
8.2.3.1.Salto útil

El salto útil es evidente a través de líneas de energía, que denota la energía específica transferida al fluido por la bomba que se encuentra intercalada en la conducción. H_u , en el eje ordenado, se señala la discrepancia entre las líneas de energía total (LET) en el acceso y termino de la hidrobomba, figura 15. Su magnitud se obtiene al restar las energías totales por unidad de peso H_2 y H_1 , donde H_1 se calcula en la sección de acceso (1) y H_2 en la sección de termino (2) del mecanismo de impulsión [18].

$$H_u = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + Z_2 - Z_1 \quad \text{Ecuación 10}$$

La ecuación de salto útil, se deriva de la ecuación de Bernoulli, donde P es presión, ρ densidad, V es velocidad, g gravedad y Z es la energía potencial.

Figura 15. Representación del salto útil de una bomba..



Fuente: [18]

8.2.3.2. Potencia hidráulica

A partir de la expresión matemática de Bernoulli, se deriva otra expresión de energía que relaciona la densidad, el salto útil, la gravedad y el volumen (\forall). Para luego derivar la ecuación con respecto al tiempo y así se obtiene la potencia hidráulica. Donde Q es caudal, y a la vez se asume $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$. Por lo general, es preferible emplear el kilovatio como unidad de medida, ya que las magnitudes de potencia asociadas a las instalaciones hidromecánicas están en el orden de miles de vatios, quedando reducida al a ecuación 12 [18].

$$E = \rho g H_u \forall \gg P_h = \frac{dE}{dt} = \rho g H_u \frac{d\forall}{dt} = \rho g H_u Q \quad \text{Ecuación 11}$$

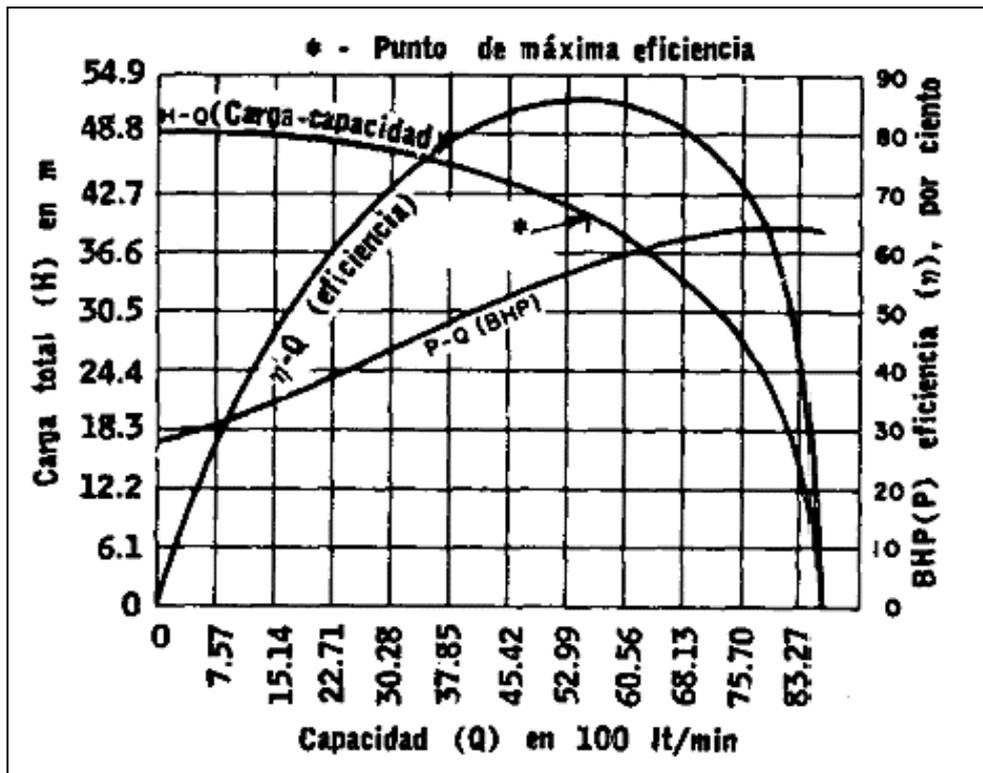
$$P_h = g H_u Q \quad \text{Ecuación 12}$$

8.2.4. Curva característica de la bomba

Las gráficas importantes de la bomba centrífuga pueden obtenerse consultando los catálogos o la información técnica del fabricante tras obtener los datos de la placa de características de la bomba. Estas curvas relacionan las variables que intervienen en el funcionamiento de la bomba. Las curvas características de una bomba se muestran en la figura 16. Las ilustraciones de líneas de acción de una bomba, que muestran datos comparables independientemente del fabricante, suelen ser las siguientes: la curva de carga en función del caudal (mostrada a velocidad constante y para distintos diámetros de impulsor), la curva de NPSH en función del caudal, la curva de rendimiento en función del caudal y la curva de potencia en función del caudal. Si el fabricante de la bomba que se va a evaluar no puede

proporcionar detalles técnicos, pueden utilizarse curvas de referencia con atributos comparables de la bomba, tales como diámetro y tipo de impulsor, velocidad, tamaño, etc. [1].

Figura 16. Bomba centrífuga y características capacidad de carga ($H-Q$), Potencia hidráulica ($P-Q$) y eficiencia ($\eta-Q$).

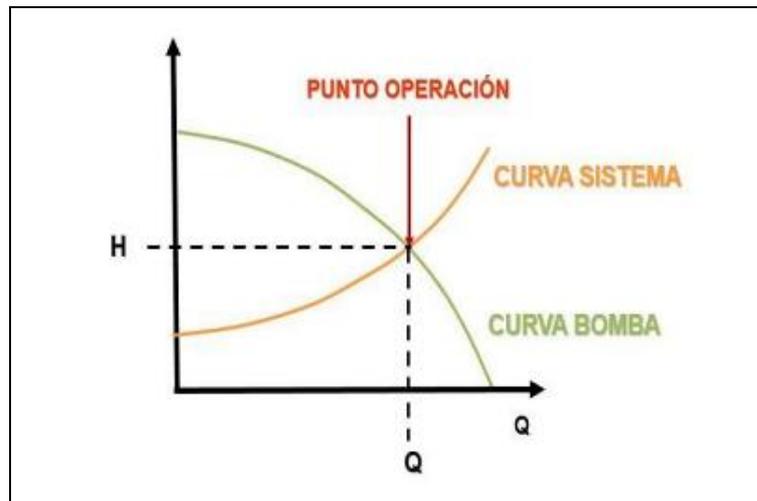


Fuente: [18]

8.2.5. Punto de operación

El punto de funcionamiento de una bomba es el caudal volumétrico que producirá cuando se instale en un sistema determinado; la resistencia del sistema, que equivale al mismo caudal volumétrico, se utiliza para calcular la carga total que crea la bomba. El caudal de la bomba Q y la altura de bombeo H , que se correlacionan con la presión diferencial total a través de la bomba representada como la altura de columna del fluido bombeado, indican el punto de funcionamiento de la bomba. El punto de máximo rendimiento de una bomba centrífuga (BEP) es el punto de funcionamiento en el que el rendimiento de la bomba alcanza su mayor valor [1].

Figura 17. Punto de operación de una bomba.

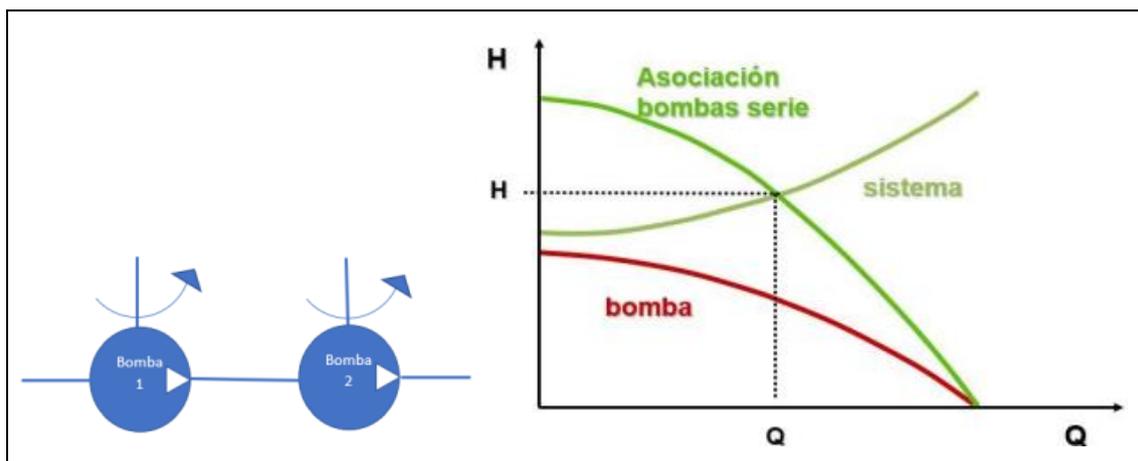


Fuente: [2]

8.2.6. Bombas en serie

Un canal en el que una bomba centrífuga alimenta a la otra debe realizarse con el uso de válvulas para implementar un sistema en serie. En consecuencia, en un circuito en serie, la altura total (H_t) del caudal es igual a la suma de las capacidades de las dos bombas, y se mantiene el caudal ($Q_i = Q_1 = Q_2$), donde Q_1 y Q_2 corresponden a los caudales de la bomba 1 y la bomba 2, respectivamente [19].

Figura 18. Combinación en serie de bombas.

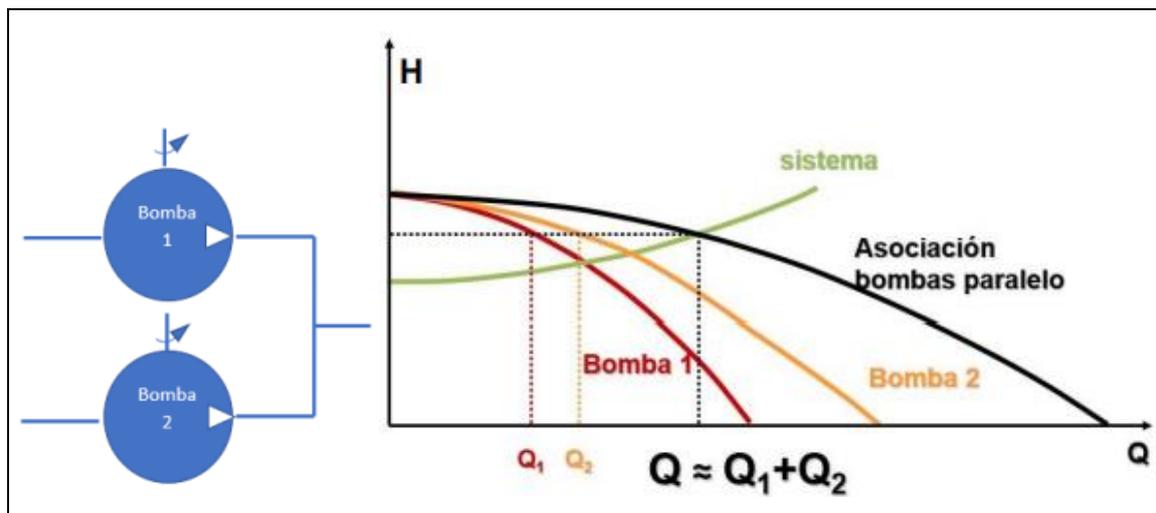


Fuente: [2], [20]

8.2.7. Bombas en paralelo

Si dos bombas funcionan en tándem para abastecer a una sola tubería, el circuito se explica de forma sencilla, cada una absorbe agua del depósito por separado, y sólo se reúnen en la última porción. Cuando se combinan los caudales de dos bombas centrífugas para formar un circuito paralelo, se obtiene la altura (H_i), la cual no aumenta ni disminuye. El caudal total ($Q_t=Q_1+Q_2$), es igual a la suma de sus caudales individuales [19].

Figura 19. *Combinación en paralelo de bombas.*



Fuente: [2], [20]

8.2.8. Cavitación en bombas

Se utiliza el término para explicar el fenómeno que se manifiesta en una bomba cuando la cantidad de NPSH disponible es insuficiente. Con esta disminución, el líquido experimenta una fase de evaporación, generando burbujas que colisionan, generando hendiduras en las superficies de elevada presión de los componentes desplazables del mecanismo y alterando la dinámica del fluido. Esta situación surge a raíz de la disminución de la presión estática por debajo del punto de vapor del líquido correspondiente a la temperatura del fluido en cuestión. Este fenómeno resulta en daños mecánicos significativos para la bomba, como desgaste, ruido y vibración en las piezas, lo que reduce considerablemente su rendimiento [21].

8.2.8.1. NPSH

Los fabricantes de bombas comprueban la presión de aspiración necesaria para evitar la cavitación en cada diseño, y los resultados se expresan como altura de aspiración positiva neta necesaria [1]. Corresponde a la disparidad entre la presión presente en el acceso de la hidrobomba y

la fuerza de evaporación del fluido a bombear. Dicha discrepancia juega un papel crucial en el rendimiento óptimo del equipo al prevenir la cavitación. Se utiliza el término para especificar la carga neta de succión (*Net Positive Suction Head*), existen dos tipos de NPSH [21].

8.2.8.1.1. NPSH_r (requerido)

La determinación de este valor se lleva a cabo por el fabricante, tomando en consideración elementos tales como el tipo, modelo, capacidad y velocidad. El requisito mínimo de presión de succión para asegurar un rendimiento estable es un parámetro que está completamente ligado al diseño específico de la bomba. Se puede utilizar la siguiente ecuación en caso de carecer de la curva [21].

$$NPSH_r = 0.00125(QxRPM^2)^{0.67} \quad \text{Ecuación 13}$$

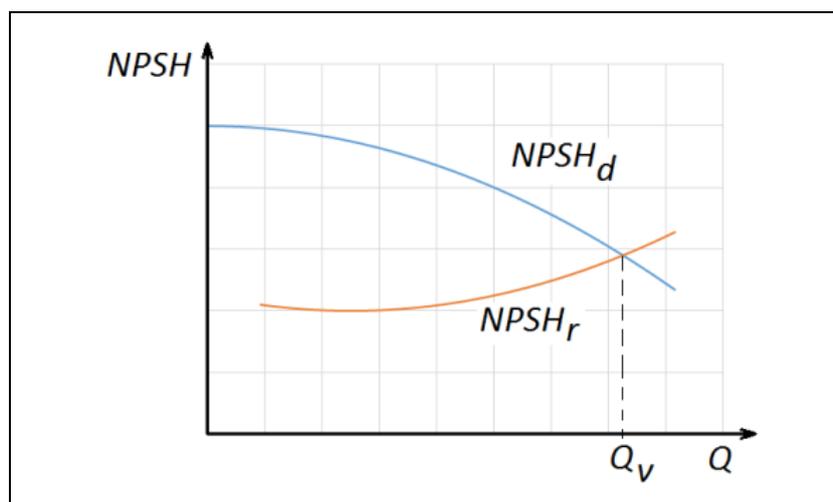
Donde, RPM es el número de revoluciones por minuto, Q es el caudal en m³/s.

8.2.8.1.2. NPSH_d (disponible)

La magnitud está condicionada por el sistema en el que la bomba está en funcionamiento. Representa el exceso de presión del líquido en comparación con su tensión del gas evaluada en la aspiración del mecanismo de impulsión [21]. Operando con el caudal límite por cavitación Q_{lim}, se encontrará un cruce de curva al superponer las gráficas de NPSH de la bomba y la instalación. Este punto, donde NPSH_r iguala a NPSH_d, señala que la instalación proporciona a la bomba la energía mínima necesaria para su funcionamiento, evitando la cavitación [1].

$$NPSH_d = \frac{P_{atm} - P_{vapor}}{\rho g} - \Delta Z - h_f - \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{Ecuación 14}$$

Figura 20. Caudal limite, punto ideal de funcionamiento.



Fuente: [22]

8.2.9. Diseño de la aspiración

La cavitación, causada comúnmente por un diseño inadecuado en el sistema de aspiración, representa la razón más común de un rendimiento inadecuado en bombas. Además, se destaca otro problema asociado con la aspiración: el cebado. En situaciones en las que las bombas se ubican superior la altura del fluido que se va a impulsar, enfrentan dificultades al evacuar el aire presente en la tubería. Para superar este desafío, se requiere llenar la tubería de aspiración con líquido antes de poner en marcha la bomba. Este procedimiento se conoce como cebado y es esencial para garantizar el rendimiento adecuado del sistema de bombeo [3].

8.2.9.1. Mejora del NPSH

Cuando se reduce gradualmente la presión en el interior del impulsor, se reducida gradualmente favorece la aparición de cavitación del fluido. En el punto en que el NPSH disponible es igual al NPSH requerido, el fluido cavita. La presión en el interior del flujo es inferior a la presión de saturación, dando lugar a una caída del 3% en el factor de altura. Así, hasta que la cavitación se percibe por la variación del rendimiento de la máquina, la cavitación ya se ha establecido [23]. En la situación en que el líquido manifieste altas temperaturas, se procede a su enfriamiento mediante la inserción de un refrigerante en la tubería, ocasionando una reducción en la presión de vapor del fluido. Otra opción válida consiste en succionar el líquido en un punto de la corriente donde la temperatura

sea más baja. La opción aparentemente más simple consiste en aumentar la elevación mínima del fluido en el tanque o elevar el tanque en sí [3].

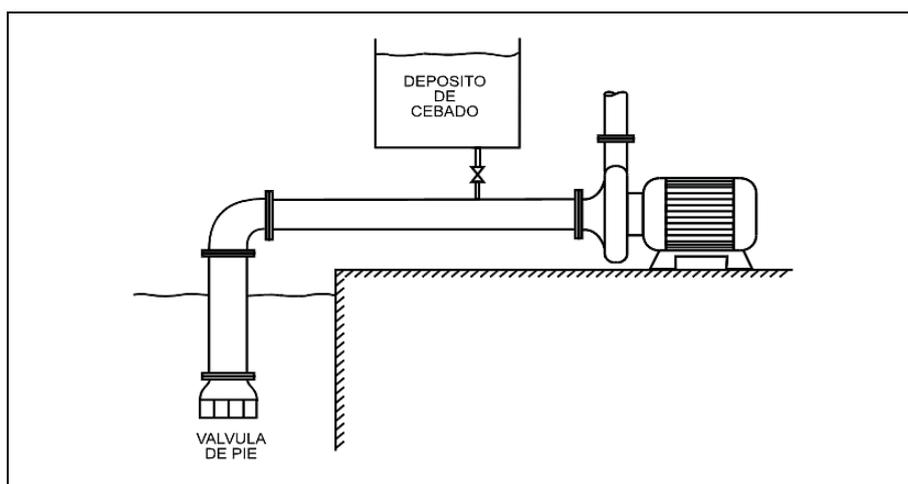
8.2.9.2. Vórtice de entrada

Debido a la fricción viscosa en su superficie y a los diminutos impactos secuenciales de expansión y compresión que experimenta el fluido al pasar por los prerotadores de entrada, producen pérdidas adicionales. La incidencia del flujo en el borde de ataque y los vórtices creados en su interior reducen la carga total en la aspiración de la bomba y la acercan al punto de cavitación. Al evaluar la utilización de estas características debe tenerse siempre en cuenta el equilibrio entre las mejoras de rendimiento y los efectos en la altura de aspiración positiva neta [24].

8.2.9.3. Cebado

En el inicio operativo de una hidrobomba, es esencial llevar a cabo el cebo, que implica la eliminación total del aire o gases internos. Esta medida es crucial para garantizar que la bomba pueda propulsar de manera efectiva el fluido de trabajo. Se hace necesario realizar este procedimiento especialmente cuando la instalación nunca ha sido utilizada, es decir, en el caso de bombas completamente nuevas. En situaciones en las que ha transcurrido un tiempo considerable desde la última utilización de bombas de succión negativa, es probable que sea requerido repetir el proceso de cebo [25].

Figura 21. Cebado de un sistema de bombeo.



Fuente: [3]

8.3. Selección de Bombas

En el marco de la optimización energética del sistema, la metodología se basa en enfoques empíricos. Estos métodos son empleados de manera específica para fijar los puntos de operación de la máquina, permitiendo así la selección de la bomba más idónea a partir de un catálogo preexistente. Al evaluar los valores de caudal y altura potencialmente recuperable, se facilita la identificación de la maquinaria que contribuirá significativamente al mencionado objetivo de eficiencia energética [26].

8.3.1. Parámetros adimensionales

Desde una perspectiva teórica, la selección de bombas se asemeja al proceso de definir las dimensiones principales durante la fase de diseño. Se inicia considerando el nivel vertical, el flujo de agua y el NPSH. A partir del caudal y el NPSH, se determina el tamaño de la entrada y la rotación, ajustando esta última a valores prácticos compatibles con los motores disponibles. Una vez completado este paso, y según la velocidad específica, se opta por un mecanismo axial, mixta o radial. Según la clase de mecanismo seleccionado, se indaga el tamaño particular que ofrezca la eficiencia conceptual más óptima, definiendo así el diámetro adecuado. En esta etapa, además se considera la cantidad de fases o, se dé el caso de mecanismos radiales, la elección de una máquina de impulsión con doble entrada, pues modifica la velocidad [3].

8.3.2. Factores que influyen en la selección

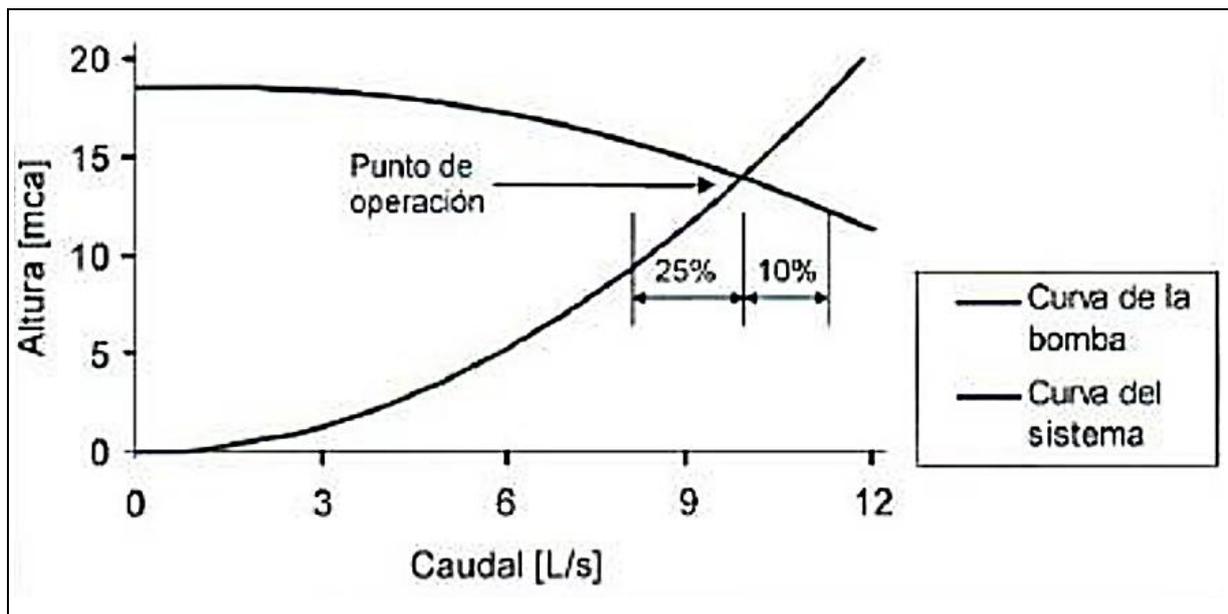
Al seleccionar hidrobombas y llevar a cabo una tarea determinada, es esencial tener en cuenta diversos aspectos clave. Estos abarcan desde el límite de presión y caudal operativa hasta la eficiencia de la máquina impulsora, la facilidad de sostenimiento y el consumo energético necesario durante la etapa inicial. Este enfoque permite una consideración integral de los elementos fundamentales, contribuyendo así a una elección informada y eficaz de las bombas adecuadas para la labor en cuestión [27].

La selección de una bomba implica seguir cinco pasos esenciales, sin importar si es del tipo centrífuga, reciprocante o rotatoria, pequeña o grande. Estos pasos, aplicados sistemáticamente, garantizan una elección adecuada según las necesidades específicas del sistema. En primer lugar, se evalúa la capacidad para determinar la disposición de la bomba y la tubería, asegurando la representación adecuada. Luego, se realiza un análisis exhaustivo de la carga dinámica total para optimizar el rendimiento del sistema, seguido de la determinación de las condiciones del líquido. Por último, la elección de la clase y el tipo correspondientes [27].

8.3.3. Rendimiento óptimo

La elección del mecanismo de impulsión no es apropiada para las condiciones y particularidades del sistema de impulsión si la coordenada de trabajo se encuentra lejos de la coordenada de rendimiento limite. Se sugiere que el criterio óptimo para la operación sea el punto de rendimiento máximo o lo más cercano posible a este punto. En la figura 22, se puede apreciar el punto de operación, intersección de la curva de la bomba y del sistema [28].

Figura 22. Rendimiento óptimo basado en el punto de operación de la bomba.



Fuente: [28]

8.4. Tuberías

Una tubería es un conducto cerrado, el cual permite el paso del líquido o gas a transportar, este está confinado ejerciendo una presión en el contorno, la forma circular es la más común, también hay de otras formas como cuadradas o rectangulares. Los materiales usados en su fabricación suelen ser acero, poliéster reforzado con fibra de vidrio, polietileno, policloruro de vinilo, hierro fundido [29].

8.4.1. Cálculo de flujo en tuberías

El paso del fluido por el conducto es el tipo de flujo que se está demostrando; este flujo es crucial para las cuestiones de dinámica de fluidos. Dependiendo de las circunstancias, cuando los fluidos se desplazan por un canal cerrado de cualquier sección transversal puede producirse

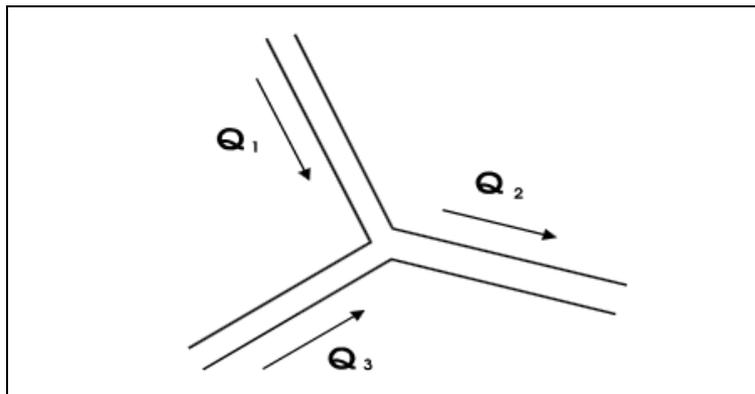
cualquiera de los dos tipos de flujo. Es común observar estas dos formas de flujo en ríos y otras corrientes abiertas. El desplazamiento del flujo es suave y uniforme a bajas velocidades [30].

8.4.1.1. Ecuación de continuidad

Según la ecuación de continuidad, la masa total de un fluido que entra en una parte y la masa total que sale de esa parte deben ser iguales en un flujo constante y sin pérdidas. Esto sugiere que, a lo largo de una tubería o conducto, el caudal del volumen de fluido que se desplaza por unidad de tiempo permanece constante. Esta condición conduce a la derivación de una ecuación para los nudos. La ecuación asociada se expresa de la siguiente manera [31]:

$$\sum Q = 0 \quad \text{Ecuación 15}$$

Figura 23. Nudo en tuberías.



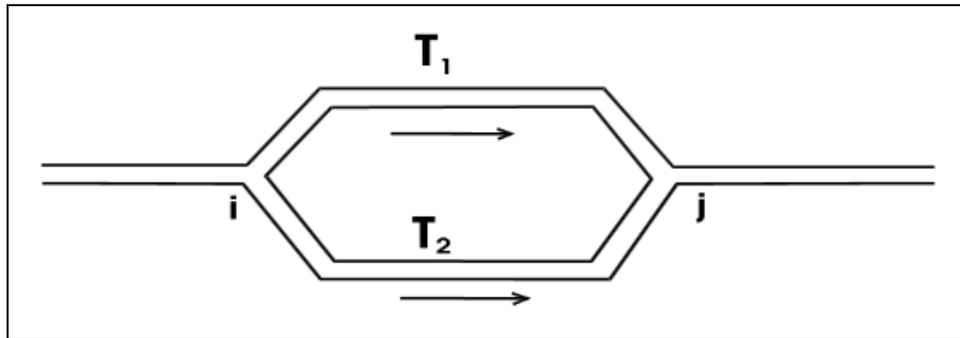
Fuente: [3]

8.4.1.2. Ecuación de la energía

Según la expresión matemática energética, la altitud en el sistema está determinada por el punto en consideración, independientemente del conducto utilizados para alcanzarlo. Cuando se presenta dos conductos distintos para conectar un punto i con otro j , como se indica en la figura 25, es posible expresar la ecuación de la energía a través del conducto 1 de la siguiente manera [3]:

$$\frac{P_i}{\rho g} + \frac{V_i^2}{2g} + Z_i - h_{pt1} = \frac{P_j}{\rho g} + \frac{V_j^2}{2g} + Z_j \quad \text{Ecuación 16}$$

Figura 24. Nudo i, j , unidas por tuberías T_1 y T_2 .



Fuente: [3]

También se puede plantear en la tubería 2 como [3]:

$$\frac{P_i}{\rho g} + \frac{V_i^2}{2g} + Z_i - h_{pt2} = \frac{P_j}{\rho g} + \frac{V_j^2}{2g} + Z_j \quad \text{Ecuación 17}$$

Obteniendo como última ecuación una igualdad en pérdidas en ambas tuberías [3].

$$h_{pt1} = h_{pt2} \quad \text{Ecuación 18}$$

8.4.1.3. Pérdida de carga

La reducción de energía por fricción a lo largo del conducto se relaciona principalmente con el caudal elevado al cuadrado y la resistencia de la tubería k . La evaluación de las pérdidas primarias generalmente utiliza la expresión matemática generada por los ingenieros Henry Darcy y Julius Weisbach. La ecuación, que mantiene la consistencia dimensional y es conocida como DW, se establece en términos de la pérdida de presión en la tubería [32].

$$h_p = kQ^2 \quad \text{Ecuación 19}$$

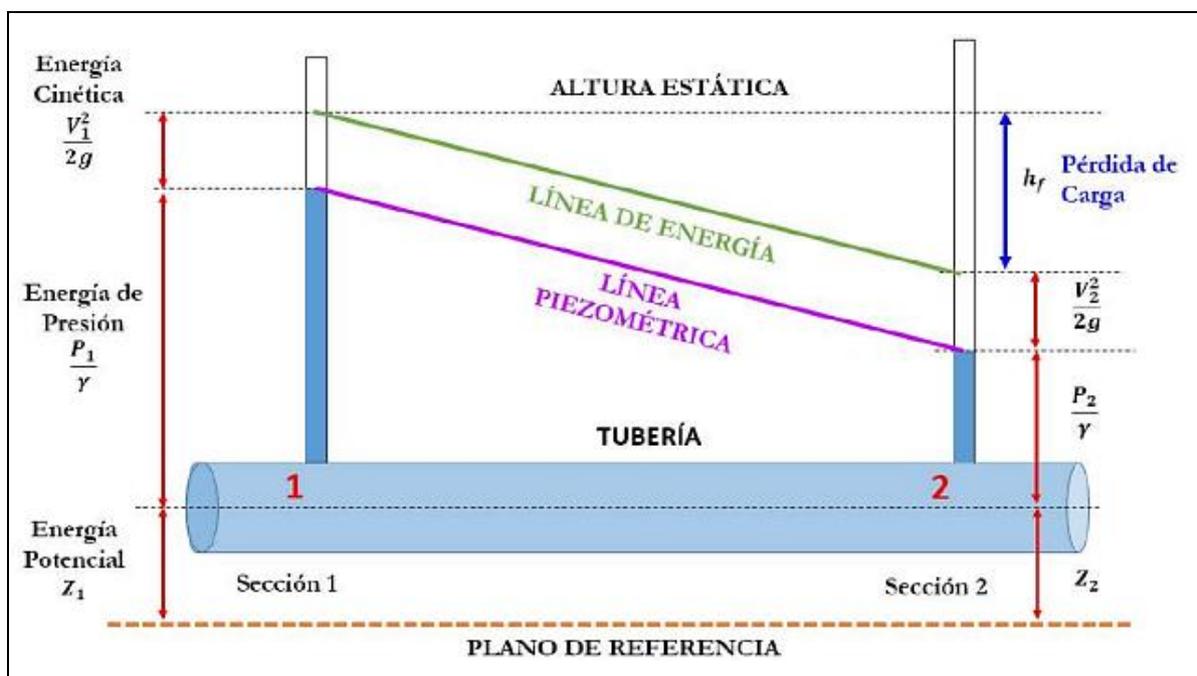
$$h_p = f_D \frac{L}{D} \frac{V_m^2}{2g} \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde f_D es denominado factor de fricción de Darcy, L la medida del conducto, D es el diámetro del conducto, V_m la velocidad media de flujo y g la gravedad.

8.4.1.4. Línea piezométrica y línea de energía

Al identificar áreas sometidas a niveles elevados de presión o, por el contrario, localizar puntos sujetos a presiones más bajas, la línea piezométrica indica la energía de una partícula de fluido bajo presión. Esta información resulta esencial para evaluar la presión a la que están expuestos diferentes puntos dentro del sistema. Se describe la línea de energía como la agregación, en cada posición particular, de las tres alturas correspondientes a la energía potencial, cinética, y la presión [33].

Figura 25. Línea de energía y línea piezométrica.

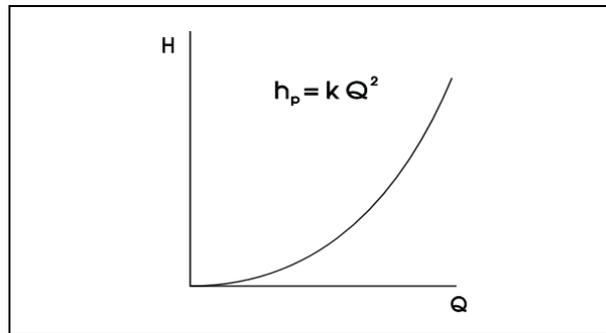


Fuente: [34]

8.4.1.5. Curva característica

El funcionamiento de un sistema de tuberías se puede comprender mediante el empleo de las gráficas de las líneas de operación. Esto aborda de manera esquemática las expresiones asociadas a un caso presentado. Cabe señalar que la secuencia de puntos que expresa la relación entre la altura y el caudal del sistema se conoce como curva característica. La gráfica de una porción de conducto se rige por una estructura parabólica [3].

Figura 26. Tramo de tubería y su curva característica.

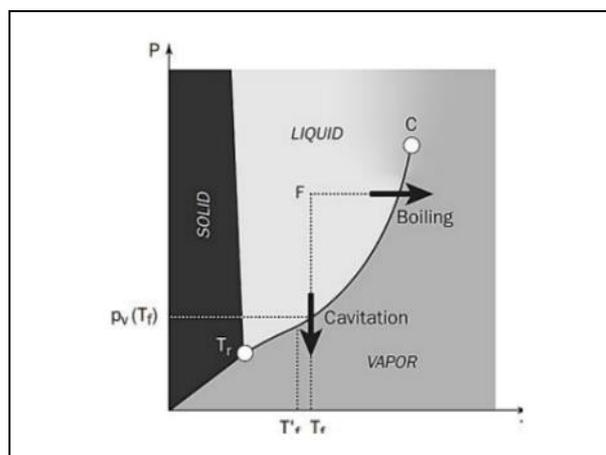


Fuente: [3]

8.4.1.6. Cavitación

La cavitación, que en pocas palabras no es más que la formación y el colapso de burbujas de vapor en un fluido. La formación de burbujas se produce en un punto en el que la presión es inferior a la presión de vaporización del líquido, las cuales se colapsan al aumentar la presión, dando lugar a micro implosiones. Estas micro implosiones crean una onda de choque que libera grandes cantidades de energía a nivel microscópico. Es un ciclo que dura unos 2 milisegundos y puede producirse entre 200 y 300 veces por segundo. Desde un punto de vista hidráulico, la cavitación puede describirse como la rotura de un fluido sometido a grandes esfuerzos. Como muestra el diagrama de la figura 9, existe una diferencia entre cavitación y vaporización [35].

Figura 27. Diferencia entre cavitación y vaporización.



Fuente: [35]

8.4.2. Pérdidas lineales en tuberías

El coeficiente de fricción en sólidos puede compararse con la viscosidad en fluidos, ya que ambos influyen significativamente en el comportamiento del flujo. A medida que aspectos como la viscosidad, velocidad y rugosidad de las superficies aumentan, se genera una resistencia adicional al flujo, con la consecuente transformación de la energía cinética en calor. Estas pérdidas, conocidas como primarias o mayores, constituyen la parte más significativa de la disminución de la energía en la red de conductos. Es crucial realizar un cálculo preciso de estas pérdidas, ya que una subestimación podría resultar en la falta de potencia necesaria para lograr la velocidad, altura o presión requeridas en el sistema líquido [16].

8.4.2.1. Flujo laminar

Un fluido que pasa por el interior de una tubería a una velocidad medida se conoce como flujo laminar; esto permite que el fluido se mueva de forma ordenada y crea un desplazamiento en las láminas o capas de corriente. En consecuencia, las partículas experimentan desplazamiento sin rotación significativa o con una energía rotacional mínima. Osbold Reynolds identificó este tipo de flujo como laminar, denotando así que las partículas se desplazan en capas o láminas [36].

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde V es velocidad, D diámetro de la tubería y ν viscosidad cinemática. En el caso de flujos internos en tuberías circulares, cuando nos enfrentamos a un régimen laminar ($Re < 2000$), la transferencia de movimiento se caracteriza por capas bien definidas y un movimiento ordenado. Esta organización se refleja en la expresión del factor de fricción, $f = 64/Re$, donde Reynolds (Re) se erige como un indicador clave del flujo [16].

$$h_{pL} = 32 \frac{LV\nu}{gD^2} \quad \text{Ecuación 22}$$

8.4.2.2. Flujo turbulento

Cuando un fluido se desplaza por una tubería a una velocidad excesiva, crea remolinos y se mueve en todas direcciones. Es lo que se conoce como flujo turbulento. En consecuencia, la viscosidad disminuye en su impacto. La rotación resultante provoca colisiones entre las partículas durante la transición entre trayectorias, generando un cambio errático en la dirección de las partículas [36].

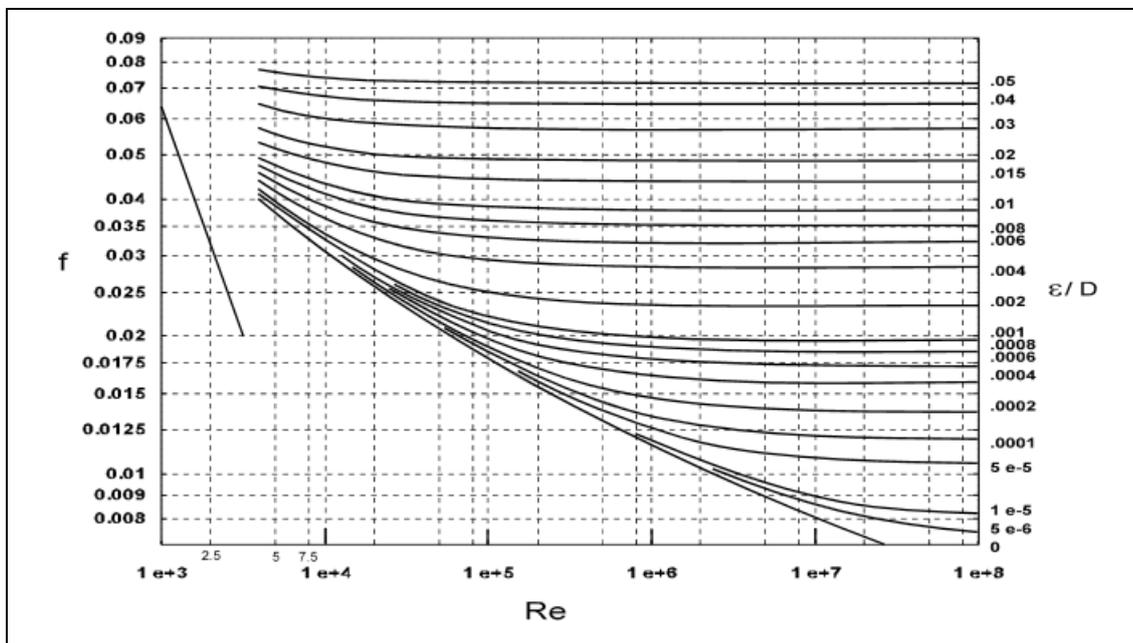
En situaciones de flujo turbulento (cuando $Re > 4000$), se procede al cálculo del factor de fricción mediante la referencia al diagrama de Moody. Este cálculo implica el uso de los valores del número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería, expresado como una función de la forma $f = \text{función}[Re, k]$, ($k = \varepsilon/D$). Existe también una ecuación que es explícita y que maneja una precisión aceptable y un rango amplio de aplicación. Esta es la ecuación de Swamme y Jain [16].

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{k}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{Ecuación 23}$$

8.4.2.3. Coeficiente de fricción

Es válido para una corriente laminar de flujo la fórmula de Darcy-Weisbach, con un coeficiente de fricción $f = 64/Re$. Sin embargo, cuando el flujo es turbulento, dependerá del número de Reynolds y la rugosidad relativa ε/D . Colebrook y White, combinado leyes sobre el coeficiente de fricción, obtuvieron una ecuación aplicable a todo flujo turbulento. Con esta ecuación (24, 25), Moody desarrolló un diagrama (figura 28), para determinar de forma rápida el coeficiente de fricción [3].

Figura 28. Diagrama de Moody.



Fuente: [3]

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad \text{Ecuación 24}$$

$$f = 0.0055 \left[1 + \left(2000 \frac{\varepsilon}{D} + \frac{10^6}{Re} \right)^{1/3} \right] \quad \text{Ecuación 25}$$

Adicionalmente, cabe mencionar que la determinación del parámetro de rugosidad adquiere una relevancia notable en el análisis técnico. Este dato, esencial para evaluar la calidad y textura superficial de materiales, puede ser obtenido mediante la consulta de información suministrada por el fabricante, tal como se detalla en la tabla correspondiente. La precisión en la medición de la rugosidad se posiciona como un aspecto crucial para garantizar estándares de calidad y rendimiento óptimos en aplicaciones industriales y técnicas [3].

Tabla 4. *Tuberías y su rugosidad*

Material	Rugosidad ε (m)
Acero comercial	$3 \times 10^{-5} - 10^{-4}$
Plástico, Cobre	$6 \times 10^{-6} - 3 \times 10^{-3}$
Hormigón	$3 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-3}$
Hierro fundido	$8 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-4}$
Hierro galvanizado	$10^{-4} - 2 \times 10^{-4}$

Fuente: [3]

8.4.3. Pérdidas singulares en tuberías

En el cálculo de la reducción de energía de una red de flujo, se encuentran factores inherentes a modificaciones en el flujo, tanto en magnitud como en dirección, así como en las conexiones entre distintos elementos, tales como válvulas, codos, tes, uniones reductoras y expansiones. Cada uno de estos accesorios, esencial para regular el flujo o alterar su dirección, presenta un coeficiente de resistencia o pérdida. Este coeficiente, clave en la expresión de pérdidas de energía, se relaciona con la ecuación de Darcy-Weisbach. La ecuación para las pérdidas singulares o secundarias (menores) guarda analogía con la ecuación que aborda las pérdidas lineales o primarias (mayores) [16].

El coeficiente de resistencia se puede calcular de la siguiente manera:

$$\xi = f_T \frac{L_e}{D} \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde f_T es el factor de fricción turbulento, L_e la longitud equivalente, y D , el diámetro interno de la tubería.

8.4.3.1. Coeficiente de pérdidas singulares

En la tabla 5, se encuentran registrados valores comunes de este coeficiente para diversas singularidades. Esta tabla sirve como referencia para evaluar la influencia de diferentes condiciones en las pérdidas de carga del sistema. Es crucial destacar que la relación entre las pérdidas de carga singulares y la energía cinética del fluido en la conducción de la tubería se establece de manera directa [16].

Tabla 5. *Coeficiente de resistencia para algunos accesorios.*

Tipo de singularidad	ξ
Válvulas, codos, tes	$f_T(L_e/D)$
Entrada proyectada	1
Entrada recta	0.5
Entrada muy suave	0.05
Salida de una tubería	1
Ensanchamiento brusco	$(1-(D_1/D_2)^2)^2$
Reducción brusca de sección (contracción)	$0.5(1-(D_1/D_2)^2)^2$

Fuente: [16]

8.4.3.2. Longitud equivalente

Se propone abordar las pérdidas singulares mediante la conceptualización de un prolongamiento ficticio de la tubería en la que están localizadas. Esta estrategia permite la simplificación de cálculos subsiguientes al considerar exclusivamente disipaciones primarias. La distancia resultante de un componente particular se determina a través de la siguiente fórmula [16]:

$$L_e = \xi \frac{D}{f} \quad \text{Ecuación 27}$$

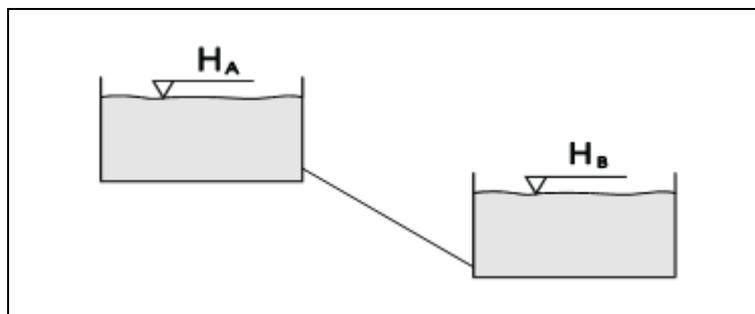
8.4.4. Configuraciones de tuberías

En distintos sectores industriales, como plantas manufactureras o sistemas de transporte de fluidos, es frecuente hallar la conexión de múltiples tuberías dispuestas en secuencia, conocida como sistemas de tuberías en serie. Estas tuberías pueden compartir el mismo material, variando en diámetro o composición. Por otro lado, en sistemas en paralelo, una tubería se divide en ramificaciones que se reúnen más adelante. Un beneficio de un sistema en paralelo con dos ramas es crear una vía secundaria para mantener la continuidad del proceso durante mantenimiento o reparaciones en la vía principal [16].

8.4.4.1. Tubería simple

La presión es una medida de la energía perdida como consecuencia de la fricción, que provoca pérdidas primarias. Las pérdidas por fricción, que se miden en flujos laminares y turbulentos, se producen normalmente por la fricción que existe entre el flujo que atraviesa las paredes de la tubería y el sistema en su conjunto. Para examinar las pérdidas por fricción o longitud se utilizará la ecuación de Darcy Weisbach [36].

Figura 29. *Tuberías en simple que une dos tanques.*

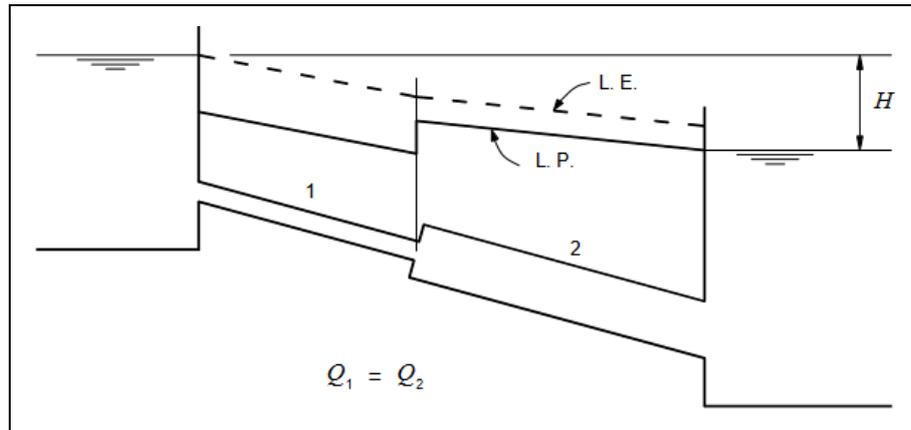


Fuente: [3]

8.4.4.2. Tuberías en serie

Cuando se disponen en serie dos o más tuberías, con distintos diámetros y rugosidades, se establece que el mismo flujo las atraviesa en secuencia. Este arreglo posibilita el paso del caudal a través de cada tubería sucesiva, generando una configuración que influye en las propiedades hidráulicas de cada elemento. La figura 30 representa una conexión de tuberías en serie, donde la energía disponible H es igual a la sumatoria de todas las pérdidas de carga presentes en el sistema [29].

Figura 30. *Tuberías en serie.*



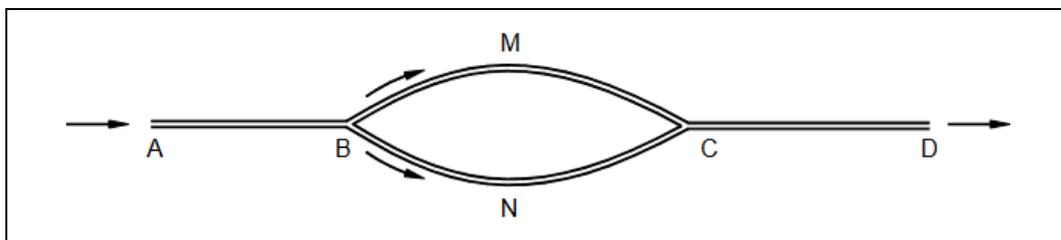
Fuente: [29]

$$H = f_1 \frac{L_1 V_1^2}{D_1 2g} + f_2 \frac{L_2 V_2^2}{D_2 2g} + \sum h_{loc} \quad \text{Ecuación 28}$$

8.4.4.3. Tuberías en paralelo

En el caso de sistemas de tuberías, se verifica la disposición en paralelo cuando ambos conductos comparten idéntica energía tanto en su inicio como en su término. Esta equidad se traduce en que la energía disponible para el segundo tramo coincide con la energía disponible para el primer tramo, estableciendo así un principio fundamental. Ambas rutas comparten igual flujo de entrada y salida [29].

Figura 31. *Tuberías en paralelo.*



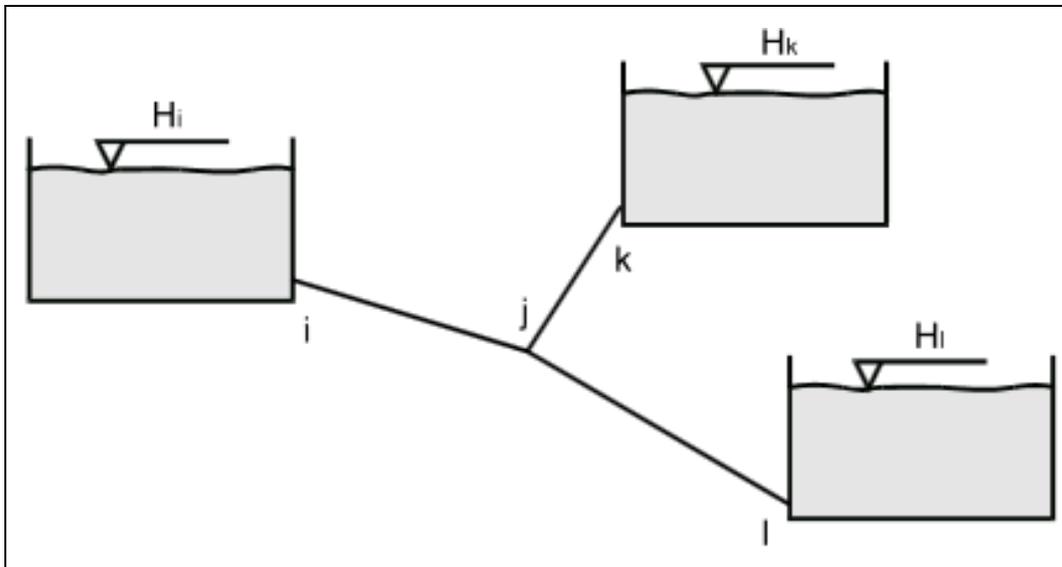
Fuente: [29]

8.4.4.4. Nudos de tuberías

En el caso de la convergencia de múltiples conductos en un punto común, denominado nudo, es imperativo relacionar la altura en dicho nudo con las alturas de los extremos respectivos de los conductos, asegurándose de que se cumpla la ecuación de continuidad. Se requiere una atención

meticulosa a los sentidos de flujo en los conductos, siendo crucial considerar los caudales que fluyen del primer índice al segundo [3].

Figura 32. *Nudo de tubería.*



Fuente: [3]

8.4.5. Determinación de la tubería

En el proceso de diseño de sistemas de conductos, la elección meticulosa de materiales, así como la consideración cuidadosa del diámetro y espesor, se revela como un aspecto crítico. Evaluar de manera exhaustiva la interacción entre estas variables se vuelve fundamental para alcanzar un equilibrio óptimo en la selección de materiales destinados a los conductos. Esta toma de decisiones no solo debe basarse en criterios técnicos, sino también debe considerar aspectos económicos, asegurando así que el diseño sea tanto eficiente como económicamente viable [3].

8.4.5.1. Selección del diámetro

Al determinar el diámetro de las tuberías a utilizar, resulta esencial adherirse a las normas establecidas para dichos diámetros. Asimismo, resulta altamente beneficioso considerar las ofertas disponibles de proveedores habituales. En el caso de diámetros más extensos, se requiere la fabricación mediante el doblado y soldado de chapa, ofreciendo una mayor flexibilidad en esta situación. Sin embargo, se aconseja evitar la inclusión de demasiados decimales para prevenir posibles reacciones jocosas por parte de los trabajadores del taller [3].

Tabla 6. *Velocidad del fluido (agua), según el diámetro de la tubería*

Diámetro		Aspiración (m/s)	Impulsión (m/s)
milímetros	pulgadas		
25	1	0,5	1,00
50	2	0,5	1,10
75	3	0,5	1,15
100	4	0,55	1,25
150	6	0,60	1,50
200	8	0,75	1,75
250	10	0,90	2,00
300	12	1,40	2,65
>300	>12	1,5	3,00

Fuente: [3]

8.4.5.2.Presión de diseño

En el diseño de tuberías normalizadas, se elige el material, el diámetro y la presión nominal para determinar la resistencia. Cuando se enfrenta la elección de un diámetro no estandarizado, se torna necesario calcular el espesor en lugar de basarse únicamente en la presión de diseño. Donde, PN expresión nominal, P_o presión máxima de funcionamiento, y P_t Sobrepresión debido a los transitorios [3].

$$PN \geq P_o + P_t \quad \text{Ecuación 29}$$

8.4.5.3.Espesor de las tuberías

Cuando se opta por prescindir de tuberías normalizadas, se debe llevar a cabo el cálculo preciso de su grosor. En circunstancias que involucran materiales homogéneos, especialmente en el caso de grosores delgados, y bajo la premisa de una distribución equitativa de fuerzas a lo largo de la superficie del conducto, es viable determinar el grosor mediante un procedimiento establecido [3].

8.5. Válvulas

Una válvula es una abertura variable que tiene la capacidad de controlar la cantidad de fluido que circula por un sistema. Algunos de los tipos comunes de válvulas son las válvulas de globo, las compuertas móviles, las válvulas de bola, etc. Uno de los principales objetivos de una válvula es proteger y regular el fluido de un sistema; esto se consigue controlando o inspeccionando los caudales, la presión y otras variables. Si no se comprende el funcionamiento específico de una válvula, pueden producirse daños en el sistema [36].

Figura 33. *Válvulas, corte transversal.*



Fuente: [34]

8.5.1. Tipos de válvulas

En el ámbito de la ingeniería, las válvulas de regulación desempeñan un papel crucial al determinar la condición de funcionamiento de la red. Además de estas funciones fundamentales, existen numerosas otras aplicaciones para las cuales se requiere una válvula específica, como prevenir el retroceso del flujo, nivelar o delimitar la fuerza del fluido, purgar el mecanismo, prevenir el vacío, entre otras. La elección de la válvula apropiada para una situación suele volverse compleja, dada la cantidad de tipos y rangos de costos disponibles en los establecimientos de ventas [3].

8.5.1.1. Válvula compuerta

Las válvulas de compuerta son eficaces con el flujo en cualquier dirección y pueden abrirse o cerrarse completamente. En este diseño se utiliza una cuña deslizante para controlar el flujo de fluido por un recorrido general. Cuando este tipo de válvula está en posición totalmente abierta, permite el

paso directo y sin obstáculos, que es una de sus características importantes. Como resultado, cuando están en funcionamiento, las válvulas de compuerta muestran muy poca turbulencia y disminución de la presión. Con dos canales de flujo, las válvulas de compuerta son eficaces válvulas de cierre. Se emplean cuando importa la menor caída de presión. La alta velocidad a través de los asientos de la válvula puede causar daños en las válvulas de compuerta parcialmente abiertas; estas válvulas funcionan mejor como válvulas ON/OFF, totalmente abiertas o totalmente cerradas [34].

Figura 34. *Válvula compuerta.*

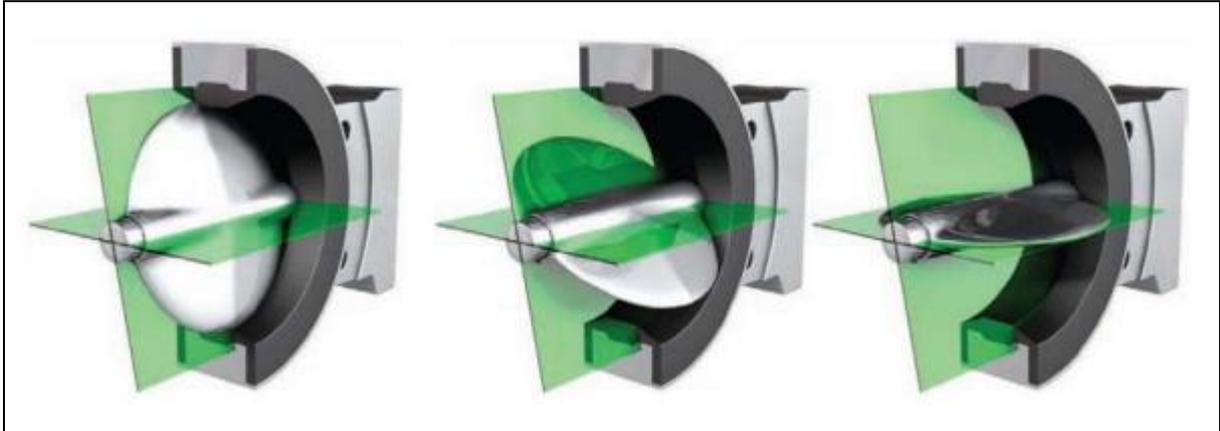


Fuente: [37]

8.5.1.2. Válvula mariposa

La válvula de mariposa manual tiene un disco redondo como pieza de cierre y gira en cuartos de vuelta, de 0 a 90°. El disco es paralelo a la tubería y se extiende dentro de ella cuando está en posición totalmente abierta. Se emplean en aplicaciones de apertura y cierre, control de caudal de gases y líquidos, polvo, lodos, procesamiento de alimentos y mercancías. Especialmente en tamaños grandes, la válvula de mariposa ofrece un diseño fácil de usar, ligero, compacto y rentable. Se compone de un disco redondo y plano que se articula en el centro y puede abrirse o cerrarse completamente con un cuarto de vuelta. En los ámbitos del petróleo, el gas, los productos químicos, el agua y los procesos, las válvulas de mariposa se utilizan ahora ampliamente gracias a las mejoras en el material del asiento. La válvula ofrece la ventaja de controlar el caudal y suele utilizarse en lugar de una válvula de compuerta [34].

Figura 35. Operación de válvula mariposa.

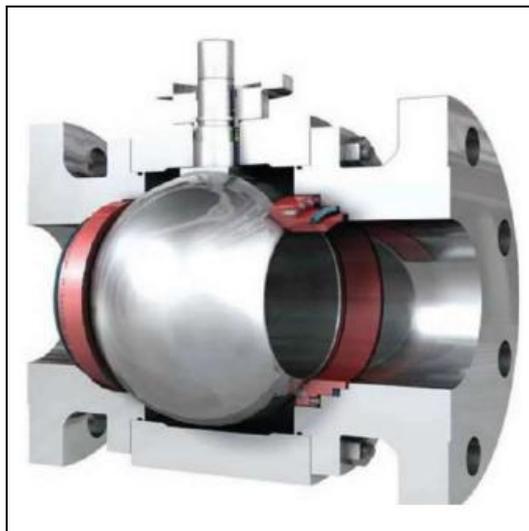


Fuente: [34]

8.5.1.3. Válvulas esféricas y cónicas

Con una rotación de 90° del vástago, una válvula de bola puede abrirse o cerrarse. Consta de dos asientos con una bola de precisión entre ellos. Los asientos tienen diferentes tamaños de orificio para cada cuerpo. Las hay de dos y de tres vías para diversos usos. Los cuerpos son de latón y hierro fundido, las bolas de acero inoxidable, latón cromado y hierro fundido, y los asientos robustos con diferentes grados de temperatura forman parte de la construcción de una válvula de bola. Éstas ofrecen una buena estanqueidad al cierre, o un corte hermético [34].

Figura 36. Válvula esférica.



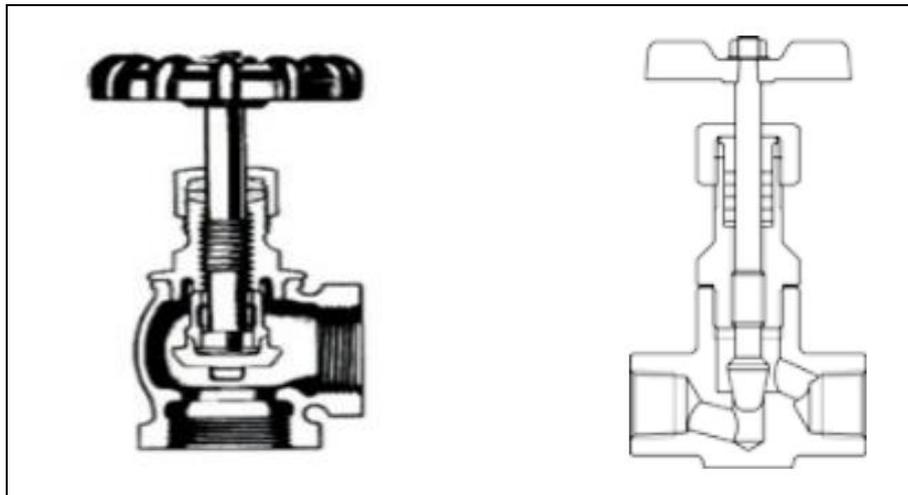
Fuente: [3]

Cuando se encuentran completamente abiertas, no generan pérdida de carga. Destacan en aperturas parciales, bloqueando tanto el acceso como en el fin del flujo, y las propiedades frente al desarrollo de burbujas superan a las de los reguladores de caudal de compuerta y mariposa. Al garantizar una total estanqueidad con asientos de calidad y ser aptas para la regulación con un diseño adecuado, estas válvulas son ideales para servicios pesados y altas presiones, a pesar de su precio relativamente elevado [34].

8.5.1.4. Válvulas de globo y aguja

En el ámbito doméstico, estas válvulas encuentran su aplicación más conocida en la grifería. Se caracteriza por un diseño donde el fluido entra en una cavidad esférica, dividida internamente por una pared. La comunicación entre ambas se establece mediante un orificio. La regulación del flujo, ya sea de manera parcial o total, se lleva a cabo a través de un disco o, en situaciones específicas, mediante un cono en las válvulas de aguja. El mecanismo de accionamiento, comúnmente ejecutado por un tornillo, puede variar en casos especiales de control, donde se recurre a otros métodos [38].

Figura 37. *Válvula de ángulo (izquierda) y aguja (derecha).*



Fuente: [38]

8.5.1.5. Válvula antirretorno

Las válvulas de retención se utilizan para permitir el flujo en una dirección e impedirlo en otra. Su finalidad es impedir que el fluido retorne al sistema. Las aplicaciones en la vida real incluyen detener el reflujo en una bomba o línea de inyección. Un disco o una bola son forzados en una dirección por el flujo de fluido, que abre la válvula. Cuando cesa el flujo, el disco o la bola se asientan y cierran la válvula. Pueden colocarse en tuberías verticales u horizontales de flujo ascendente [34].

Figura 38. *Válvula antirretorno*

Fuente: [34]

El inconveniente de una válvula antirretorno es que puede provocar golpes de ariete, que son la creación y el impacto de ondas de choque de alta presión en fluidos relativamente incompresibles, cuando se cierra rápidamente. Las ondas de choque producidas cuando un fluido en una tubería es detenido repentinamente por un objeto como el disco de una válvula son las que desencadenan este golpe de ariete. Las vibraciones y ruidos procedentes de las tuberías pueden ser síntomas de ello y provocar daños en los equipos, roturas de tuberías y bridas y daños en los soportes de las tuberías. Cuando hay cambios significativos de elevación en los sistemas de tuberías, una gran cantidad de fluido en movimiento y una alta velocidad del fluido, aumenta el riesgo de que se produzcan golpes de ariete [34].

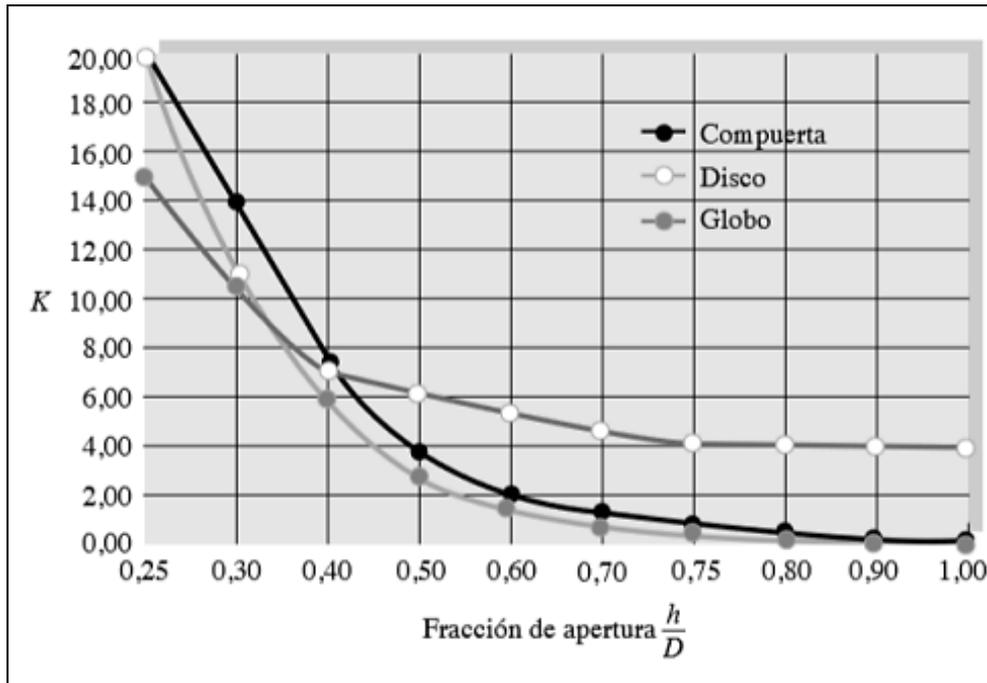
8.5.2. Coeficientes de pérdidas en válvulas

La información relativa a los distintos valores de coeficiente de pérdida (k), para diversas aberturas de válvula es mínima, a pesar de que varias tablas muestran el valor de k para diversos tipos de válvulas. Varios autores proporcionan una referencia mediante gráficos, aunque se aclara que existe un margen de error del 50-100% en sus cifras. También se describe una ecuación que relaciona el caudal y el coeficiente de pérdidas. Burton y Loboguerrero exponen esta ecuación en su libro *Máquinas Rotodinámicas y de Desplazamiento Positivo*. Esta fórmula muestra que el porcentaje de caudal y la fracción de coeficiente de pérdida que experimenta una válvula parcialmente abierta son inversamente cuadráticos [39].

$$\frac{Q}{Q_0} = \sqrt{\frac{K_0}{K}}$$

Ecuación 30

Figura 39. Curvas de coeficiente de pérdidas K contra fracción de apertura.



Fuente: [39]

8.5.3. Cavitación en válvulas

La cavitación, identificada como la causa principal de los problemas en las válvulas, este fenómeno termodinámico describe la transición del estado líquido al gaseoso sin depender de una fuente externa de calor. Habitualmente, esta definición se utiliza para identificar y diferenciar las cavidades de otros fenómenos de vaporización de líquidos, como la ebullición, que ocurren a presión constante cuando la temperatura del líquido alcanza el punto de saturación. Por ende, la cavitación se destaca como un desafío de mayor significancia asociados a los dispositivos de control de flujo [40]

8.6. Sistemas de regulación

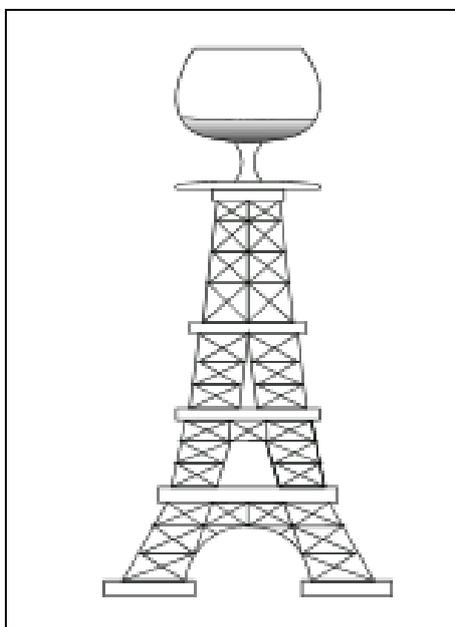
La gestión eficiente de una red de tuberías para adecuarlo a la demanda de caudal y fuerza del flujo, se suele presentar desafíos, agravados por lograr el rendimiento óptimo. En situaciones que requieren almacenamiento o enfrentan variabilidad en la demanda, los depósitos se convierten en una

solución. Las válvulas, aunque económicas en la instalación, son indispensables y ofrecen una manera accesible de realizar ajustes. La incorporación de múltiples bombas se plantea como un enfoque para mejorar el rendimiento, aunque la consecución del punto óptimo no siempre es factible, a menudo influenciada por precauciones y protocolos de resguardo en el sistema de agua. En última instancia, la manipulación de velocidad emerge como el método más flexible y eficaz, a pesar de su limitada implementación debido a los mayores costos iniciales [3].

8.6.1. Deposito abierto

En la planificación de infraestructuras hidráulicas, se emplean comúnmente materiales como el hormigón armado o pretensado, y en dimensiones más pequeñas, se considera la utilización de chapa de acero, materiales plásticos o compuestos. Una alternativa efectiva en la actualidad es la excavación directa en el terreno, siempre acompañada de una adecuada impermeabilización. Para llevar a cabo la distribución por gravedad, es imperativo situar estas estructuras en ubicaciones geográficamente más elevadas que los puntos de consumo. En escenarios donde esta disposición resulta impracticable, se hace necesario erigir depósitos elevados, los cuales pueden adoptar formas diversas, como torres, setas, etc. [3].

Figura 40. *Tanque elevado.*

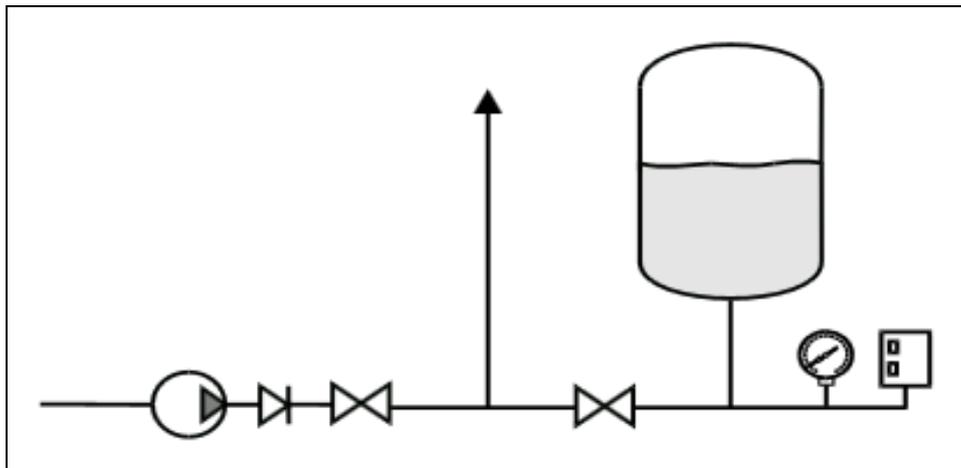


Fuente: [3]

8.6.2. Deposito a presión

La instalación de un contenedor presurizado en el desemboque de la hidrobomba puede resultar estratégica cuando se busca minimizar el número de arranques y paradas requeridos. Este enfoque, diseñado para reducir la variabilidad del consumo y permitir que la bomba opere eficientemente en rangos de rendimiento más elevados, es particularmente beneficioso si es posible no mantener una capacidad de almacenamiento constante [3].

Figura 41. *Deposito a presión.*



Fuente: [3]

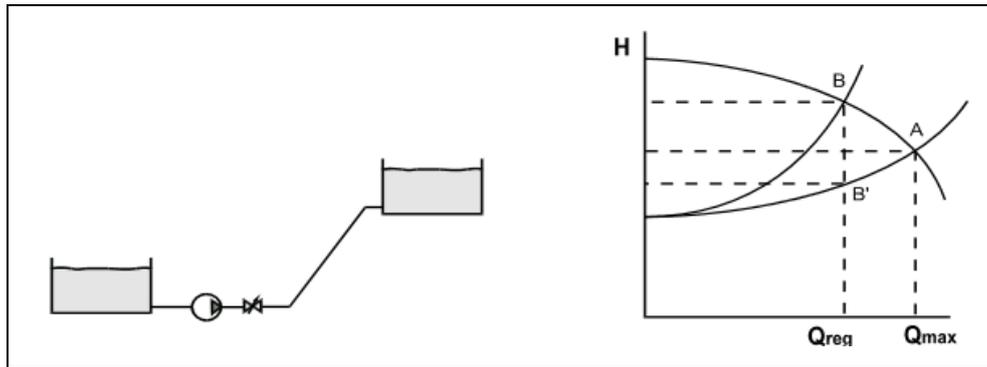
Estos depósitos, comúnmente elaborados con acero, incorporan un vacío dentro, sirviendo de almacenamiento de energía. Algunos modelos incluyen un compresor para proporcionar aire y lograr una mayor presión, mientras que otros cuentan con una goma elástica interna para prevenir pérdidas y reducir la necesidad de mantenimiento. Además, estos depósitos se utilizan para amortiguar el golpe de ariete en ciertos sistemas [3].

8.6.3. Regulación con válvulas

8.6.3.1. Válvulas en serie y bypass

El objetivo principal del sistema de derivación, que consta de una cámara de válvulas y accesorios hidráulicos, es servir de puente con la línea principal, lo que permite continuar con las operaciones de suministro mientras se aíslan los equipos dañados, como las válvulas de control o reductoras de presión, y se puede llevar a cabo el mantenimiento, tanto preventivo como correctivo [41].

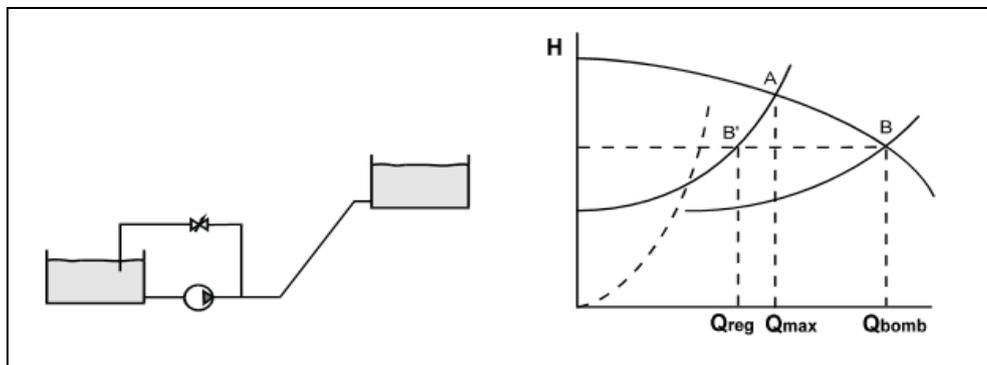
Figura 42. Regulación con válvula en serie..



Fuente: [3]

La regulación mediante el by-pass implica que, con la válvula cerrada, el sistema opera de manera convencional. Al abrir la válvula, se establecen dos rutas en paralelo, llevando a que la hidrobomba funcione con descargas más elevadas. La tubería de derivación, asegura la continuidad de la operación al posibilitar el aislamiento y detención de equipos afectados, como válvulas reductoras de presión, trampas de vapor y filtros, durante procesos de reparación o reemplazo [41].

Figura 43. Regulación con by-pass.



Fuente: [3]

8.6.3.2. Selección de válvulas de control

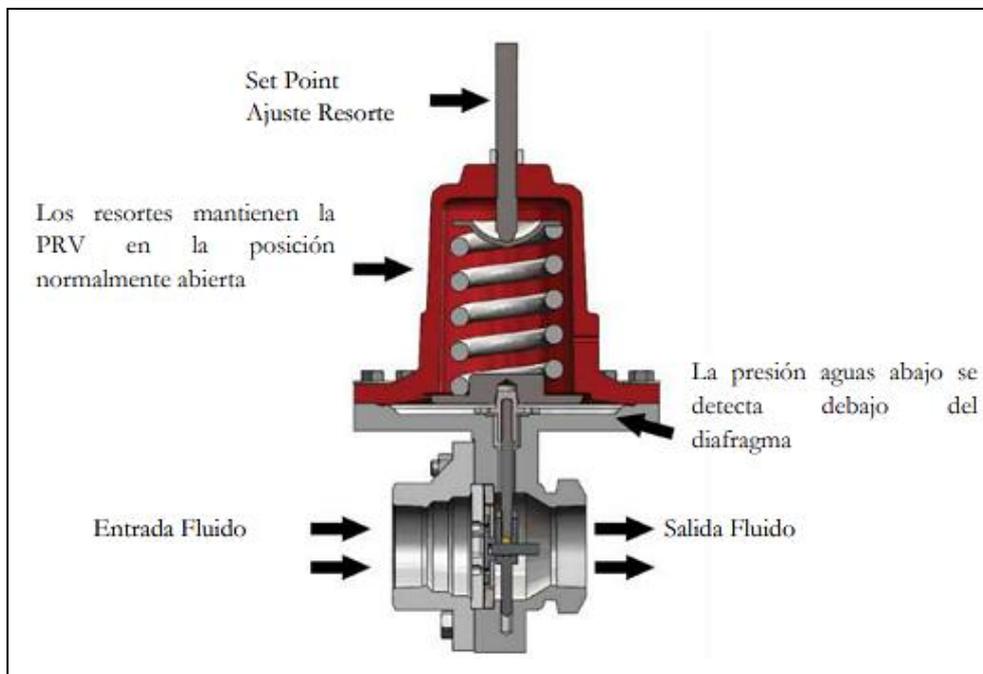
Todas las válvulas están fabricadas para regular el caudal y la presión de diversos fluidos. Una válvula perfecta podría gestionar todo esto sin experimentar ningún desgaste, pero en el mundo real de los negocios existen diferentes tipos de válvulas con distintas prioridades en función de los parámetros de funcionamiento. En consecuencia, es fundamental conocer las características y peculiaridades de cada válvula y ser capaz de evaluarlas a la luz de la función que deben desempeñar.

Para la elección se tiene en cuenta el criterio de aplicación, la pérdida requerida en la válvula y el material según el tipo de fluido [34].

8.6.3.3. Válvulas reductoras de presión

Se trata simplemente de un dispositivo de control que mantiene la presión igual en los niveles inferiores. Estas válvulas se emplean cuando la regulación del proceso se basa en la presión en lugar del flujo y, con mayor frecuencia, para disminuir una presión alta a un nivel aceptable en las redes de agua en niveles inferiores. Un ejemplo común se observa en edificios de gran altura, donde la presión debe ser adecuada para llegar al último piso, pero esto resultaría en una presión excesiva en los pisos inferiores [3].

Figura 44. Reguladores de presión.

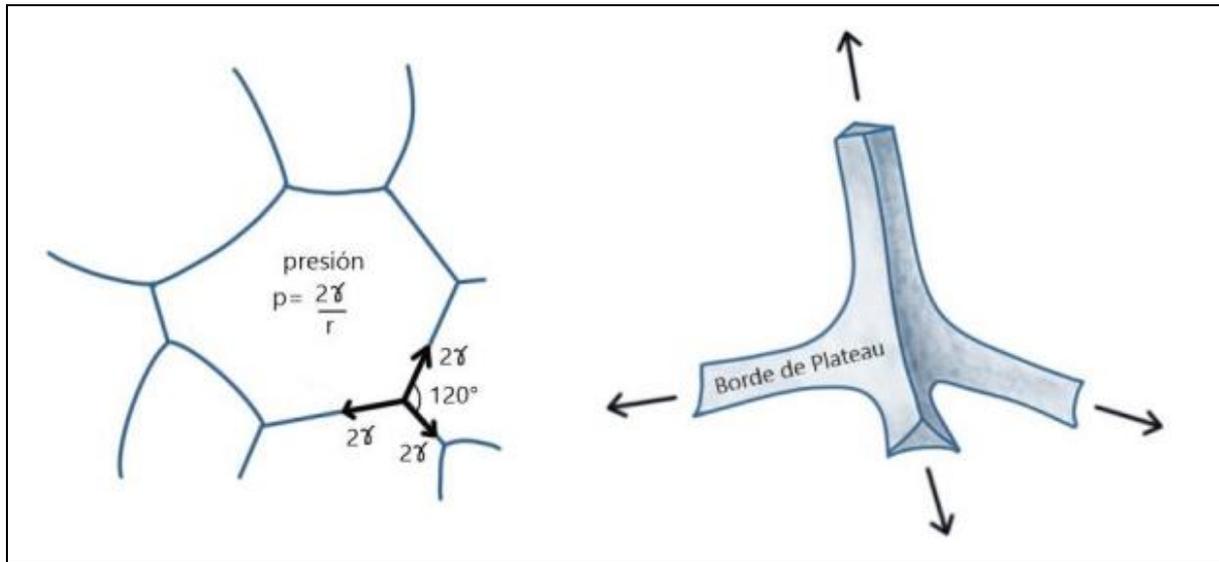


Fuente: [34]

8.7. Espuma

Las espumas, que son sistemas de gases dispersos en un líquido, se crean a partir de emulsiones y son esenciales para cocinar muchos platos diferentes, incluidos helados, dulces, panes y bebidas. Las espumas se clasifican según su relación gas-líquido y la forma de las células que contienen gas. Las espumas que burbujan pueden tener una relación gas-líquido baja y celdas de gas que están distorsionadas de su forma esférica [42].

Figura 45. *Espuma y sus secciones.*



Fuente: [43]

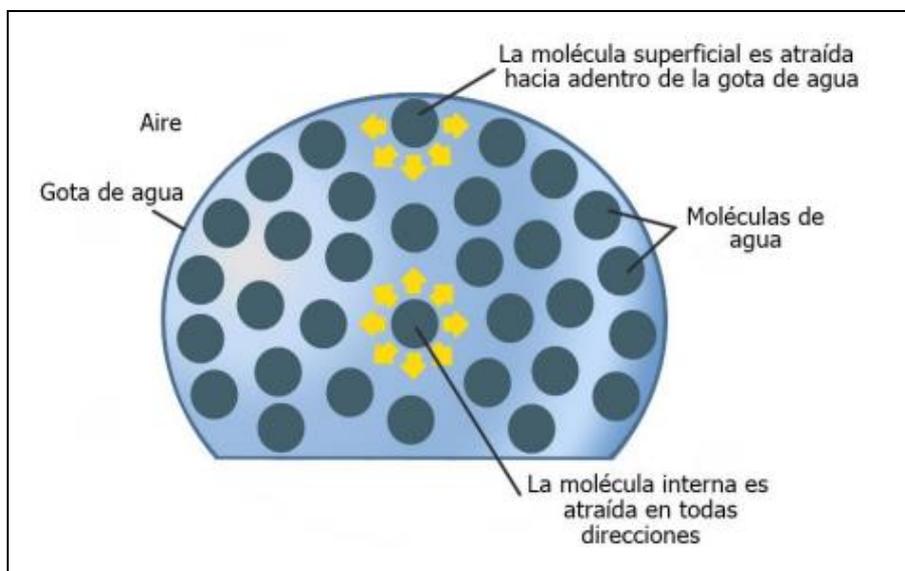
Las burbujas de las espumas poliédricas, o espuma de cerveza, están más juntas y forman una estructura que se asemeja a un panal. Los factores clave que determinan la utilidad de la espuma son su inestabilidad y capacidad, que están determinadas por la cantidad de gas que se introduce en la solución emulsionante y la cantidad. El volumen de la espuma crece. La inestabilidad resulta de un cambio momentáneo en la distribución de gases y líquidos causado por procesos como la coalescencia y el drenaje [42].

8.7.1. Físicoquímica de Interfaces fluidas

8.7.1.1. Tensión superficial de Equilibrio

La disparidad entre las fuerzas de interacción de las moléculas dentro del líquido y las de la superficie es la fuente física de la tensión superficial. Debido a las fuerzas de atracción que, en promedio, se anulan entre sí dentro de un líquido, cada molécula puede tener poca energía. Por otro lado, existe una fuerza neta en la superficie que mueve el interior del líquido. Las moléculas en la superficie tienen una energía promedio que es mayor que la de las moléculas en el interior [43].

Figura 46. *Desbalance de fuerza en la interfaz respecto al volumen, en una gota de agua.*



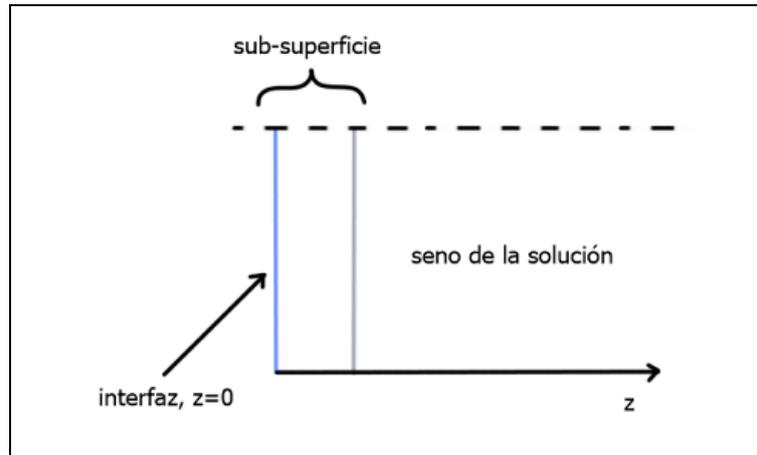
Fuente: [43]

Además, la creación de área consume energía, el sistema naturalmente querrá minimizar su área. Por esto, se debe encontrar una manera de disminuir la adicional generada por las interfaces si queremos producir espuma en una condición metaestable. Sólo existen dos métodos para reducir la energía libre total del sistema: reducir la tensión interfacial, que es incompatible con la formación de espuma, o disminuir el área total del sistema. Esto último se consigue con la adición de un agente tensioactivo [43].

8.7.1.2. Tensión interfacial dinámica

La tensión superficial de equilibrio, reflejada en una solución tensioactiva, no se establece inmediatamente, a pesar de suponerse que está en equilibrio termodinámico. Las moléculas de surfactante deben difundirse desde el volumen del líquido hacia la interfaz, orientarse adecuadamente y luego adsorberse en la superficie de separación de fases para generar una nueva interfaz, como una burbuja. La tensión superficial de una solución tensioactiva se aproxima por primera vez a la del disolvente puro cuando se forma un contacto. Pasará gradualmente por una fase de relajación y finalmente alcanzará el valor de equilibrio después de un período de adsorción. Esta duración puede variar desde unos pocos milisegundos hasta muchos días, dependiendo del tipo de tensioactivo y de su cantidad presente en la mezcla [43].

Figura 47. *Dinámica de absorción de un tensioactivo.*



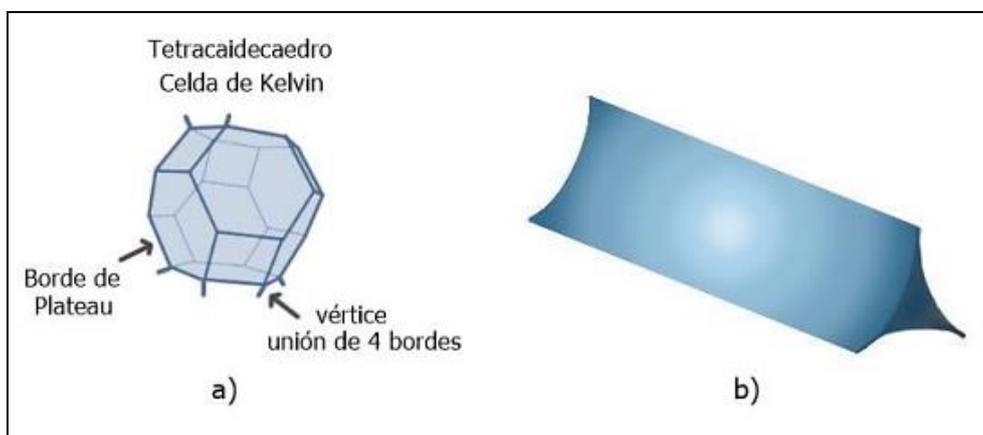
Fuente: [43]

8.7.2. Física de espumas líquidas

8.7.2.1. Geometría y leyes de Plateau.

La espuma constituye un sistema bifásico en el cual el gas se encuentra encapsulado en celdas delimitadas por películas de líquido. La configuración de estas celdas varía en función de la proporción de líquido presente. En casos donde la fracción de líquido es inferior al 2%, las celdas adoptan una morfología similar a la celda de Kelvin. A medida que la fracción de líquido aumenta, las burbujas adquieren una forma cada vez más esférica, hasta alcanzar, aproximadamente, una fracción de líquido del 36% [43].

Figura 48. *La geometría típica de una burbuja en una espuma con bajo contenido líquido (a). Forma de un borde de plateau (b).*



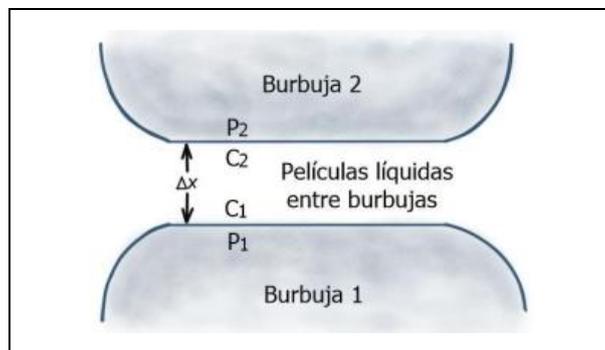
Fuente: [43]

Este es el momento en el cual la espuma se convierte en un "líquido aireado", en el cual las burbujas no mantienen contacto entre sí. Las películas que segregan las burbujas contiguas generan, a través de la intersección de tres de estas películas, canales designados como bordes de Plateau (BP). Dichos bordes de Plateau constituyen una estructura tridimensional de canales por los cuales se propaga el líquido, impulsado tanto por la fuerza gravitatoria como por la capilaridad. [43].

8.7.2.2. Dinámica de espumas

Las espumas representan sistemas que se encuentran en un estado de desequilibrio termodinámico, destinadas a su desaparición mediante la separación total de fases. Su evolución a lo largo del tiempo se rige por tres procesos fundamentales: drenaje, coarsening y coalescencia o colapso. La complejidad de la dinámica de las espumas radica en la interconexión de estos procesos acoplados. Este trabajo de tesis se enfoca en el análisis de uno de estos fenómenos, específicamente el menos comprendido, la coalescencia. No obstante, a continuación, se proporciona una descripción de los tres procesos con el fin de ofrecer una visión integral de la dinámica de las espumas [43].

Figura 49. Esquema para dos burbujas adyacentes.



Fuente: [43]

8.8. Máquina de espuma

En el ámbito de la ornamentación destinada a eventos como festivales, fiestas y verbenas, se recurre al empleo de un dispositivo especializado conocido como generador o máquina de espuma. Este ingenioso aparato, diseñado con meticulosidad técnica, exhibe la habilidad de proyectar espuma a distancias comprendidas entre 4 y 6 metros. Esta capacidad de proyección permite la generación de diversas configuraciones geométricas y patrones de espuma, aportando así un elemento estético dinámico y versátil a la ambientación de los eventos mencionados. [44].

Figura 50. *Imagen referencial de una máquina de espuma.*



Fuente: [44]

9. VALIDACIÓN DE PREGUNTAS CIENTÍFICA O HIPÓTESIS

Implementar un sistema de bombeo para fluidos de diferente densidad en la construcción de una máquina de espuma, mejorará las actividades prácticas para la carrera de electromecánica de la UTC extensión La Maná.

10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

En este proyecto de tesis se utilizó teoría de mecánica de fluidos para hacer el cálculo teórico de la presión y alcance de la mezcla que se dispara de la máquina de espuma, así como la elaboración de planos de construcción con software de simulación. Finalmente se implementó el diseño elaborado del cañón de espuma con su soporte, y se verificó su correcto funcionamiento.

10.1. Investigación bibliográfica

Este proyecto de investigación, se basó en la revisión y análisis de la literatura existente relacionada con los temas específicos de sistemas de bombeo y mezclas de espuma. Tuvo como

objetivo el recopilar información actualizada y relevante relacionada a tecnologías de bombeo, características de la espuma, requisitos de bombeo para selección de bombas y control del sistema.

10.2. Investigación experimental

Esta investigación implicó la realización de experimentos prácticos con el objetivo de obtener datos específicos y observaciones directas relacionadas con el comportamiento y rendimiento del sistema de bombeo para una máquina de espuma. Se llevó a cabo mediante el diseño, montaje del sistema y la recopilación de datos experimentales.

10.3. Localización

Ubicado en el pabellón de ingeniería de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná, la carrera de electromecánica proporciona a los estudiantes la oportunidad de aprender tanto en el ámbito teórico como práctico. Al contar con los recursos apropiados, desempeña un papel efectivo en las etapas de enseñanza y aprendizaje, explorando una amplia gama de áreas de experiencias vivenciales y conocimiento.

10.4. Tipos de investigación

Para la realización de este proyecto de investigación, es esencial tener un conocimiento profundo del funcionamiento de sistemas de bombeo, así como identificar las variables y componentes necesarios. El diseño también desempeña un apartado importante. La integración de diversas fuentes documentales y bibliográficas se considera una parte esencial del proceso, que culminará con la implementación del sistema en una máquina de espuma.

10.4.1. Investigación bibliográfica

Se utilizó este tipo de investigación que se centra en la revisión y análisis de la literatura existente sobre un tema específico. En lugar de realizar experimentos o recopilar datos directamente, la investigación bibliográfica se basa en la recopilación y revisión de información proveniente de fuentes escritas, como libros, artículos científicos, tesis, informes técnicos, y otros documentos publicados.

10.4.2. Investigación aplicada tecnológica

A partir de la investigación aplicada tecnológica que se enfoca en la aplicación práctica del conocimiento científico y tecnológico para resolver problemas específicos o desarrollar nuevas tecnologías. Tiene como objetivos más prácticos y orientados hacia la innovación y la solución de problemas concretos en la sociedad o en la industria.

10.4.3. Investigación descriptiva

Este tipo de investigación se enfoca en recopilar datos que proporcionen una imagen clara y precisa de lo que está siendo estudiado. La investigación descriptiva es un tipo de investigación que tiene como objetivo principal describir de manera detallada y sistemática un fenómeno, situación o área específica.

10.5. Técnicas e instrumentos

Se emplean los métodos de observación, medición, registro y experimentación para adquirir información y obtener resultados. Los instrumentos utilizados para la recopilación y almacenamiento de datos, se detallan en la tabla 7.

Tabla 7. *Técnicas e instrumentos*

No.	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
1	Observación	Toma de fotografías y planos de construcción de la máquina de espuma.
2	Medición	Alcance y presión máxima y mínima de la mezcla espumante propulsada por el sistema de bombeo implementado en la máquina.
3	Registro	Toma de datos de parámetros en tablas, y documentación del diseño mecánico.
4	Experimentación	Determinar los elementos adecuados para la implementación del mecanismo de propulsión de mezcla espumosa.

Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

10.6. Dimensiones del depósito contenedor y características de la mezcla

10.6.1. Depósito contenedor

Un depósito contenedor de líquido es un recipiente diseñado para almacenar y contener líquidos. Estos depósitos pueden tener diversas formas, tamaños y materiales, dependiendo de su propósito y del tipo de líquido que se va a almacenar. Algunos ejemplos comunes de depósitos contenedores de líquidos incluyen tanques de almacenamiento, barriles, cubas, cisternas y otros recipientes similares.

Tabla 8. *Características del depósito contenedor de la mezcla.*

Depósito multiuso	
Volumen (L)	20
Forma	Paralelepípedo
Altura (mm)	400
Ancho (mm)	260
Largo	200
Material	PET

Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

Para almacenar la mezcla espumante se consideró utilizar un depósito con un volumen considerable, que se detalla en la tabla 8.

Figura 51. *Deposito contenedor de mezcla espumante.*

Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

10.6.2. Mezcla espumante

Una mezcla espumante es una combinación de sustancias químicas diseñada para producir espuma. Estas mezclas son utilizadas en diversas aplicaciones y sectores, como la industria del petróleo y gas, la lucha contra incendios, la industria química y la minería, entre otros. Para la mezcla espumante se utilizaron sustancias y elementos en diferentes proporciones:

10.6.2.1. Mezcla 1:

Para la primera mezcla se utilizaron los siguientes ingredientes:

Tabla 9. *Ingredientes de la mezcla 1 (20 litros).*

Descripción	Cantidad	Densidad (kg/m ³)
Texapón 70	4 kg	1100
Glicerina líquida	0,001 m ³	1250
Ácido cítrico	0,2 kg	1670
Agua	0,018 m ³	1000

Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

La densidad de la glicerina y el ácido cítrico se ha tomado como referencia de la empresa Carl Roth, la cual define un valor 1,23 – 1,27 g/cm³ a 20 °C, para la glicerina y un valor de 1,67 g/cm³ a 20 °C. Para el texapon 70, se indago una densidad de 1,1 g/cm³, proporcionado por la empresa Químicos Industriales S.A. Para el agua se tomó el valor estándar de 1 g/cm³. Para transformar a unidades internacionales (kg/m³) los parámetros investigados se multiplico por 1000.

10.6.2.2. Mezcla 2:

Para la segunda mezcla se utilizaron los siguientes ingredientes:

Tabla 10. *Ingredientes de la mezcla 2 (5 litros).*

Descripción	Cantidad	Densidad (kg/m ³)
Texapón 70	1 kg	1100
Agua	0,005 m ³	1000

Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

10.7. Características generales de los elementos

10.7.1. Bomba periférica

La bomba de agua centrifuga procedente de la marca INGCO, se presenta como una opción para este tipo de aplicaciones, que consiste en transportar la mezcla espumosa a una presión en un

rango determinado. En este caso se calcularán los parámetros máximos disponibles a partir del uso de una bomba centrífuga periférica de agua preseleccionada con las siguientes características:

Tabla 11. *Características de la bomba de agua preseleccionada de la marca INGCO.*

Modelo	UVPM3708
Voltaje nominal (V)	110-120 AC
Potencia (kW)	0.37
Frecuencia nominal (Hz)	60
Velocidad sin carga (r/min)	3450
Caudal máximo (L/min)	35
Altura máxima (m)	35
Succión máxima (m)	8
Diámetro de entrada/salida (pulg)	1 x 1

Fuente: [45]

Figura 52. *Imagen referencial de bomba de agua INGCO UVPM3708.*



Fuente: [45]

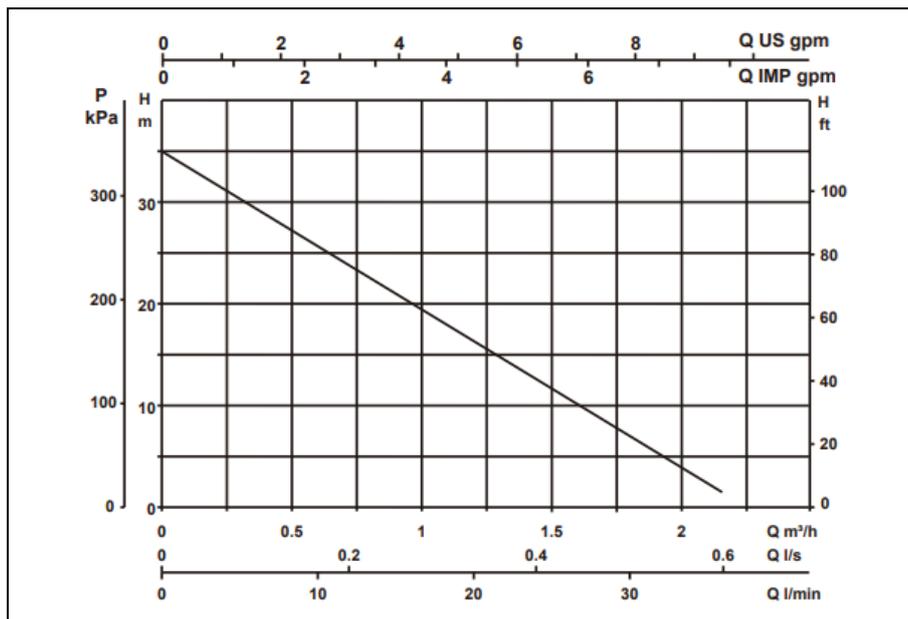
10.8. Características de operación de la bomba

Para el cálculo de la selección del mecanismo que impulsa la mezcla homogénea espumante se consideraron diferentes datos como son:

- Capacidad de descarga de la bomba (Q).
- Carga sobre la bomba (h_r).
- Potencia (P).
- Eficiencia (η)
- Carga neta positiva de succión requerida por la bomba NPSHr.

También se obtuvieron por parte del fabricante las curvas de rendimiento, las cuales se basan en los valores de viscosidad cinemática ($1 \text{ mm}^2/\text{s}$) y densidad igual a ($1000 \text{ kg}/\text{m}^3$), según ISO 9906.

Figura 53. Curva de rendimiento de bomba de agua INGCO UVPM3708.



Fuente: [45]

10.8.1. Regulador de Presión

Un regulador de presión, es un dispositivo diseñado para controlar y mantener constante la presión de un fluido, como gas o líquido, a medida que fluye a través de un sistema. Estos reguladores son comúnmente utilizados en una variedad de aplicaciones, desde sistemas industriales hasta equipos domésticos, donde es esencial mantener una presión constante para garantizar un funcionamiento adecuado.

Tabla 12. Características del Regulador Press Control INGCO.

Modelo	UWAPS002
Voltaje nominal / Frecuencia (VAC - Hz)	110-120 / 60
Potencia máxima (kW)	1,1
Intensidad de corriente máxima (A)	10
Frecuencia nominal (Hz)	60
Presión de arranque (bar – psi)	1,5 - 22
Presión máxima (bar - psi)	10 - 145

Fuente: [45]

Figura 54. Imagen referencial Regulador Press Control INGCO UWAPS002.

Fuente: [45]

10.8.2. Manguera de entrada

Una manguera de plástico es un conducto flexible diseñado para transportar líquidos o gases. Está fabricada con materiales plásticos resistentes y duraderos, como el polietileno de alta densidad (HDPE), el cloruro de polivinilo (PVC) u otros polímeros termoplásticos. La manguera utilizada para esta máquina y la descripción general de sus características se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 13. *Características de la manguera de entrada de la Bomba hidráulica.*

Manguera de entrada	
Material	PVC transparente
Distancia	4 m
Diámetro	1 “
Flexibilidad	Media
Resistencia a la corrosión	Si

Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

Figura 55. *Imagen referencial de manguera de entrada.*



Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

10.8.3. Manguera de salida

Las mangueras de plástico son conocidas por ser ligeras, flexibles y resistentes a la corrosión. Pueden tener diferentes diámetros y longitudes para adaptarse a diversas aplicaciones, como el riego en jardines, la conducción de agua potable, la aspiración de líquidos, entre otras.

Tabla 14. *Características de la manguera de salida de la Bomba hidráulica.*

Manguera de salida	
Material	PVC transparente
Distancia	2 m
Diámetro	1/2 “
Flexibilidad	Media
Resistencia a la corrosión	Si

Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

Figura 56. *Imagen referencial de manguera de salida.*



Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

10.8.4. Adaptador 1" a 1/2"

Un adaptador de 1" a 1/2" es un dispositivo diseñado para conectar dos piezas de tubería o accesorios que tienen diferentes diámetros nominales. En este caso, se trata de un adaptador que permite la transición de una tubería con un diámetro nominal de 1 pulgada a otra con un diámetro nominal de 1/2 pulgada, presenta las siguientes características:

Tabla 15. *Características de adaptador de 1 pulgada a 1/2 pulgada.*

Adaptador de tubería 1" a 1/2"	
Material	PVC
Presión de trabajo	10 bar
Diámetro	1/2 "
Ángulo	180°
Tipo de embone	Rosca-Rosca

Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

Figura 57. *Imagen referencial de adaptador de tubería 1" a 1/2'.*



Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

10.8.5. Válvula antirretorno

Una válvula antirretorno, también conocida como válvula de retención o válvula check, es un dispositivo mecánico diseñado para permitir el flujo de un fluido (líquido o gas) en una dirección específica mientras evita su retroceso en la dirección opuesta. Su función principal es prevenir el retorno no deseado del fluido en un sistema, asegurando que fluya en una sola dirección, la válvula antirretorno seleccionada presenta las siguientes características:

Tabla 16. *Características de válvula antirretorno de 1”.*

Válvula antirretorno	
Material	Latón CW617N
Presión de trabajo	12 bar
Diámetro	1 “
Montaje	De pie
Tipo de embone	Rosca

Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

Figura 58. *Imagen referencial de válvula antirretorno de pie de 1”.*



Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

10.8.6. Válvula de entrada al cañón

Para controlar el ingreso de la mezcla al cañón se utilizará una válvula que utiliza una esfera perforada para controlar el flujo de un fluido. La esfera está unida a un vástago que se puede girar para abrir o cerrar la válvula. Cuando la esfera está girada 90 grados, el orificio está alineado con el tubo, lo que permite que el fluido fluya libremente. Cuando la esfera está girada 270 grados, el orificio está perpendicular al tubo, lo que bloquea el flujo de fluido.

Tabla 17. *Características de válvula de entrada al cañón.*

Válvula esférica	
Material	Bronce
Presión de trabajo	400 PSI
Diámetro	1/2 “
Modelo	Esfera 562.13
Tipo de embone	Rosca-Rosca

Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

Figura 59. *Imagen referencial de válvula esférica de 1/2”.*

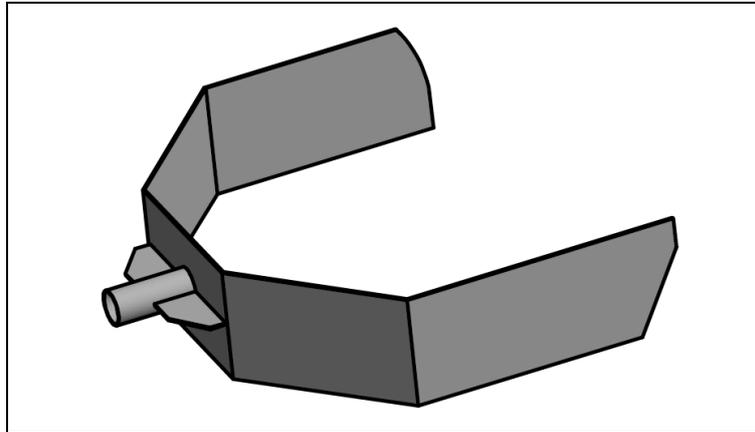


Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

10.9. Diseño de partes de la estructura

Para el diseño de la estructura se utilizó el software de Autodesk, Inventor 2021. Este software ayudó a plasmar las medidas de las partes de toda la estructura que compone la máquina de espuma.

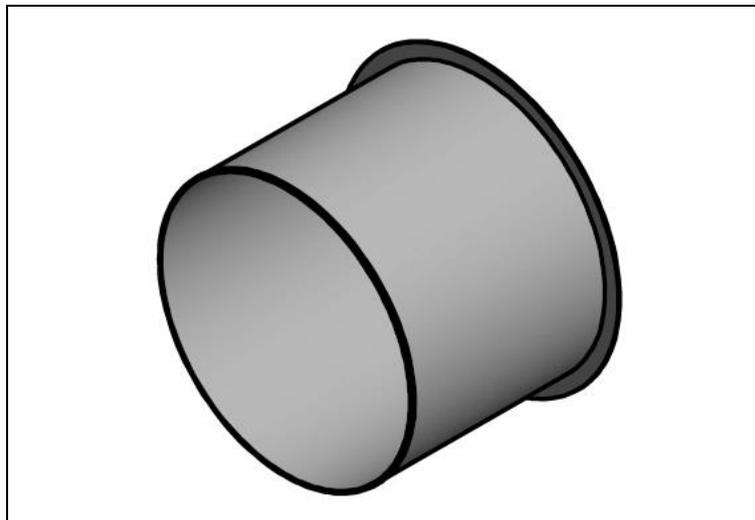
Figura 60. Soporte de anclaje de la base al cañón.



Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

En la figura 60, se muestra la estructura que une el cañón al trípode que sirve como base que soporta toda la máquina de espuma.

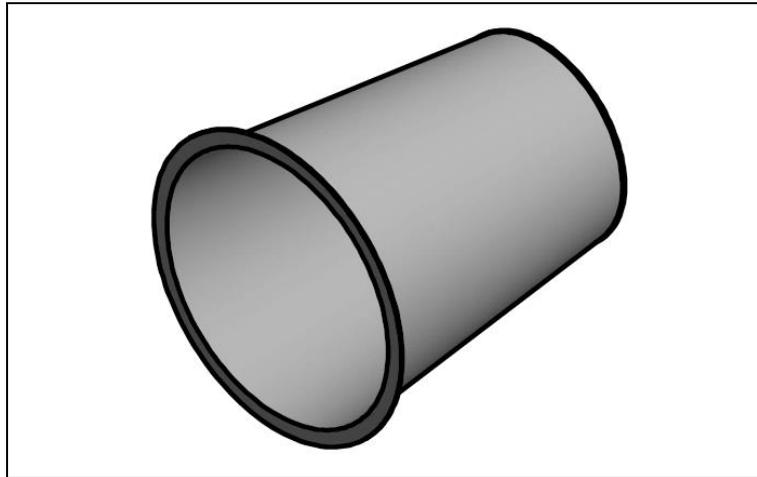
Figura 61. Estructura anterior del cañón.



Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

En la figura 61, se observa la parte trasera del cañón de espuma, esta estructura servirá de soporte para el ventilador que impulsará la espuma que entra por la válvula al tambor del cañón.

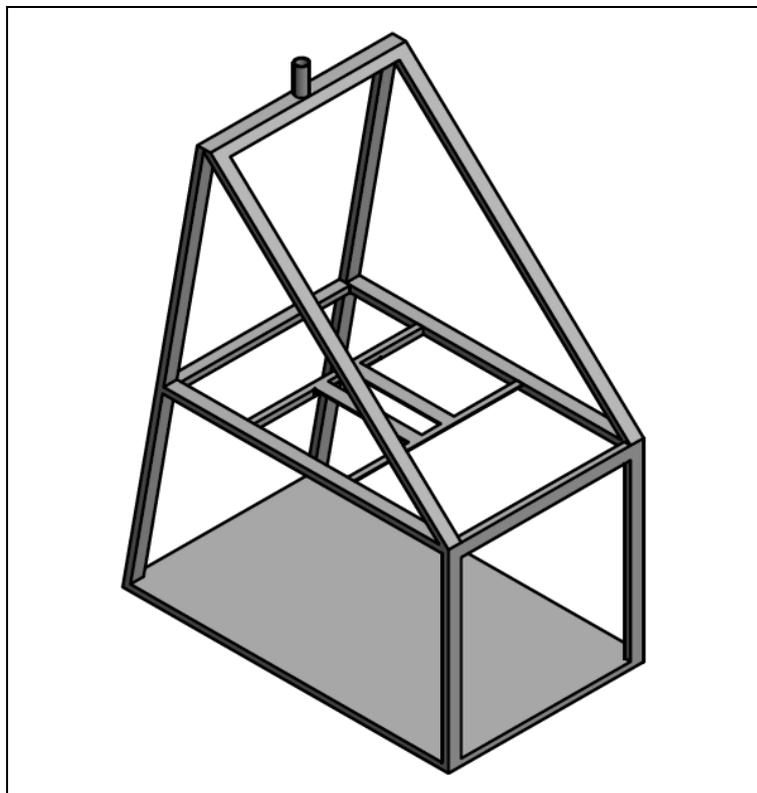
Figura 62. *Estructura posterior del cañon.*



Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

En la figura 62, se detalla la parte posterior del cañón, la cual aportará dirección a la espuma ya generada e impulsada por el dispositivo ventilador.

Figura 63. *Estructura base para ensamble de bomba y cañon.*



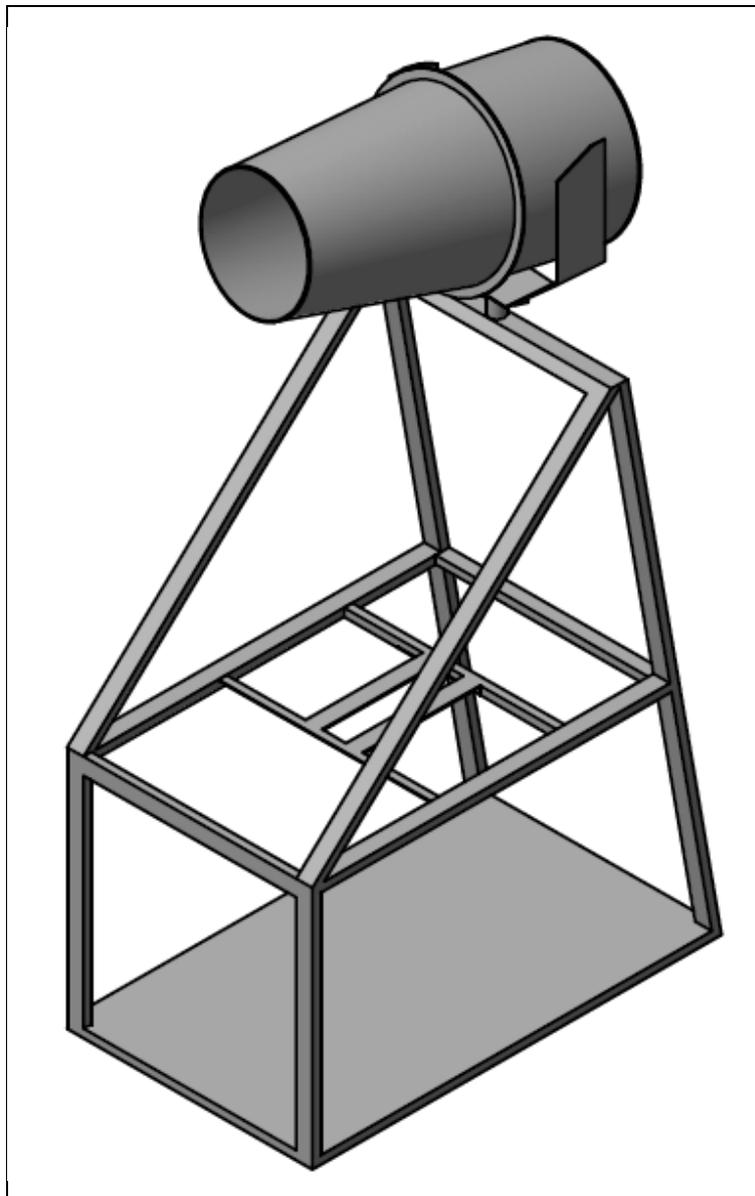
Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

En la figura 63, se observa la base que soportará el peso de la bomba periférica y el cañón ya ensamblado, esta estructura presenta una plancha en la parte inferior, la cual le da estabilidad y una fácil manipulación a la hora de girar el cañón o apuntarlo de arriba hacia abajo.

10.10. Ensamble de partes estructurales de la máquina de espuma

Para tener un modelo 3D de referencia se utilizó el software Inventor 2021, y se ensambló a través de una de sus múltiples utilidades.

Figura 64. *Ensamble de todas las partes de la máquina de espuma.*



Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

10.11. Motor propulsor de espuma

Posterior a la producción de espuma dentro del cañón, esta necesita ser impulsada hacia el exterior, para esto se hace uso de un motor monofásico, con hélices en la parte trasera del cañón la cual arrojará la espuma hacia el lugar donde sea apuntada. Las características de dicho motor se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 18. *Características del motor impulsor de espuma del cañón.*

Motor impulsor	
Modelo	WEG-Abierto monofásico
Potencia (W)	746
Voltaje (VAC)	110
Tipo de carcasa	D56
RPM	1800
Polos	3
Tolerancia (%)	15

Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

Figura 65. *Motor monofásico WEG.*

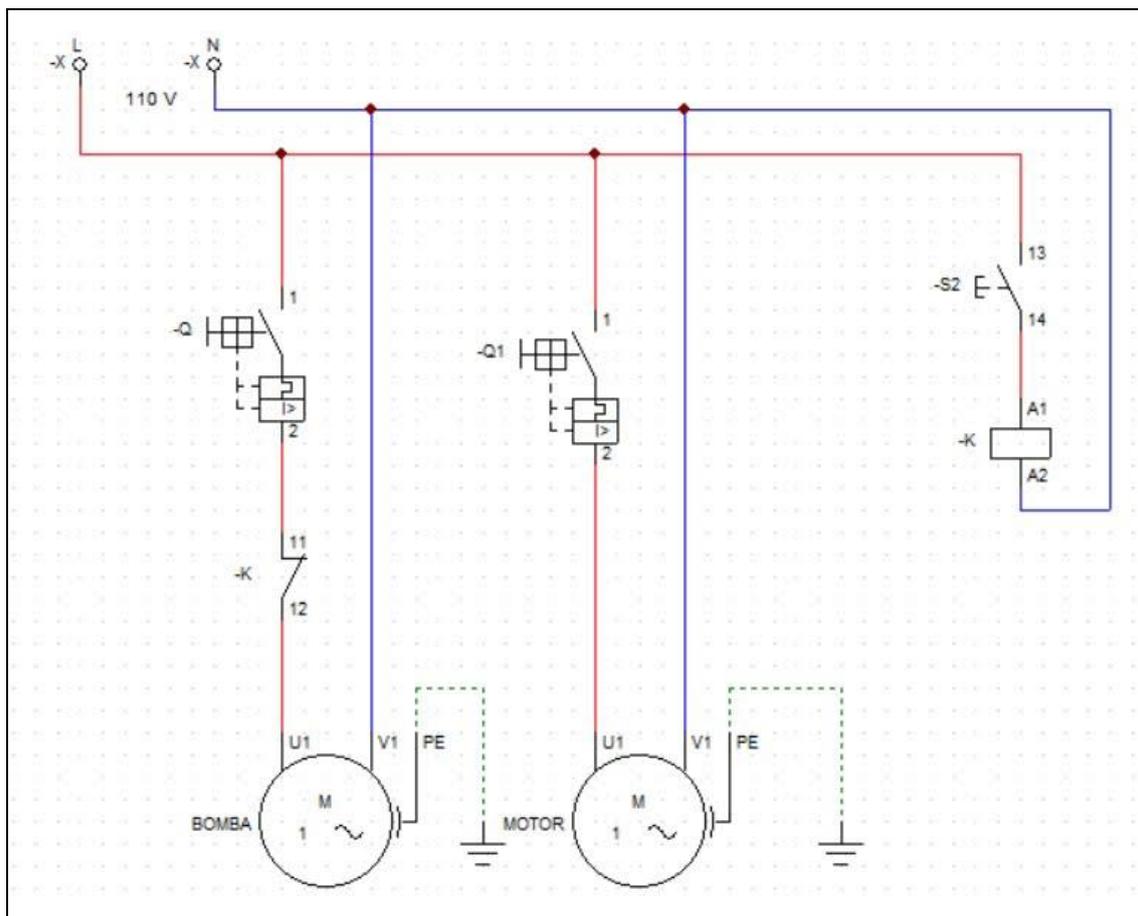


Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

10.12. Diseño del circuito eléctrico

El circuito eléctrico de encendido de la máquina de espuma se basa en el accionado de la bomba centrífuga para mover el fluido del depósito contenedor hacia la entrada del cañón, también el accionado del motor impulsor de la espuma, la cual expulsa el producto final hacia donde se apunte. Para esto se consideró el uso de dos interruptores termomagnéticos, y un cable vulcanizado 2x12 AWG.

Figura 66. Diseño de la conexión eléctrica (CADE_SIMU).



Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

Para calcular el tipo de cable en la conexión eléctrica, se tuvo en cuenta la ley de ohm, la cual describe a la potencia eléctrica como el producto de del voltaje por la intensidad de corriente.

$$P = V \times I \gg I = \frac{P}{V}$$

Para el caso del motor:

$$P = 746 \text{ w}$$

$$V = 110 \text{ v}$$

$$I = \frac{746 \text{ w}}{110 \text{ v}}$$

$$I = 6,78 \text{ A}$$

Para el caso de la bomba:

$$P = 373 \text{ w}$$

$$V = 110 \text{ v}$$

$$I = \frac{373 \text{ w}}{110 \text{ v}}$$

$$I = 3,39 \text{ A}$$

Las corrientes que circularán por los cables de las conexiones corresponden a 6,78 A para el motor impulsor de la espuma y 3,39 A para la bomba periférica. Para esto en la implementación del circuito eléctrico se utilizaron dos interruptores termomagnéticos monopolo de 5 y 10 A, que accionarán la bomba y el motor independientemente.

Figura 67. Interruptor termomagnético monopolo 5A(izquierda), cable vulcanizado 2x12 AWG(derecha).



Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

11. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Una vez implementada la máquina de espuma, para realizar un análisis y discusión de resultados es necesario tener en cuenta varios aspectos, tales como el rendimiento, la eficiencia y la calidad del producto final.

11.1. Características generales de la máquina de espuma

Esta máquina de espuma es un dispositivo diseñado para generar y expulsar espuma, generalmente será utilizada en eventos, fiestas y otras actividades académicas. Las características de esta máquina de espuma se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 19. *Características técnicas de la máquina de espuma.*

Características técnicas		
Voltaje nominal (V)	110-120 AC	
Potencia (W)	1119	
Frecuencia nominal (Hz)	60	
Caudal de la espuma (m ³ /min)	15	
Líquido consumido (L/min)	20	
Distancia de alcance (m)	8,5	
Dimensiones (m)	Largo	1
	Ancho	0,6
	Alto	1,84
Peso (Kg)	70	

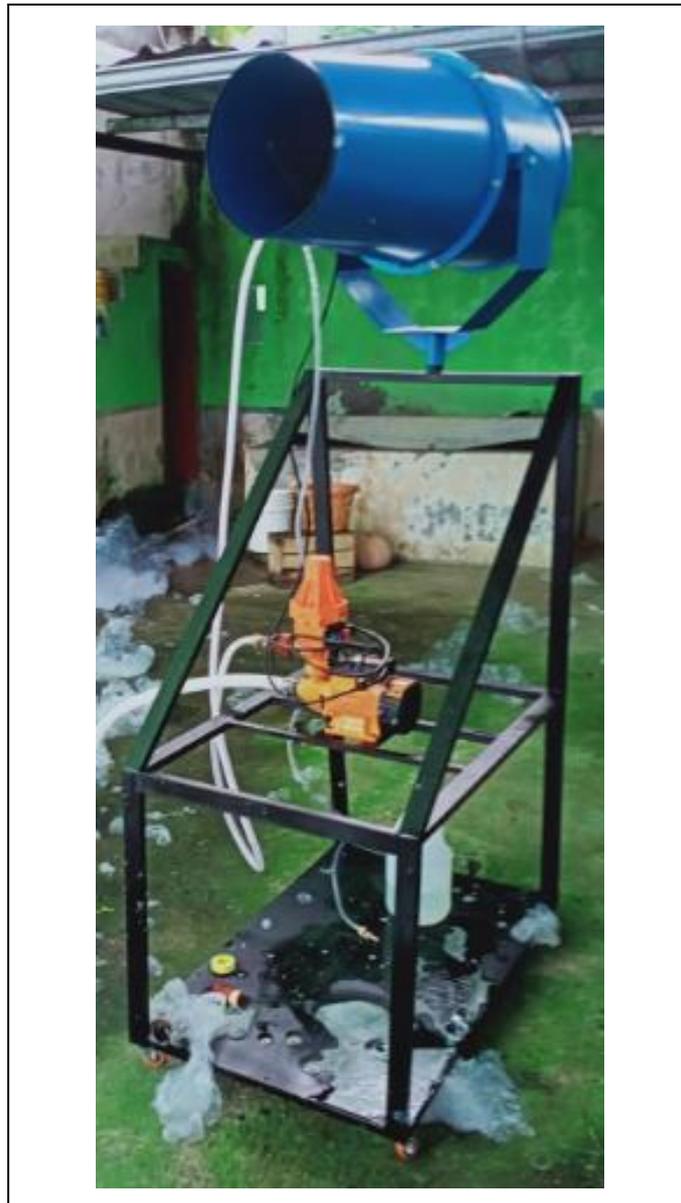
Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

Generación de espuma: La función principal de la máquina es generar espuma. Utiliza un líquido de una mezcla especial detallada anteriormente, este concentrado de espuma, se mezcla con aire para crear burbujas de espuma.

Capacidad del depósito: Las máquinas de espuma cuenta con un depósito donde se almacena la mezcla concentrada. La capacidad de este depósito es de 20 L, y el material PET resistente permiten una operación continua durante más tiempo sin necesidad de recargar.

Bomba de espuma: La máquina está equipada con una bomba hidráulica centrífuga que aspira el líquido concentrado del depósito y lo mezcla con aire para producir la espuma. La potencia de la bomba es de 370 W, esto influye en la cantidad y la calidad de la espuma generada.

Figura 68. *Maquina de espuma en funcionamiento.*



Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

La figura anterior muestra el montaje final de la máquina de espuma y la compatibilidad del líquido espumante, con la potencia de la bomba.

11.2. Cálculo de densidad de mezclas

11.2.1. Cálculo de la densidad de la mezcla 1

Para la mezcla 1 se utilizaron los componentes detallados con anterioridad, reemplazando en la fórmula de densidad, se tendrá en cuenta que $V=m/\rho$, (V es volumen, m es masa y ρ es densidad). La densidad (ρ), del texapon (tx70), glicerina (gl), ácido cítrico (ac) y agua (h2o) se detallan en el capítulo anterior. En cuanto al volumen (V) y la masa (m) de los componentes se trabajó con las cantidades que se detallan en la tabla 9, mezcla para 20 litros:

$$\rho_1 = \frac{\rho_{tx70} \cdot V_{tx70} + \rho_{gl} \cdot V_{gl} + \rho_{ac} \cdot V_{ac} + \rho_{h2o} \cdot V_{h2o}}{V_{tx70} + V_{gl} + V_{ac} + V_{h2o}}$$

Donde:

$$\rho_{tx70} = 1100 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{gl} = 1250 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{ac} = 1670 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{h2o} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{tx70} = 4 \text{ kg}$$

$$V_{gl} = 0,001 \text{ m}^3$$

$$m_{ac} = 0,2 \text{ kg}$$

$$V_{h2o} = 0,018 \text{ m}^3$$

Reemplazando los valores en la ecuación se obtiene:

$$\begin{aligned} \rho_1 &= \frac{1100 \text{ kg/m}^3 \times \frac{4}{1100} \text{ m}^3 + 1250 \text{ kg/m}^3 \times 0,001 \text{ m}^3 + 1670 \text{ kg/m}^3 \times \frac{0,2}{1670} \text{ m}^3 + 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,018 \text{ m}^3}{\frac{4}{1100} \text{ m}^3 + 0,001 \text{ m}^3 + \frac{0,2}{1670} \text{ m}^3 + 0,018 \text{ m}^3} \\ \rho_1 &= \frac{4 \text{ kg} + 1,250 \text{ kg} + 0,2 \text{ kg} + 18 \text{ kg}}{0,0228 \text{ m}^3} \\ \rho_1 &= \frac{23,450 \text{ kg}}{0,0228 \text{ m}^3} \\ \rho_1 &= 1028,5088 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

Para la primera mezcla se calculó una densidad aproximada de $1028,5088 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ en una mezcla de 20 litros. Este cálculo servirá para hallar la presión de salida de la bomba centrífuga.

11.2.2. Cálculo de la densidad de la mezcla 2

Para la mezcla 1 se utilizaron los componentes detallados con anterioridad, reemplazando en la fórmula de densidad, se tendrá en cuenta que $V=m/\rho$, (V es volumen, m es masa y ρ es densidad). La densidad (ρ), del texapon (tx70) y agua (h2o) se detallan en el capítulo anterior. En cuanto al volumen (V) y la masa(m) de los componentes se trabajó con las cantidades que se detallan en la tabla 10, mezcla para 5 litros

$$\rho_2 = \frac{\rho_{tx70} \cdot V_{tx70} + \rho_{h2o} \cdot V_{h2o}}{V_{tx70} + V_{h2o}}$$

Donde:

$$\rho_{tx70} = 1100 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{h2o} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$m_{tx70} = 1 \text{ kg}$$

$$V_{h2o} = 0,005 \text{ m}^3$$

Reemplazando los valores en la ecuación se obtiene:

$$\rho_2 = \frac{1100 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{1100} \text{ m}^3 + 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,005 \text{ m}^3}{\frac{1}{1100} \text{ m}^3 + 0,005 \text{ m}^3}$$

$$\rho_2 = \frac{6 \text{ kg}}{0,0059 \text{ m}^3}$$

$$\rho_2 = 1015,3846 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Para la segunda mezcla se calculó una densidad aproximada de $1015,3846 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ en una mezcla de 20 litros. Este cálculo servirá para hallar la presión de salida de la bomba centrífuga.

11.3. Cálculo de parámetros de operación de la bomba

La bomba opera con un caudal (Q), en un rango de 0 L/min a 35 L/min. Al transformar las unidades en m^3/s , y la salida con un diámetro (ϕ) de 1 pulg a m, obtendremos parámetros para el cálculo de la velocidad (v) de salida y posteriormente la presión en ese mismo punto.

$$0 \text{ L/min} = 0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$35 \frac{\text{L}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 5,8333 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Para el cálculo de la velocidad, utilizaremos el equivalente de diámetro (ϕ) de 1 pulg = 0,0254 m.

$$v_2 = \frac{4Q}{\pi \phi^2}$$

$$v_2 = \frac{4 (5,8333 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s})}{\pi (0,0254 \text{ m})^2}$$

$$v_2 = \frac{2,3333 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{2,0268 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2}$$

$$v_2 = 1,1512 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

De la ecuación de Bernoulli, se despeja la presión de salida (P_2), las pérdidas de carga en las mangueras h_1 y h_2 se aproximan a cero por ser de un valor despreciable. La presión de entrada (P_1), está definida por la presión atmosférica. Además Z_1 , es la altura del nivel del tanque de agua hacia en piso, por estar este nivel sobre la bomba, Z_2 tendría un valor definido por la salida de la bomba hacia el nivel del piso.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 + h_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + h_2$$

$$P_2 = \left(\frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + Z_1 - Z_2 \right) \cdot \rho g + P_1$$

Donde, para la mezcla 1:

$$v_1 \approx 0 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 1,1512 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$P_1 = P_{atm} = 101325 Pa$$

$$Z_1 = 0,88 m$$

$$Z_2 = 070 m$$

$$g = 9,81 m/s^2$$

$$\rho_1 = 1028,5088 kg/m^3$$

Reemplazando:

$$P_2 = \left(\frac{0^2 - (1,1512 \cdot 10^{-2} m/s)^2}{2(9,81 m/s^2)} + 0,88m - 0,70m \right) \cdot 1028,5088 kg/m^3 \cdot 9,81 m/s^2 + 101325 Pa$$

$$P_2 = 103141,0727 Pa$$

Para la primera mezcla la presión de impulso que sale de la bomba hidráulica es de 103141,0727 Pa, presión suficiente para formación de espuma.

Para la mezcla 2:

$$v_1 \approx 0 m/s$$

$$v_2 = 1,1512 \cdot 10^{-2} m/s$$

$$P_1 = P_{atm} = 101325 Pa$$

$$Z_1 = 0,88 m$$

$$Z_2 = 0,70 m$$

$$g = 9,81 m/s^2$$

$$\rho_2 = 1015,3846 kg/m^3$$

Reemplazando:

$$P_2 = \left(\frac{0^2 - (1,1512 \cdot 10^{-2} m/s)^2}{2(9,81 m/s^2)} + 0,88m - 0,70m \right) \cdot 1015,3846 kg/m^3 \cdot 9,81 m/s^2 + 101325 Pa$$

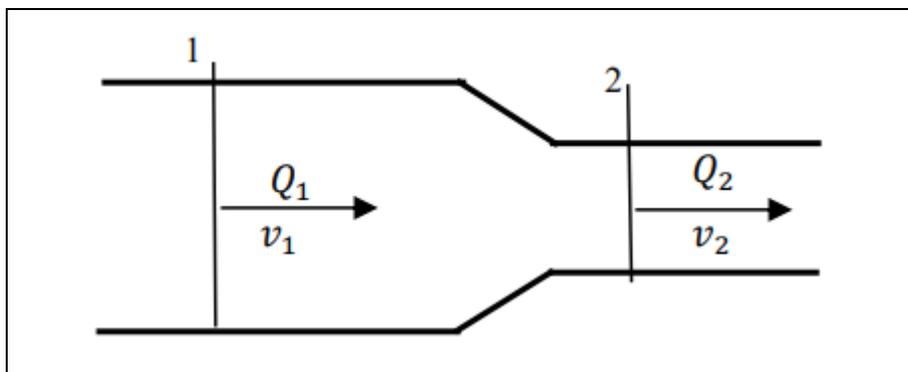
$$P_2 = 1103117,8988 Pa$$

Para la primera mezcla la presión de impulso que sale de la bomba hidráulica es de $1103117,8988 \text{ Pa}$, presión suficiente para formación de espuma.

11.4. Cálculo de la velocidad del fluido después del adaptador de 1" a ½"

La mezcla espumosa viaja de la bomba hidráulica, a través de un adaptador reductor de un diámetro de 1 pulgada a ½ pulgada, para esto el caudal aumenta, así como la velocidad de propulsión de la mezcla.

Figura 69. Ecuación de continuidad aplicada en el adaptador de 1" a ½".



Fuente: [46]

$$S_1 v_1 = S_2 v_2$$

Donde:

$$v_1 = 1,1512 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$v_2 = ?? \text{ m/s}$$

$$\phi_1 = 0,0254 \text{ m}$$

$$\phi_2 = 0,0127 \text{ m}$$

$$\left(\frac{\pi \cdot (0,0254 \text{ m})^2}{4} \right) \times 1,1512 \cdot 10^{-2} \text{ m/s} = \left(\frac{\pi \cdot (0,0127 \text{ m})^2}{4} \right) \times v_2$$

$$v_2 = \left(\frac{(0,0254 \text{ m})^2}{(0,0127 \text{ m})^2} \right) \times 1,1512 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

$$v_2 = 4,6048 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

La velocidad con la que viaja la mezcla a través de la manguera de $\frac{1}{2}$ pulgada hacia el cañón es de $4,6048 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$.

11.5. Rendimiento de la máquina de espuma

Para evaluar el rendimiento de la máquina se evaluaron dos mezclas en diferentes proporciones.

11.5.1. Producción de espuma

Para evaluar la cantidad de espuma generada por la máquina en un periodo específico. Se puso en funcionamiento y se tomaron las medidas respectivas para cada tipo de mezcla, a su vez se compararon con la máquina de espuma obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 20. *Resultado generales de producción de espuma.*

	Máquina de espuma (mezcla 1)	Máquina de espuma (mezcla 2)
Volumen de espuma producida (m^3) - 7 L	3	2,4
Velocidad de producción de espuma (m^3/min)	15	12
Velocidad de consumo de mezcla (L/min)	35	35
Alcance (m)	8,5	8

Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

Como se puede apreciar en la tabla la máquina de espuma implementada produce más espuma al utilizar la mezcla 1, a su vez la velocidad de producción de espuma es mayor en comparación con la mezcla 2. Por otra parte, se logra un mayor alcance (8,5m), con la máquina de espuma implementada y utilizando la mezcla espumosa 1.

11.5.2. Calidad de la espuma

La textura y consistencia de una espuma se refieren a las propiedades físicas y táctiles de esta sustancia como son la densidad y esponjosidad. La espuma es una estructura formada por burbujas de gas atrapadas en el líquido de la mezcla, estas propiedades pueden variar según la cantidad de los ingredientes utilizados y el método de preparación. Por otra parte, la uniformidad también se refiere a la capacidad de la espuma para mantener su estructura de manera consistente en un tiempo determinado. Una espuma que se colapsa o pierde su forma de manera desigual puede considerarse no uniforme.

Tabla 21. *Resultados generales de calidad espuma.*

	Máquina de espuma (mezcla 1)	Máquina de espuma (mezcla 2)
Densidad (kg/m ³)	2,4000	2,9615
Esponjosidad	Alta	Media-Alta
Estabilidad	Alta	Media

Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

Como se puede apreciar en la tabla, para la mezcla 1 se obtuvo una densidad de 2,4 kg/m³ menor a la de la mezcla 2 (2,9615 kg/m³), esto indica que utilizar la mezcla 1 es más conveniente, puesto que con una menor masa de mezcla se logra un mayor volumen de espuma. Además, en la mezcla 2 el volumen de la espuma empieza a reducirse a los 20 min al establecer un contacto con el suelo, a diferencia de la mezcla 1, la cual duró aproximadamente 1 hora en las mismas circunstancias.

11.6. Eficiencia del proceso

11.6.1. Consumo de materiales

La eficiencia en el consumo de materiales en una máquina de espuma se refiere a la capacidad de la máquina para utilizar los ingredientes de manera óptima y producir espuma de alta calidad con la menor cantidad de desperdicio posible. Para esto se debe analizar la cantidad de materiales (espumantes, agua, etc.) utilizados por la máquina.

Así se detalla la lista de ingrediente para una preparación de 20 litros de mezcla espumante, en la siguiente tabla, se puede apreciar que para mezcla 1 se utilizan dos ingredientes más, lo cual en costos puede ser superior a la mezcla 2, pero se compensa en producción y calidad de espuma como se puede comprobar los resultados en el punto anterior.

Tabla 22. *Comparativa en el uso de recursos de las mezclas espumantes utilizadas (20 Litros).*

	Máquina de espuma (mezcla 1)	Máquina de espuma (mezcla 2)
Texapon 70	4 kg	4 kg
Glicerina líquida	1 L	-
Ácido cítrico	200 g	-
Agua	18 L	5 L

Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

11.6.2. Consumo de energía

Calcular la eficiencia energética de consumo es una forma de evaluar cuanta energía se está utilizando en relación con el rendimiento o la salida deseada. Para el cálculo de la eficiencia energética de la bomba se utiliza el valor de la potencia usada en relación a la potencia disponible.

Cálculo de la potencia requerida por la bomba:

$$W_B = \rho \times g \times Q \times h$$

Donde:

$$W_B = \text{Potencia de la bomba}$$

$$\rho = 1028,5088 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = 5,8333 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

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

$$h = 35 \text{ m (altura máxima especificada por la bomba)}$$

$$W_B = 1028,5088 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 5,8333 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \times 35 \text{ m}$$

$$W_B = 205,9963 \text{ w}$$

La potencia de la bomba es suficiente para la aplicación en la propulsión de la mezcla espumante hacia el cañón. Por otra parte, es importante evaluar la eficiencia energética de cada componente en el proceso. En el caso del motor propulsor de la espuma, el cálculo de eficiencia es inherente, puesto que, este valor está dado por el fabricante y es de 88%, equivalente a 656,48 w.

$$E_B = \frac{205,9963 \text{ w}}{373 \text{ w}}$$

$$E_B = 0,5522$$

Cálculo de la eficiencia energética total de la máquina de espuma:

$$E_B = \frac{205,9963 \text{ w} + 656,48 \text{ w}}{373 \text{ w} + 746 \text{ w}}$$

$$E_B = 0,7708$$

En la siguiente tabla se detalla el consumo de energía de la máquina de espuma implementada.

Tabla 23. Consumo de energía de la máquina de espuma.

	Bomba	Motor	Máquina de espuma
Consumo de energía (W)	373	746	1119
Eficiencia energética (%)	55,22	88	77,08

Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

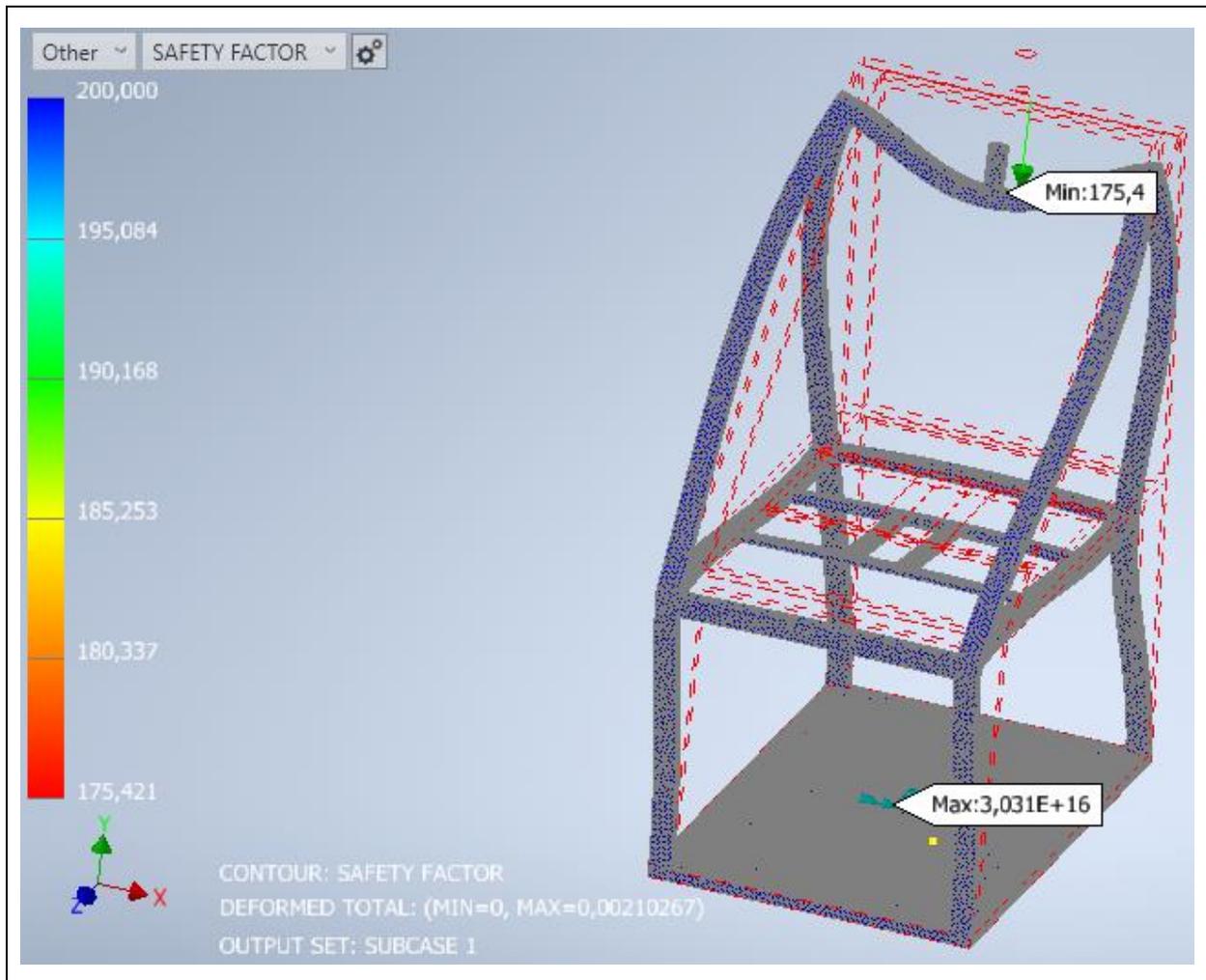
Como se puede apreciar en los resultados de la tabla 23, de consumo energético, la máquina de espuma implementada tiene en suma un consumo total de energía de 1118 W, con el motor propulsor y la bomba de agua en conjunto, con una eficiencia energética de 77,08 %.

11.7. Factor de seguridad

Para el cálculo del factor de seguridad se empleó el software de diseño 3D, la cual realiza análisis de estructuras. El material propuesto en la simulación es acero galvanizado. Para este caso se evaluó el factor de seguridad en dos cargas puntuales, donde se apoya el cañón de propulsión y la

base donde se apoya la bomba. Considerando los pesos 20 Kg para el cañón y 11 kg para la bomba. Aproximando la fuerza de gravedad a 10 m/s^2 , se hace uso del software para simular ambos casos.

Figura 70. Factor de seguridad de estructura base de máquina de espuma, apoyo del cañón.



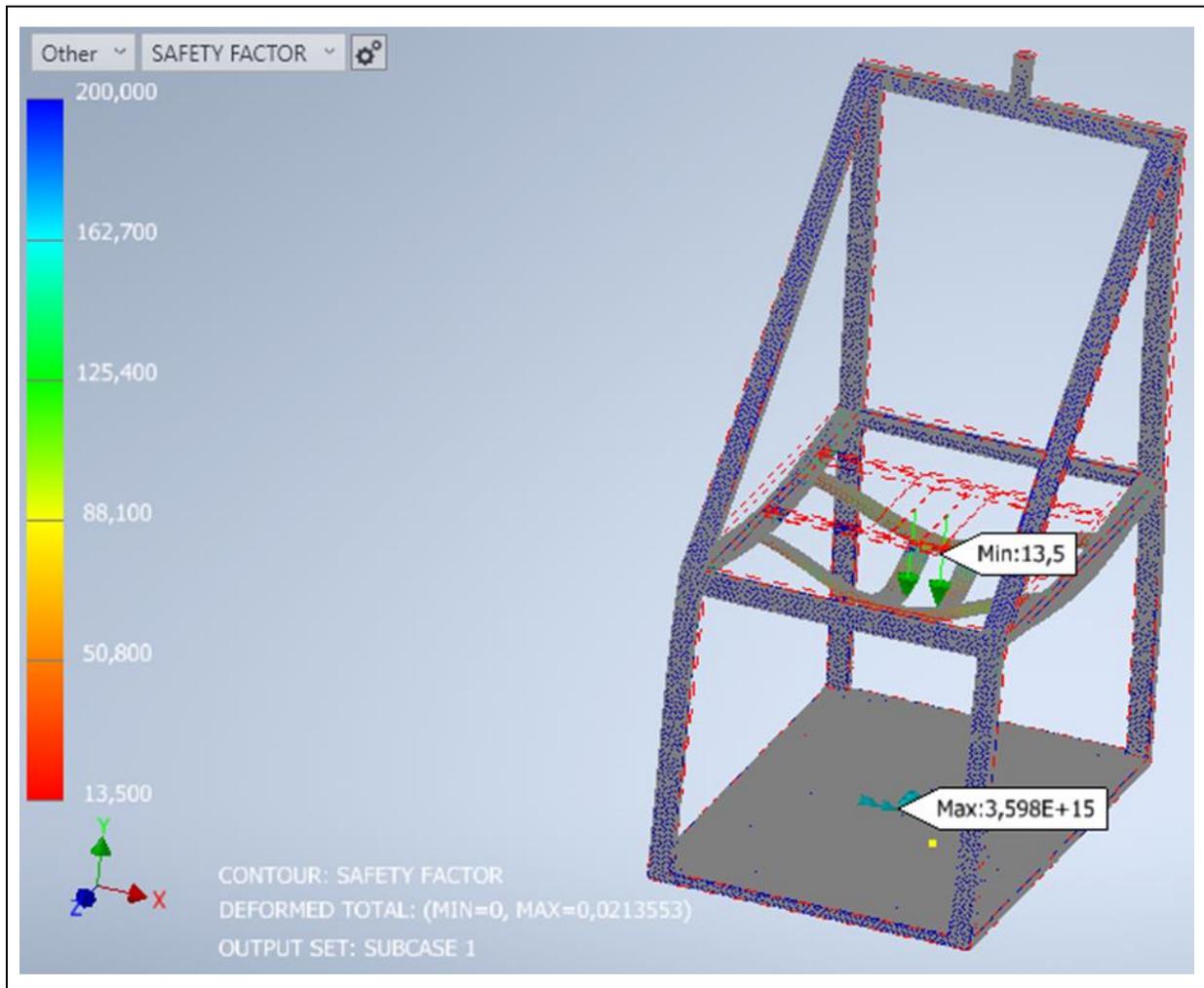
Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

En la figura 70, se muestra el resultado de la simulación con una carga puntual en el punto de apoyo del cañón de 200 N. El valor del factor de seguridad mínimo es de 175,4. Cabe destacar que un valor aceptable de dicho coeficiente debe ser mayor a la unidad, en caso de ser igual a 1 esta estructura estaría presentando desgaste. El valor 175,4 indica que en ese punto la estructura puede soportar aproximadamente 175 veces el peso del cañón.

Para el segundo caso se focalizan dos cargas puntuales de 110 N distribuidas en dos puntos de apoyo en la base donde va ubicada la bomba. Al realizar el análisis el factor de seguridad arroja

un valor de 13,5. Este valor, indica que, en esa parte de la estructura, se puede soportar hasta 13,5 veces el valor del peso de la bomba. En la figura 71, se puede apreciar una deformación en la estructura al sobrepasar ese límite.

Figura 71. Factor de seguridad de estructura base de máquina de espuma, apoyo de la bomba.



Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

Al trabajar con ambas cargas en conjunto se toma como valor mínimo de factor de seguridad 13,5. Este valor indica que, la estructura presenta uniformidad y es segura para la aplicación en funcionamiento.

11.8. Usabilidad

La operabilidad de una máquina de espuma se refiere a la capacidad de la máquina para funcionar de manera eficiente y efectiva, produciendo espuma de alta calidad de acuerdo con las

necesidades y especificaciones del usuario. En el caso de la máquina de espuma implementada se destacan los siguientes puntos:

11.8.1. Interfaz del usuario

La máquina de espuma posee controles intuitivos que permitan a los operadores comprender el accionamiento a través de interruptores termomagnéticos, además de la recarga fácil de líquido espumante, con las proporciones y procedimiento de preparación indicado en el anexo 6, manual de operación para la mezcla 1, la cual detalla sus elementos en la tabla 22, preparación para 20 litros. Además de poseer una estructura sólida que impide cualquier caída o volcamiento de máquina. Posee un direccionamiento al nivel de azimut y ángulo de elevación de fácil manejo por medio de un mecanismo giratorio vertical y horizontal, detallado en el anexo 4, planos de diseño (base del cañón).

11.8.2. Mantenimiento

El mantenimiento de una máquina de espuma es importante para garantizar su rendimiento óptimo, prolongar su vida útil y asegurar la calidad de la espuma producida. Se detalla los pasos generales que se siguen en el mantenimiento de una máquina de espuma:

Tabla 24. *Pasos para mantenimiento de máquina de espuma.*

Limpeza Regular	Limpiar regularmente las superficies externas de la máquina para evitar acumulaciones de suciedad y grasa.
Inspección Visual	<p>Verifica visualmente todas las conexiones y mangueras para asegurar que estén en buen estado y no haya fugas.</p> <p>Examinar los componentes clave, como las boquillas de dosificación y los sistemas de presión, para detectar cualquier signo de desgaste o daño.</p>
Verificación de la Dosificación	<p>Asegurar que la máquina esté siendo alimentada por una mezcla con dosificación de los ingredientes correctamente.</p> <p>Ajustar la dosificación de ser necesario.</p>
Control de Presión y Temperatura	Comprobar la presión de trabajo y calibra el sistema si es necesario para garantizar un rendimiento consistente.

Lubricación de Componentes Móviles	Aplicar lubricante a las partes móviles para garantizar un movimiento suave y reducir el desgaste.
Verificación de Seguridad	Verificar que los sistemas de seguridad, como interruptores de emergencia o dispositivos de desconexión, funcionen correctamente.
Revisión de Manuales y Documentación	Leer la documentación detallada de la máquina y seguir las recomendaciones de mantenimiento específicas para tu máquina.
Capacitación del Personal	Asegurar que el personal que opera la máquina esté capacitado adecuadamente en los procedimientos de mantenimiento y uso seguro.

Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

El desarrollo de este sistema de bombeo aplicado a la construcción de una máquina de espuma para la facultad de electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, influye de una manera social muy importante. Esta implementación ayudara a los estudiantes a comprender de una manera más eficiente conceptos en temas de mecánica de fluidos, tanto teóricos como prácticos. La implementación de este enfoque práctico repercute positivamente en el rendimiento de los estudiantes y, en última instancia, contribuye de manera significativa a sus futuras carreras.

12.1. Impacto técnico

La implementación de un sistema de bombeo en la construcción de una máquina de espuma para la carrera de electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná tiene un impacto técnico en los aspectos como lo son la aplicación práctica de conocimientos, integración de disciplinas, el desarrollo de habilidades prácticas, practicas colaborativas en equipos, experiencias en proyectos de automatización a su vez preparación técnica para la industria.

12.2. Impacto social

Desde un punto de vista social la implementación de un sistema de bombeo en la construcción de una máquina de espuma para la carrera de electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi

Extensión La Maná, promueve el desarrollo tecnológico, así como un impacto positivo en el desarrollo de eventos sociales y académicos dentro de la institución, pues usa productos técnicos de elaboración propia, dejando una línea de desarrollo tecnológico por parte de la universidad a la sociedad.

13. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Tabla 25. *Presupuesto del proyecto*

Cantidad	Descripción	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
1	Válvula de retención de Pie 1"	15,50	15,50
2	Adaptador de manguera para válvula, roscado BSPT ½"	2,50	5,00
2	Adaptador de manguera para válvula, roscada BSPT 1"	3,00	6,00
2	Abrazaderas para manguera metálicas de 1"	1,25	2,50
2	Abrazaderas para manguera metálicas de ½"	1,00	2,00
1	Manguera Flexible Transparente para agua 1" (3 m)	8,40	8,40
1	Manguera Flexible Transparente para agua ½" (2,5 m)	5,00	5,00
1	Acople rápido de Aluminio B-50 ½"	48,90	48,90
1	Acople rápido de aluminio F-50 ½"	34,40	34,40
1	Codo de PVC de 45° ½"	3,90	3,90
1	Neplo perdido de PVC de ½"	1,50	1,50
1	Neplo perdido de PVC de 1"	2,00	2,00
1	Válvula de paso rápido ½"	12,80	12,80
1	Reducción de 1" a ½" PVC	3,30	3,30
1	Presurizador INGCO UWAPS 002	55,50	55,50
1	Bomba de agua INGCO UVPM 3708 de 0,5 HP	90,00	90,00
1	Válvula de esfera Mina hembra ¼"	21,99	21,99
1	Conector de manguera de acero Inox Macho ¼"	11,50	11,50
1	Conector de manguera de latón, codo de 90° de ¼"	5,60	5,60
1	Adaptador hembra de latón ¼"	2,50	2,50
1	Adaptador macho de latón ¼" a 1/8"	2,50	2,50

1	Unión roscable para tubo PVC ½"	3,30	3,30
1	Ventilador de flujo axial	25,00	25,00
1	Perrilla de plástico macho	2,50	2,50
1	Motor 1 Hp	216,30	216,30
1	Interruptor industrial	15,00	15,00
1	Manguera flexible ¼" (3 m)	3,20	3,20
1	Cable concéntrico	15,00	15,00
2	Breakers	5,00	5,00
		Sub total	1423,09
		IVA 12 %	170,77
		TOTAL	1593,86

Fuente: (Masaquiza, Ninasunta 2024)

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1. Conclusión

- Se construyó una máquina de espuma, implementando un sistema de bombeo para fluidos de diferente densidad para la carrera de electromecánica de la UTC extensión La Maná y se pudo verificar que la densidad del líquido espumante influye en la calidad y consistencia de la espuma.
- Se indagó de diferentes fuentes bibliográficas como lo son libros, artículos, tesis, manuales, teoría de mecánica de fluidos relacionadas a la construcción de un sistema de bombeo, aplicado a una máquina generadora de espuma.
- Se diseñó un sistema de bombeo que transportó de manera uniforme la mezcla espumante desde el depósito de almacenamiento hacia la entrada del cañón con una velocidad de diseño de 0,046 m/s y una presión de diseño de 1,104 bares, también se diseñaron las partes mecánicas en software informático.
- Se implementó el sistema de bombeo y la máquina de espuma diseñados, obteniendo como resultado un alcance máximo de 8,5 m de la espuma generada, con una densidad de 2,4 kg/m³, con una alta esponjosidad y estabilidad.

14.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar proyectos prácticos en la carrera de electromecánica de la UTC extensión La Maná, relacionados a los temas impartidos, pues permite la mejor comprensión de la parte teórica aplicada en la implementación de prototipos didácticos.
- Se recomienda la constante práctica en el uso de programas informáticos de diseño mecánico 3D, esto ayuda a plasmar los esquemas de construcción de una manera más eficiente al proyectarlos en un plano y visualizarlas.
- Se recomienda que, luego de la implementación de la máquina generadora de espuma establecer un proceso de optimización continua para el sistema de bombeo, como ajustes en la velocidad de bombeo, la presión, o la mezcla de espuma para mejorar la eficiencia y la calidad del producto.

15. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. E. Rafael Barzola, «Implementación de un sistema de bombeo integral para la evacuación de aguas subterráneas en MineraKolpa S.A.» Huancayo-Perú, 2019.
- [2] S. Vásquez Cano, «Elementos técnicos de diseño, construcción y operación para la supervisión de los sistemas de bombeo de las edificaciones donde EPM atiende los servicios de acueducto y alcantarillado.» 2019.
- [3] E. Blanco Marigorta, S. Velarde Suarez y J. Fernández Francos, Sistemas de bombeo, Universidad de Oviedo, 1994.
- [4] C. P. Asmat Cáceres, «Determinación de la eficiencia de un sistema de bombeo fotovoltaico en el distrito de Yaurisque-Cusco.» Lima-Perú, 2018.
- [5] C. J. Ojeda Jimenez y R. Aguilera Vargas, «Reengineering of the pumping system and implementation of a SCADA for the supervision and automatic control of the fire fighting system, at the Petróleos Paraguayos PETROPAR industrial plant,» *Revista Científica de la UCSA*, vol. 8, n° 3, pp. 20-38, Diciembre 2021.
- [6] J. S. Mariño Espinosa, «Caracterización y análisis del rendimiento de tres bombas sumergibles para su óptimo acoplamiento a un sistema solar fotovoltaico.» Bogotá-Colombia, 2019.
- [7] N. O. Miron Granese, «Hidrodinámica relativista y cosmología,» Buenos Aires-Argentina, 2021.
- [8] L. D. Landau, E. M. Lifshitz, V. B. Berestetskii y L. P. Pitaevskii, Mecánica de fluidos, Reverté, 2021.
- [9] A. Martín Domingo, Apuntes de mecánica de fluidos, 2023.
- [10] D. Téllez Calle, «De la teoría cinética a la hidrodinámica,» Sevilla-España, 2022.

- [11] R. C. Cotos Morales, *Mecánica de fluidos*, 2019.
- [12] S. De las Heras Jimenez, *Fluidos, bombas instalaciones hidráulicas.*, UPC, Ed., Iniciativa Digital Politecnica, 2019.
- [13] T. Garzón, «Caracterización experimental y modificación de una bomba manual para uso doméstico en zonas con escasez de recursos hídricos en Colombia,» Bogotá-Colombia, 2022.
- [14] J. I. Ruiz Criado, «Caracterización experimental de una bomba de doble efecto tipo Gaviotas,» Bogotá-Colombia, 2023.
- [15] B. Zamora Parra y A. Viedma Robles, «16. Máquinas de desplazamiento positivo y transmisiones hidráulicas,» de *Máquinas hidráulicas: teoría y problemas*, Universidad Politécnica de Cartagena, 2016, p. 282.
- [16] J. A. Sandoval, *Mecánica de fluidos Serie: Apuntes de clase*, ResearchGate, 2018.
- [17] J. A. Hernández Echevarría y D. M. Jiménez Véliz, «Diseño de un equipo de pruebas para bombas centrífugas de flujo axial,» Guayaquil - Ecuador, 2019.
- [18] C. V. Lucino, S. O. Liscia y J. M. Galíndez, *Bombas, estaciones de bombeo y acueductos*, Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, 2022.
- [19] I. Amores Silva, M. Chávez Estrada y M. Miranda Ramos, «Diseño, implementación y control para un banco de pruebas con bombas centrífugas en conexión serie y paralelo,» *Científica*, vol. 22, n° 1, pp. 51-59, Enero-Junio 2018.
- [20] V. J. Cadena, «Diseño del sistema de control de un banco de pruebas hidráulico,» 2018.
- [21] J. F. De Oliveira, «Bombas centrífugas,» 2021.
- [22] V. Yepes Piqueras, «Altura neta positiva de aspiración de una bomba,» 2021.
- [23] G. d. G. Saldanha Nunes, «Simulação numérica das curvas características de Altura Manométrica, Rendimento e NPSH de bombas centrífugas,» Brasília, DF, 2020.

- [24] O. H. Mariño-AbarcaI, J. J. González-Bayón, R. Delgado-García y R. Borrajo-Pérez, «Actualización sobre el empleo de alabes de regulación de entrada en el bombeo de líquidos,» *Ingeniería Mecánica*, vol. 22, nº 3, pp. 133-141, Septiembre 2019.
- [25] I. Almendral, A. Gallardo y G. Ramírez, «Introducción General a las Turbomáquinas Hidráulicas,» 2018.
- [26] M. Pérez Sánchez, F. J. Sánchez Romero, P. A. López Jimenez y H. M. Ramos, Bombas operando como turbinas (PAT). Principios de funcionamiento y selección., riunet.upv.es, Ed., Editorial Universitat Politècnica de València, 2020.
- [27] L. G. Machado Vallejo, «Selección y Aplicaciones Industriales de Bombas,» *Polo del Conocimiento*, vol. 5, nº 8, pp. 1309-1320, 2018.
- [28] J. J. Galvez Veintimilla y W. D. Torres García, «Influencia de la rugosidad y material del impulsor sobre la altura, potencia y rendimiento de una bomba centrífuga PKM60 Pedrollo,» 2020.
- [29] A. Rocha Felices, Hidraulica de Tuberias y Canales, 2018.
- [30] L. F. Toapanta Ramos, G. A. Bohórquez Peñafiel, L. E. Caiza Vivas y W. Quitiaquez Sarzosa, «Análisis numérico de los perfiles de velocidad de un flujo de agua a través de una tubería con reducción gradual,» *Enfoque UTE*, vol. 9, nº 3, pp. 80-92, Julio-Septiembre 2018.
- [31] C. J. Herrera Castrillo, «Simulador PHET para demostrar ecuación de continuidad con enfoque diferencial e integral incluyendo vectores,» *Revista Chilena de educación científica*, vol. 24, nº 1, pp. 14-35, 2023.
- [32] D. A. Serrano, F. Y. Cerpa y G. A. Gutiérrez, «Análisis de las pérdidas de carga en flujo turbulento en un laboratorio universitario de mecánica de fluidos,» *Centro de Información Tecnológica*, vol. 32, nº 4, pp. 3-12, 2021.
- [33] J. Soriano Olivares, «Línea de alturas piezométricas,» *riunet.upv.es*, 2018.

- [34] N. S. Chuquín Vasco, J. P. Chuquín Vasco y D. A. Chuquín Vasco, *Hidráulica en Tuberías y Accesorios (Válvulas Industriales): Pérdidas, Casos reales de Aplicación y Selección de Bombas Centrífugas*, Guayaquil-Ecuador: CIDE, 2020.
- [35] F. Rodrigo Braga, «Determinação de curvas NPSH em Bombas Centrífugas,» 2020.
- [36] J. A. Carrasco Cueva, «Diseño e implementación de accesorios para experimentación de pérdidas de energía, flujo laminar y turbulento en tuberías : diseño e implementación de accesorio para experimentación de pérdidas de energía en tuberías,» Quito:EPN, 2023, 2023.
- [37] D. Espín, «Proceso de recuperación de válvulas de compuerta para refinería,» Ecuador, 2017.
- [38] J. C. Pupo Reyes, «Propuesta metodológica para la selección y dimensionamiento de válvulas de control de vapor de sellaje,» 2021.
- [39] J. J. Cano Solórzano, «Optimización de un banco de pruebas para la caracterización de pérdidas de presión en válvulas comerciales,» Bogotá, 2019.
- [40] H. Lorenzo García, «Estudio de cavitación en válvulas de control,» 2018.
- [41] Y. Oyolo Centeno, «Implementación de un Sistema de Bypass para la Mejora en el Abastecimiento de Agua Potable, Villa El Salvador 2019,» Lima-Perú, 2019.
- [42] D. Meza Hernández, L. Perez Trujillo, E. Lozano Bernal, R. Flores Alemán, C. T. GallardoRivera, J. Báez-González, K. G. García-Alanís y C. Amaya-Guerra, «Caracterización de espumas aplicadas en la panificación: Propiedades reológicas y estabilidad,» *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, vol. 3, pp. 29-34, 2018.
- [43] C. M. Dominguez, «Física y fisicoquímica de espumas líquidas. Espumas inteligentes,» Bahía Blanca-Argentina, 2021.
- [44] SFaudio Maquinas, «Maquina de espuma SFaudio F-1500,» 2023.
- [45] INGCO, «Water Pump EN - Series. 0920.V10,» de 0920.V10, s.f..

- [46] J. S. Villareal Reyes, J. J. Martínez Cosgalla y F. Donís Sánchez, «Cálculo y selección del equipo de bombeo en la extracción de agua dura de pozo para una planta purificadora de agua potable,» *Humanidades, Tecnología y Ciencia, del Instituto Politécnico Nacional*, 2021.