



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO, SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN
SISTEMA DE BOMBEO PARA AGUA PROCEDENTE DE UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA
COMUNIDAD DE SAN VICENTE DE LACAS”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: CHRISTIAN GEOVANNY MASSON ARIAS

JOHN FERNANDO PACHECO TORRES

DIRECTOR: Ing. Juan Pablo Chuquín Vasco

Riobamba – Ecuador

2020

©2020, Christian Geovanny Masson Arias; & John Fernando Pacheco Torres

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

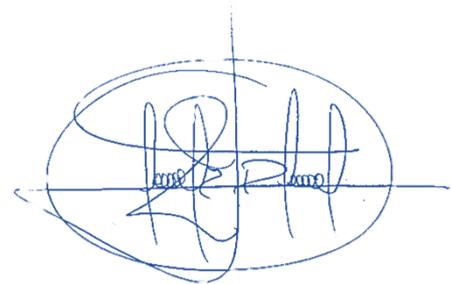
Nosotros, Christian Geovanny Masson Arias y John Fernando Pacheco Torres declaramos que el presente trabajo de titulación es de propia autoría y que los resultados obtenidos del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos del presente trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 30 de noviembre de 2020



Christian Geovanny Masson Arias
C.C 050260491-1



John Fernando Pacheco Torres
C.C 220012707-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, **“DISEÑO, SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO PARA AGUA PROCEDENTE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA COMUNIDAD DE SAN VICENTE DE LACAS”**, realizado por los señores: **Christian Geovanny Masson Arias** y **John Fernando Pacheco Torres**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Msc. Edwin Fernando Viteri Núñez		
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2020-11-30
Ing. Juan Pablo Chuquin Vasco		
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2020-11-30
Ing. Santiago Alejandro López Ortiz		
MIEMBRO DE TRIBUNAL	_____	2020-11-30

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres, quienes siempre estuvieron apoyándome en todo lo necesario a lo largo de toda la carrera de ingeniería, dedico este trabajo a mi novia Lizbeth quien me apoyó siempre y me alentó a luchar en cada situación que se presentaba, por ultimo quiero dedicar este trabajo a toda la gente quienes conforman la comunidad de San Vicente de Lacas, ya que este trabajo, representa progreso en las actividades como la agricultura, y fomenta la calidad de vida de sus habitantes.

Christian

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mi padre, a pesar de nuestra distancia física, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí. A mis abuelos, por su sabiduría impartida, al resto de mi familia con esperanza de ver una nueva generación de profesionales. A mi novia Lady y su familia por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesta a escucharme y ayudarme en cualquier momento.

John

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer por todo el apoyo brindado, principalmente a Dios, a mis padres y a toda mi familia en general, donde siempre de una manera u otra me supieron manifestar su apoyo en todo momento. Agradezco a mi novia Lizbeth por todo el apoyo incondicional, su conocimiento y ayuda brindada, a los profesores y autoridades de la facultad de mecánica de la ESPOCH, al director y miembro de este presente trabajo. También agradezco a mis amigos más cercanos por alentarme siempre, y de forma especial a John y Jhoe, dos de mis mejores amigos quienes siempre de una u otra forma, estuvimos juntos estudiando y alentándonos en la carrera.

Un agradecimiento especial al Ing. Lenin Orozco, como también a la directiva de la comunidad de San Vicente de Lacas quienes fueron las personas que confiaron desde un principio en nosotros para poder desarrollar este trabajo de titulación.

Christian

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto, un agradecimiento especial a mis amigos Christian y Jhoe, no hubiera sido posible este trabajo sin su ayuda. DIOS LOS BENDIGA.

John

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
SIMBOLOGIA.....	xvii
LISTA DE ABREVIATURAS	xx
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT.....	xxii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	4
1.1	Antecedentes	- 4 -
1.2	Planteamiento del Problema.....	- 5 -
1.3	Justificación	- 5 -
1.4	Objetivos	- 6 -
1.4.1	<i>Objetivo General</i>	- 6 -
1.4.2	<i>Objetivos Específicos</i>	- 6 -

CAPÍTULO II

2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	- 7 -
2.1	Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales	- 7 -
2.2	Ecuación de Continuidad	- 9 -
2.3	Teorema de Bernoulli	- 10 -

2.3.1	<i>Energía Cinética</i>	- 10 -
2.3.2	<i>Energía Potencial Gravitacional</i>	- 10 -
2.3.3	<i>Energía de Flujo</i>	- 11 -
2.4	Balance de Energía Mecánica	- 12 -
2.4.1	<i>Energía añadida</i>	- 13 -
2.4.2	<i>Energía extraída</i>	- 13 -
2.4.3	<i>Energía perdida</i>	- 14 -
2.4.4	<i>Pérdidas Primarias</i>	- 14 -
2.4.5	<i>Factor de Fricción</i>	- 15 -
2.4.6	<i>Numero de Reynolds</i>	- 17 -
2.4.7	<i>Pérdidas Secundarias</i>	- 18 -
2.5	Equipos de Bombeo Hidráulico	- 20 -
2.6	Tipos de Bombas Hidráulicas	- 21 -
2.6.1	<i>Bombas con Motor Eléctrico</i>	- 22 -
2.6.2	<i>Bombas Sumergibles</i>	- 23 -
2.6.3	<i>Bombas con Motor de Combustión Interna o Moto bombas</i>	- 23 -
2.7	Selección de Tuberías	- 24 -
2.7.1	<i>Parámetros de Velocidad</i>	- 25 -
2.7.2	<i>Catálogos de Tuberías</i>	- 26 -
2.8	Tipos de Accesorios para Control del Flujo de Agua	- 28 -
2.8.1	<i>Válvulas</i>	- 28 -
2.8.2	<i>Elementos de Unión</i>	- 30 -
2.8.2.1	<i>Codos</i>	- 31 -
2.8.2.2	<i>Uniones</i>	- 32 -
2.8.2.3	<i>Te</i>	- 33 -
2.8.3	<i>Filtros</i>	- 33 -
2.8.4	<i>Junta de Expansión</i>	- 36 -
2.8.5	<i>Manómetros</i>	- 37 -
2.9	Selección de Bomba Hidráulica	- 38 -

2.9.1	<i>Curva Resistiva del Sistema</i>	- 38 -
2.9.2	<i>Curva Característica de la Bomba</i>	- 39 -
2.9.3	<i>Punto de Funcionamiento del Sistema</i>	- 40 -
2.9.4	<i>Cabeza de Succión (NPSH)</i>	- 42 -
2.9.5	<i>Eficiencia</i>	- 44 -
2.10	Epanet	- 45 -
2.11	Transitorio Hidráulico	- 46 -
2.11.1	<i>Sobrepresión</i>	- 46 -
2.11.2	<i>Depresión</i>	- 47 -
2.11.3	<i>Cavitación</i>	- 48 -
2.11.4	<i>Elementos de Protección para el Fenómeno Transitorio</i>	- 49 -
2.11.4.4	<i>Tanque Hidroneumático</i>	- 51 -
2.12	Allievi	- 51 -
2.13	Elementos para Control de un Sistema de Bombeo	- 52 -
2.13.1	<i>Autómatas Programables</i>	- 52 -
2.13.2	<i>Sensores</i>	- 53 -
2.13.3	<i>Actuadores</i>	- 54 -
2.14	Elementos de Protección Eléctrica	- 55 -
2.15	Lenguaje de Programación (GRAFCET)	- 55 -
2.16	Codesys	- 57 -
2.17	San Vicente de Lacas	- 58 -
2.17.1	<i>Características Generales</i>	- 58 -
2.17.2	<i>Principales Actividades Socioeconómicas</i>	- 58 -

CAPITULO III

3	MARCO METODOLÓGICO	- 60 -
3.1	Descripción del abastecimiento presente en la comunidad	- 60 -
3.2	Datos requeridos por la comunidad San Vicente de Lacas (caudal y altura) -	61 -

3.3	Calidad y estado del agua filtrada procedente de la planta de tratamiento..	- 61 -
3.4	Alternativas a ser implementadas en un sistema de bombeo.....	- 61 -
3.5	Parámetros de diseño del sistema de bombeo	- 62 -
3.6	Selección de tuberías.....	- 63 -
3.6.1	<i>Velocidad de diseño</i>	- 63 -
3.6.2	<i>Material de tuberías</i>	- 63 -
3.6.3	<i>Diámetro de tubería</i>	- 64 -
3.6.4	<i>Espesor de tubería (Resistencia de la tubería)</i>	- 65 -
3.7	Determinación de accesorios	- 66 -
3.8	Selección de bomba.....	- 67 -
3.8.1	<i>Pérdidas primarias</i>	- 67 -
3.8.2	<i>Pérdidas secundarias</i>	- 68 -
3.8.3	<i>Altura de bombeo</i>	- 69 -
3.8.4	<i>Recálculo para determinación de espesor de tubería</i>	- 70 -
3.8.5	<i>Selección de bomba</i>	- 71 -
3.8.6	<i>Ecuación y curva resistiva del sistema</i>	- 72 -
3.8.7	<i>Ecuación y curva característica de la bomba</i>	- 74 -
3.8.8	<i>Cabeza de succión (NPSH)</i>	- 74 -
3.8.9	<i>Eficiencia de la bomba</i>	- 75 -
3.9	Comprobación con el Software Epanet.....	- 75 -
3.10	Control del sistema de bombeo.....	- 77 -
3.10.1	<i>Funcionamiento del diagrama de flujo</i>	- 79 -
3.11	Elementos propuestos para una instalación automatizada.....	- 79 -
3.12	Implementación del sistema de bombeo en San Vicente de Lacas	- 80 -
3.12.1	<i>Planificación y generación de planos</i>	- 80 -
3.12.2	<i>Excavación</i>	- 80 -
3.12.3	<i>Construcción de caseta para la bomba</i>	- 81 -
3.12.4	<i>Instalación de tuberías y accesorios</i>	- 82 -
3.12.5	<i>Instalación de la bomba</i>	- 83 -

3.12.6	<i>Parámetros finales de operación</i>	- 84 -
3.13	Comprobación de flujo transitorio con el Software Allievi	- 89 -
3.14	Manuales de Operación, Mantenimiento y Seguridad	- 90 -
3.14.1	<i>Manual de Operación</i>	- 91 -
3.14.2	<i>Manual de Mantenimiento</i>	- 91 -
3.14.3	<i>Manual de Seguridad</i>	- 91 -

CAPITULO IV

4	RESULTADOS	- 92 -
4.1	Análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del agua filtrada.....	- 92 -
4.2	Pruebas de Funcionamiento	- 92 -
4.3	Interpretación de la simulación en Epanet	- 93 -
4.4	Interpretación de la simulación en Allievi	- 93 -
4.5	Análisis de Costos	- 94 -
4.5.1	<i>Costos directos e indirectos</i>	- 94 -
4.5.1.1	<i>Costo de materiales</i>	- 94 -
4.5.1.2	<i>Mano de obra</i>	- 95 -
4.5.1.3	<i>Equipos y Maquinaria</i>	- 95 -
4.5.1.4	<i>Costo de transporte</i>	- 96 -
4.5.1.5	<i>Costos directos totales</i>	- 96 -
4.5.2	<i>Costos indirectos</i>	- 96 -
4.5.3	<i>Costos totales</i>	- 96 -
	CONCLUSIONES	- 98 -
	RECOMENDACIONES	- 99 -

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- 2: Propiedades fisicoquímicas del agua a determinarse en análisis	8
Tabla 2- 2: Unidades de caudal o flujo volumétrico	9
Tabla 3- 2: Rugosidad de distintos materiales	17
Tabla 4- 2: Rugosidad de distintos materiales	18
Tabla 5- 2: Datos experimentales para la obtención del coeficiente de resistencia	19
Tabla 6- 2: Usos de los diferentes tipos de tubería	24
Tabla 7- 2: Velocidades recomendadas en tramos de tubería.....	25
Tabla 8- 2: Velocidades recomendadas para distintos fluidos.....	25
Tabla 9- 2: Datos de presión de trabajo, diámetros y espesores de tuberías	27
Tabla 10- 2: Accesorios con sus respectivos coeficientes de resistencia	30
Tabla 11- 2: Partes internas de un filtro de sedimentos	34
Tabla 12- 2: Estructura y dimensiones de un filtro de sedimentos	34
Tabla 13- 2: Dimensiones de las partes internas de un filtro de limpieza.....	35
Tabla 14- 2: Coeficiente de flujo para las diferentes medidas de filtros	35
Tabla 15- 2: Presión de vapor y carga de presión de vapor de agua	44
Tabla 16- 2: Diagramas lógicos generales	56
Tabla 1- 3: Requerimientos de caudal y Altura para la comunidad San Vicente de Lacas	61
Tabla 2- 3: Análisis de ponderación de equipos de bombeo	62
Tabla 3- 3: Parámetros de diseño del sistema de bombeo.....	62
Tabla 4- 3: Accesorios utilizados para el sistema de bombeo	66
Tabla 5- 3: Factores de pérdida por fricción en tubería PVC	68
Tabla 6- 3: Accesorios instalados en la tubería de succión	69
Tabla 7- 3: Accesorios instalados en la tubería de descarga	69
Tabla 8- 3: Características del MCI	71
Tabla 9- 3: Valores de altura “ <i>HR</i> ” en función del caudal “ <i>Q</i> ”	73
Tabla 10- 3: Datos para curva característica de la bomba.....	85
Tabla 11- 3: Comparación de errores de puntos de operación	88
Tabla 1- 4: Costos de Materiales	95
Tabla 2- 4: Costos de mano de obra.....	95
Tabla 3- 4: Costos de equipos y maquinaria	95
Tabla 4- 4: Costos directos	96
Tabla 5- 4: Costos indirectos	96
Tabla 6- 4: Costo total del proyecto.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- 2: Tramos de tubería para el análisis de ecuación de continuidad.....	9
Figura 2- 2: Esquema de sistemas de bombeo.....	11
Figura 3- 2: Esquema de sistemas de bombeo con incorporación de equipos.....	13
Figura 4- 2: Partes internas de un equipo de bombeo.....	20
Figura 5- 2: Clasificación de bombas	21
Figura 6- 2: Tipos de impellers o rodets internos en las bombas centrifugas.....	22
Figura 7- 2: Partes internas de la bomba centrifuga.	22
Figura 8- 2: Eslogan de la empresa PLASTIGAMA S.A.	26
Figura 9- 2: Eslogan de la empresa RIVAL S.A.	26
Figura 10- 2: Eslogan de la empresa TIGRE S.A.....	26
Figura 11- 2: Accesorios de dirección en la marca Plastigama S.A.	31
Figura 12- 2: Estructura interna de un filtro de sedimentos	34
Figura 13- 2: Esquema de las partes internas de un filtro de limpieza	35
Figura 14- 2: Usos e instalación de una junta de expansión.....	36
Figura 15- 2: Deformación de una junta de expansión	37
Figura 16- 2: Manómetros en diferentes medidas	38
Figura 17- 2: Curva resistiva del sistema.....	39
Figura 18- 2: Curva característica de la bomba.....	40
Figura 19- 2: Curva característica de la bomba.....	41
Figura 20- 2: Curva Resistiva del Sistema por Cierre de Válvula.....	41
Figura 21- 2: Curva Resistiva del Sistema por Variación de Altura del Reservorio	42
Figura 22- 2: Interfaz del programa Epanet	46
Figura 23- 2: Tubería fisurada producida por sobrepresión	47
Figura 24- 2: Tubería fracturada producida por sobrepresión.....	47
Figura 25- 2: Representación de una tubería deformada por depresión.....	48
Figura 26- 2: Rodete de una bomba cavitada (Izquierda), formación de burbujas (Derecha)....	48
Figura 27- 2: Válvula de alivio para sobrepresiones	49
Figura 28- 2: Válvula de ventosa para depresiones	50
Figura 29- 2: Chimenea de equilibrio	50
Figura 30- 2: Tanque hidroneumático de 500L.....	51
Figura 31- 2: Interfaz del programa Allievi	52
Figura 32- 2: PLC SIMATIC S7-1200 CPU	53
Figura 33- 2: Transformación de una señal analógica a señal digital	54

Figura 34- 2: Interfaz de Codesys.....	58
Figura 1- 3: Tubería PVC para transporte de fluido a presión	64
Figura 2- 3: Excavación para el ruteo de tubería	81
Figura 3- 3: Caseta de la bomba	82
Figura 4- 3: Tuberías y accesorios en la caseta de la bomba.....	83
Figura 5- 3: Motobomba instalada en el sistema	84

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1- 2: Diagrama de Moody.....	16
Gráfico 2- 2: Estructura interna de diferentes tipos de válvulas.....	28
Gráfico 3- 2: Tipos de válvulas con su respectivo coeficiente de resistencia.....	29
Gráfico 4- 2: Codos con su respectivo coeficiente de resistencia.....	31
Gráfico 5- 2: Codos bridados con su respectivo coeficiente de resistencia.....	32
Gráfico 6- 2: Codo estándar con su respectivo coeficiente de resistencia.....	32
Gráfico 7- 2: Te estándar con su respectivo coeficiente de resistencia.....	33
Gráfico 8- 2: Definición de términos para parámetros de <i>NPSHa</i>	43
Gráfico 1- 3: Curva resistiva del sistema.....	73
Gráfico 2- 3: Esquema inicial en el Software Epanet.....	75
Gráfico 3- 3: Simulación de altura de bombeo en Software Epanet.....	76
Gráfico 4- 3: Diagrama de flujo P0.....	78
Gráfico 5- 3: Diagrama de flujo P1.....	78
Gráfico 6- 3: Diagrama de flujo P2.....	79
Gráfico 7- 3: Curva nueva resistiva del sistema.....	85
Gráfico 8- 3: Curva característica de la bomba.....	86
Gráfico 9- 3: Punto de operación de la instalación.....	87
Gráfico 10- 3: Simulación de altura de bombeo en Software Epanet corregido.....	88
Gráfico 11- 3: Representación del sistema de bombeo en el software Allievi.....	89
Gráfico 12- 3: Curva característica de la bomba ingresada.....	90
Gráfico 13- 3: Curvas de presión obtenidas mediante simulación.....	90

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: DIAGRAMA DE PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO EN LENGUAJE GRAFCET

ANEXO B: DIAGRAMA DE PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO EN LENGUAJE LADDER

ANEXO C: PLANO DETALLE SISTEMA DE BOMBEO

ANEXO D: OFICIO DE RESPONSABILIDAD POR PARTE DE LA COMUNIDAD DE SAN VICENTE DE LACAS

ANEXO E: MANUAL DE OPERACIÓN

ANEXO F: MANUAL DE MANTENIMIENTO

ANEXO G: MANUAL DE SEGURIDAD

ANEXO H: ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUA TRATADA

ANEXO I: DIAGRAMA P&ID DEL SISTEMA DE BOMBEO

SIMBOLOGIA

Q	Caudal o Flujo volumétrico
A	Área
ρ	Densidad
ν	Viscosidad cinemática
v	Velocidad
\dot{m}	Flujo masico
W	Flujo en peso
γ	Peso especifico
g	Gravedad
z	Altura o punto de referencia
d	Diámetro
P	Presion
h_B	Energia añadida
h_R	Energia extraida
h_L	Energia perdida
h_{P1}	Perdidas primarias
h_{P2}	Perdidas secundarias
F_p	Factor de perdida
f	Factor de friccion
D	Diametro interno de tuberia
ϵ	Rugosidad absoluta
Re	Numero de Reynolds
μ	Viscosidad Dinamica

k	Coeficiente de resistencia
L_e	Longitud equivalente
V	Voltaje
C_v	Coeficiente de flujo
H	Altura
h_{sp}	Presion estatica
h_s	Altura entre la superficie libre de líquido y el nivel de entrada de la bomba
h_f	Pérdidas totales en la succión
h_{vp}	Presion de vapor
P_{sp}	Presion absoluta sobre el reservorio
P_{vp}	Presion de vapor del liquido
η	Eficiencia
P_s	Potencia de Salida
P_e	Potencia de Entrada
P_{sp}	Presion absoluta sobre el reservorio
L_{PVC}	Longitud de tubería
P_C	Perdida de carga en mca
H_B	Altura de bombeo
HP	Potencia en caballos de fuerza
H_R	Altura para la curva resistiva del sistema
H_{Bs}	Altura de bombeo en la simulación
H_{BC}	Altura de bombeo calculado
Q_C	Caudal calculado
V_R	Valor real
V_C	Valor calculado

H_{Br} Altura de bombeo real

Q_r Caudal real

LISTA DE ABREVIATURAS

MCI	Motor de Combustión Interna
GADM	Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal
SENAGUA	Secretaria Nacional del Agua
PTAR	Planta de Tratamiento de Agua
EK	Energía Cinética
EP	Energía Potencial
EF	Energía de Flujo
NPSH	Carga de Succión Positiva Neta
Ec	Energía consumida
Ee	Energía entregada
Ed	Energía disipada

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se desarrolla el diseño, simulación e implementación de un sistema de bombeo para la comunidad San Vicente de Lacas. La misión es ayudar a la comunidad a mejorar su abastecimiento de agua de riego para el desarrollo agrícola, con el fin de mantener y aumentar la economía de la comunidad. Iniciando desde el estudio de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua obtenida de la planta de tratamiento que resulta apta para riego, también se analiza el caudal requerido, indicando un valor mayor a 5 L/s. La tubería que se presenta en el diseño se seleccionó manteniendo la presión de trabajo y se estimó que toda la tubería sea de material PVC, debido al bajo costo y fácil adquisición en el mercado local. Posterior a esto se realizó el análisis de pérdidas primarias, pérdidas secundarias y altura de bombeo, para garantizar el correcto funcionamiento y abastecimiento de agua. Con esto se llega a determinar el punto de operación con la curva característica de la bomba y la curva resistiva del sistema, dando como resultados un punto de operación de caudal de 6 L/s y una altura de 33,74 m. Luego de esto se lleva a cabo una simulación en el software EPANET para corroborar los cálculos, la cual, a comparación con los datos calculados, se presenta en un error permisible, luego mediante el software ALLIEVI, se permite observar un comportamiento del fluido dentro del sistema para analizar si existe la presencia de un flujo transitorio, dando como resultado que no se presenta este fenómeno en este sistema. Se recomienda la implementación de un sistema de control automatizado, para lo cual se formuló un diagrama de flujo con los componentes electrónicos necesarios y que son llevados a un lenguaje de programación “Ladder”.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <MECÁNICA>, <SISTEMA DE BOMBEO>, <MOTOBOMBA>, <POLICLORURO DE VINIL (PVC)>, <SAN VICENTE DE LACAS (PARROQUIA)>, <RIOBAMBA (CANTÓN)>, <ECUADOR (PAÍS)>



18/01/2021

0562-DBRAI-UPT-2021

ABSTRACT

In this research work, the design, simulation and implementation of a pumping system for the San Vicente de Lacas community is developed. The mission is to help the community to improve its irrigation water supply for agricultural development, in order to maintain and increase the community's economy. Starting from the study of the physicochemical and microbiological properties of the water obtained from the treatment plant that is suitable for irrigation, the required flow is also analyzed, indicating a value greater than 5 L/s. The pipe that is presented in the design was selected maintaining the working pressure and it was estimated that all the pipe is made of PVC material, due to the low cost and easy acquisition in the local market. After this, the analysis of primary losses, secondary losses and pumping height was carried out, to guarantee the correct operation and water supply. With this, the operating point is determined with the characteristic curve of the pump and the resistive curve of the system, resulting in a flow operating point of 6 L/s and a height of 33,74 m. After this, a simulation is carried out in the EPANET software to corroborate the calculations, which, compared to the calculated data, is presented in a permissible error, then through the ALLIEVI software, it is allowed to observe a behavior of the fluid within the system to analyze if there is the presence of a transitory flow, resulting in that this phenomenon does not occur in this system. The implementation of an automated control system is recommended, for which a flow chart was formulated with the necessary electronic components and which are taken to a "Ladder" programming language.

Key Words: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <MECHANICS>, <PUMPING SYSTEM>, <MOTOBOMBA>, <POLYVINYL (PVC)>, <SAN VICENTE DE LACAS (PARROQUIA)>, <RIOBAMBA (CANTÓN) >, <ECUADOR (COUNTRY)>

INTRODUCCIÓN

El transporte de un líquido a través de los años ha ido modificándose en todas las regiones del mundo, mejorando en cada una de ellas sus técnicas y equipos, se recuerda que en la antigua Roma se recolectaba el agua mediante una rueda y lo depositaba en canal de conducción, que llevaba este líquido aguas abajo; la invención de la bomba de ariete, cuyo principio de funcionamiento se basa en aprovechar la energía cinética de choque que se genera cuando el agua golpea la pared de esta bomba, haciendo que se levante una válvula que por el peso de esta misma, el agua al otro lado de la bomba de ariete resulta ser impulsada, no obstante esta bomba presenta un gran problema, el cual es que desperdicia fluido para realizar su tarea. Posteriormente y con la llegada de la revolución industrial, se creó lo que conocemos hoy en día como una bomba de líquidos, que actualmente son impulsadas por un motor eléctrico o de combustión interna (MCI). Y al igual que en la actualidad, en esa época era necesario el abastecimiento de agua para consumos diversos como el riego de cultivos especialmente en épocas de sequía.

En el Ecuador, una de las actividades económicas con mayor incidencia dentro de sus habitantes es la agricultura, labor que desde hace muchos años ha estado presentes en todas las regiones del país: Costa, Sierra, Amazonía e Insular. Por ello el agua en la agricultura es de vital importancia, y esta debe ser lo suficientemente abundante de acuerdo con el área y tipo de cultivos, este es el caso de una comunidad ubicada en la provincia de Chimborazo, en la ciudad de Riobamba llamada: San Vicente de Lacas. La población de esta comunidad sobrepasa un número de 500 habitantes, de las cuales su principal fuente de ingresos se debe a la venta de productos de primera necesidad provenientes de la agricultura, que se ejerce en esta misma comunidad, manteniendo así la economía, transporte y alimentación de todas las familias de esta localidad. La comunidad San Vicente de Lacas para realizar sus actividades de agricultura, posee una fuente de agua de regadío procedente del Gobierno Autónomo Descentralizado (GADM) del Cantón Riobamba, sin embargo, esta no proporciona el caudal suficiente (Q) para el desarrollo de sus actividades, actualmente el caudal con el que la comunidad cuenta es de aproximadamente $10 L/s$, y la comunidad requiere de al menos $5 L/s$ complementarios para satisfacer completamente las necesidades de agricultura, para esto se ha planteado una solución, la cual es reutilizar el agua residual proveniente de la comunidad, y someterla a un tratamiento de dos etapas con pasto alemán, para mejorar la calidad de estas aguas residuales. Este proyecto se lleva a la construcción de la primera planta de tratamiento de aguas residuales en la provincia de Chimborazo, proyecto a cargo de la cabecera parroquial de San Vicente de Lacas en conjunto con el GADM de Riobamba, la visión es solventar la carencia de agua de regadío en esta comunidad. Es aquí donde este trabajo de titulación surge, en complemento con objetivo de diseñar un sistema de bombeo,

que lleve el agua tratada que se desemboca en un reservorio, hasta un punto en las cercanías de la toma principal del suministro de agua de regadío que la comunidad ya cuenta, para el uniforme abastecimiento de agua a cada hectárea de la comunidad.

Para tener un punto de partida dentro de este problema, la cabecera parroquial de San Vicente de Lacas ha establecido que uno de los parámetros importantes sea asegurar el bombeo de 5 L/s. otro parámetro de vital importancia a considerar es la altura geográfica, la cual se la va a poder determinar mediante un altímetro digital u otro instrumento que permita medir cotas de diferencia de alturas geográficas. Con estos parámetros se podrá dar inicio con la solución del problema que comenzará con el dimensionamiento de las tuberías y determinación de accesorios, con esto posteriormente seleccionar un equipo de bombeo. Para poder corroborar que los cálculos realizados por los autores de este trabajo de titulación son los correctos, se hará uso de sistemas computarizados que verifiquen y validen los resultados obtenidos, esta herramienta es el software de EPANET. Además, para poder asegurar un correcto comportamiento del fluido dentro de las tuberías, cuando se arranca o se para la bomba, que esta no genere fenómenos como sobrepresiones y depresiones, se hará uso de un software llamado ALLIEVI, que permite realizar dichas simulaciones. Es importante mencionar que ambos softwares aquí descritos, son de licencia libre o gratuita. Finalmente se realizará una medición mediante instrumentos como flujómetro y manómetro, para poder determinar el punto de funcionamiento del sistema y poder compararlo con los puntos de funcionamiento obtenidos mediante cálculos y simulaciones.

Para una óptima operación del equipo de bombeo, se sugiere que se implemente un sistema de control y automatización, que se encargará de controlar los ciclos de encendido y apagado de la bomba, en donde que, si el reservorio se llena, la bomba se prende, y si el reservorio esta por vaciarse, la bomba se apague automáticamente. Para esto se hará uso principalmente de dos sensores de nivel y un autómeta programable como el PLC que se encargará de ejecutar las acciones. El lenguaje de programación que se emplearía al PLC sería el lenguaje Ladder, y que estaría realizado su diagrama acorde al esquema descrito, y empleando el uso del software de CODESYS, que es un software de licencia libre.

Dentro de este proyecto se trata de describir la energía perdida cuando un fluido se transporta por medio de diversos accesorios atravesados a una determinada velocidad y en una cierta cantidad, para determinar la cantidad aproximada de energía existe un autor llamado "Crane" que describe una energía perdida en cada accesorio como una determinada longitud que pierde el fluido al transitar que incluido mediante un factor de resistencia su valor puede determinarse (CRANE, pág. 2-10). Dado esto debe verificarse que el fluido se encuentre en determinados parámetros de velocidad cumpliendo como una recomendación de diseño en un sistema de bombeo, para lo cual sus valores deben mantenerse en un rango moderado tanto para que no se vea afectado por solidos

suspendidos, pero que tampoco exista un exceso de velocidad que permita inconvenientes en un futuro (MOTT, pág. 161), todo esto tiene que llevarse a un análisis donde se comprenda la presiones existentes en los diferentes puntos de un sistema de bombeo, ya que inicia con una sección de succión y termina en una descarga, velocidades existentes y alturas entre puntos dado que no en toda región estará al mismo nivel, todo esto puede comprenderse o analizarse mediante la ecuación de Bernoulli, dicha ecuación en su contenido describe todos los puntos mencionados para poder llevar a cabo un cálculo correcto (CENGEL mecánica de fluidos, pág. 185), llevándose todo a una proyección a futuro para la automatización de este sistema mediante autómatas programables y dispositivos electrónicos que disminuyendo el uso de operadores cada momento en el sistema.

CAPÍTULO I

1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

La comunidad San Vicente de Lacas con una población aproximada de 500 personas, ubicada en el kilómetro 3,5 vía Penipe-Baños, se desenvuelve en el área agrícola por lo que el agua de riego es fundamental para esta actividad; ellos disponen de un caudal existente de 10 L/s que es otorgado por la municipalidad del Cantón Riobamba, pero este ha sido limitado a ciertos horarios por lo no se puede desenvolver en su totalidad dicha actividad agrícola.

Una planta de tratamiento de agua es utilizada para filtrar sólidos, bacterias y demás residuos con el fin de poder reutilizar el agua que ha sido consumida por una población o comunidad como es en este caso, la comunidad San Vicente de Lacas, se ha planteado reutilizar el agua residual de cada hogar de esta comunidad para usos de riego en la agricultura que se desarrolla en dicha comunidad.

El sistema de bombeo tiene como objeto elevar la presión del fluido para vencer la resistencia que opone el circuito a su circulación. Las presiones de trabajo deben ser tales que se garantice en todo momento que el fluido permanece en estado líquido y que no hay vaporización o cambio de fase para evitar la cavitación. Un equipo de bombeo consiste de dos elementos, una bomba y su accionador el cual puede ser un motor eléctrico, motor de combustión interna, etc. El accionador entrega energía mecánica y la bomba la convierte en energía cinética que un fluido adquiere en forma de presión, de posición y de velocidad.

Para poder instalar un sistema de bombeo se requiere implementar tuberías, accesorios, equipo de bombeo y una estación de control automático, para lo cual se requiere diseñar el sistema cumpliendo con la normativa que dicta la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA), y de acuerdo con esto se analiza los requisitos solicitados por el comité representativo de la comunidad, para partir de esto y determinar los diámetros adecuados de tubería como a su vez el número y tipo de accesorios y conjuntamente se puede seleccionar la bomba determinando la altura y el caudal requeridos.

SENAGUA tiene la finalidad de conducir y regir los procesos de gestión de los recursos hídricos nacionales de una manera integrada y sustentable en los ámbitos de cuencas hidrográficas. Fue

creada mediante Decreto Ejecutivo 1088 del 15 de mayo del 2008, el mismo que entró en vigencia el 27 de mayo, con su publicación en el Registro Oficial N° 346.

Esta Secretaría Nacional, creada a nivel ministerial, reemplaza al ex Consejo Nacional de Recursos Hídricos, pero a partir de los principios modernos de la gestión que requieren establecer sistemas que separen las competencias que se refieren a la rectoría y formulación de políticas, de aquellas de investigación y participación social.

1.2 Planteamiento del Problema

Para una respuesta a esta falta de líquido vital en el sector agrícola, existe construida una planta de tratamiento de aguas residuales, donde toda el agua ya utilizada por la comunidad ha sido desviada a dicha planta, en la cual se procesa para posteriormente dirigirse a un reservorio de 180 m³ para poder ser transportado mediante el sistema propuesto hacia el punto de recolección de agua de riego ubicado a 28 metros de altura desde el reservorio.

Se plantea diseñar, simular e implementar un sistema de bombeo para agua tratada el mismo que también pretende presentar una propuesta de un control automatizado con el fin de ser implementado más adelante, para un funcionamiento más óptimo, este sería la parte final del proyecto de tratamientos de aguas residuales que se ha planteado la comunidad, con esto la gente de la comunidad podrá abastecerse de agua de riego pudiendo ser complementaria al caudal ya existente, con la finalidad de proveer, desarrollar el área agrícola y aprovechar el líquido vital optimizando el ciclo de uso y con mayor rendimiento en el sector.

1.3 Justificación

El presente proyecto tiene como objetivo reforzar los conocimientos aprendidos en las cátedras de la carrera, concretamente en el área de la mecánica de los fluidos como de automatización aplicando temas como el dimensionamiento de tuberías, selección de bombas, y programación de autómatas como el PLC mediante lenguajes de programación.

Para poder realizar el proyecto es necesario seguir un procedimiento, empezando por la recolección de datos y análisis de las necesidades de la comunidad de San Vicente de Lacas, por lo cual se debe recurrir a la localización, y comunicarse con los directivos, posterior a esto se debe realizar el dimensionamiento de las tuberías mediante velocidades recomendadas, determinación de accesorios, selección de la bomba, verificación mediante simulación en software especializado y generación de planos. Con los planos que se otorguen a la comunidad, se procederá a realizar el pedido de los insumos mediante proformas para su posterior implementación. Una vez realizado esto se debe determinar los requerimientos para el apartado de la automatización, y

finalmente realizar una programación en un autómata PLC con un lenguaje de programación adecuado.

Cabe recalcar que se realizan mediciones como presión y caudal en la planta mediante sus respectivos instrumentos, para corroborar que el funcionamiento del sistema es el adecuado.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar, simular e implementar un sistema de bombeo para una planta de tratamiento de aguas residuales en la comunidad de San Vicente de lacas, mediante la determinación de tamaño de tuberías y selección de una bomba centrífuga, para el abastecimiento de agua de riego.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar los datos requeridos por parte de la comunidad de San Vicente de Lacas como caudal, disposición del terreno, el estado del fluido y demás requerimientos, para realizar el diseño respectivo del sistema de bombeo.
- Analizar la normativa del SENAGUA con el fin de ajustarse a los parámetros dictados por la misma en el diseño de un sistema de bombeo.
- Analizar la calidad del agua en aspectos físicos, químicos como microbiológicos, después de su filtrado, para determinar las condiciones del fluido con los que se va a operar.
- Analizar el flujo transitorio que se produce en el sistema de bombeo mediante una simulación el software ALLIEVI.
- Diseñar la trayectoria para la tubería mediante topografía otorgada por parte de los directivos de la comunidad para determinar los puntos de interés que sean necesarios para el sistema de bombeo.
- Comprobar el estudio del sistema de bombeo realizando una simulación mediante el software EPANET, con el fin de garantizar su funcionamiento.
- Implementar el sistema de bombeo con el diseño desarrollado previamente y realizando las pruebas de funcionamiento respectivas.
- Determinar un sistema de control para el encendido del sistema de bombeo.

CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En un trabajo de ingeniería, como lo son las instalaciones de bombeo y conducción de agua, siempre están fundamentadas y basadas bajo criterios que se han desarrollado gracias a la ciencia y aplicaciones en la ingeniería. En este capítulo se explica todos y cada uno de los fundamentos teóricos que se requiere para el desarrollo del presente trabajo de titulación. Una de las teorías más importantes para el desarrollo de este tema es la teoría de Bernoulli, la cual explica como es el comportamiento de un fluido en base a los tipos de energías que esta experimenta despreciando las pérdidas de energía. Además, se presentan más fundamentos complementarios a esta teoría, la cual la convierte en una teoría más pegada a la realidad, incluyendo las pérdidas que se generan por el arrastre con las tuberías y accesorios.

2.1 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

La población urbana o rural genera diariamente desechos físicos, químicos, entre otros que toman su tiempo en descomponerse, día a día la ubicación y espacio están acabando con la naturaleza, como es el caso de una fuente primaria de vida para los seres vivos; la contaminación del agua en ríos, lagos y océanos se ve afectada de una forma creciente. Una solución para los desechos orgánicos que son evacuados hacia los ríos es la creación de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Construcciones elaboradas por diferentes etapas de tratamiento como son:

1. Etapa preliminar
2. Etapa de tratamiento primario
3. Etapa de tratamiento secundario
4. Etapa de tratamiento terciario

El resultado dentro de estas PTAR son aguas con un determinado nivel de análisis fisicoquímicos y biológicos donde su fin es la reutilización del agua tratada. Para que el agua pueda volverse reutilizable debe cumplir o estar dentro de determinados parámetros como indica en la Tabla 1-2.

Tabla 1- 2: Propiedades fisicoquímicas del agua a determinarse en análisis

Características	Procedencia
Propiedades Físicas:	
Color	Aguas residuales domesticas e industriales, degradación natural de materia orgánica
Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales
Solidos	Agua de suministro, aguas residuales domesticas e industriales, erosión del suelo infiltración y conexiones incontroladas
Temperatura	Aguas residuales domesticas e industriales
Constituyentes químicos:	
Orgánicos:	
Carbohidratos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Grasas, aceites y grasa	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Pesticidas	Residuos agrícolas
Fenoles	Vertidos industriales
Proteínas	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Agentes tensoactivos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Compuestos orgánicos volátiles	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Otros orgánicos:	Degradación natural de materia orgánica
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea
Cloruros	Aguas residuales domésticas, agua de infiltración de agua subterránea
Metales pesados	Vertidos industriales
Nitrógeno	Residuos agrícolas y aguas residuales domesticas
pH	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Fosforo	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de escorrentía
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Azufre	Aguas de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales
Gases:	
Sulfuro de hidrogeno	Descomposición de residuos domésticos
Metano	Descomposición de residuos domésticos
La ecuación la ecuación Oxígeno	Agua de suministro; infiltración de agua superficial
Constituyentes biológicos:	
Animales	Cursos de agua y plantas de tratamiento
Plantas	Cursos de agua y plantas de tratamiento
Protistas:	
Eubacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento
Arqueobacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento
Virus	Aguas residuales domesticas

Fuente: (Da Cámara et al., 2014)

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2019

2.2 Ecuación de Continuidad

Al momento que la masa de un fluido se encuentra circulando a través de un medio cerrado o semi abierto por un determinado tiempo, ya sea su circulación por distintas secciones o a diferentes velocidades, se describe mediante la siguiente ecuación:

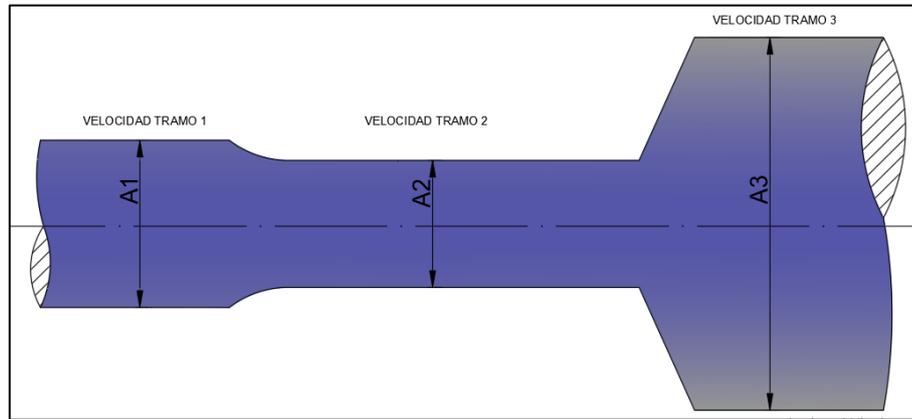


Figura 1- 2: Tramos de tubería para el análisis de ecuación de continuidad

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2019

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 = \rho_3 A_3 v_3 = \dots \quad (1)$$

$$\dot{m} = \rho_n A_n v_n \quad (2)$$

La ecuación (1) representa la continuidad de un fluido al poder ser transportado de un punto a otro, dando sus unidades en $[kg/s]$, conocido también como flujo másico representado por \dot{m} como indica la ecuación (2), donde ρ_n se describe como la densidad en un punto n en $[kg/m^3]$, A_n es el área de la sección en un determinado punto n en $[m^2]$ y v_n es la velocidad de la sección en $[m/s]$ (Evelt, 1994). Sin embargo, para consideración de los fluidos no compresibles, se toma en cuenta que su densidad no varía, quedando la ecuación (1) de la siguiente forma:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = A_3 v_3 = \dots \quad (3)$$

Donde la ecuación (3) queda representada en unidades como $[m^3/s]$, o llamándose también como Caudal o Flujo Volumétrico representada por la letra Q (Evelt, 1994).

Tabla 2- 2: Unidades de caudal o flujo volumétrico

Símbolo	Nombre	Definición	Unidades del Sistema Internacional	Unidades del Sistema en E.U.
Q	Flujo volumétrico	$Q = A v$	m^3/s	Pie^3/s
W	Flujo en peso	$W = \gamma Q$ $W = \gamma A v$	N/s	Lb/s
\dot{m}	Flujo másico	$\dot{m} = \rho A v$ $\dot{m} = \rho Q$	Kg/s	Slugs/s

Fuente: (Mott, 2006)

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2019

2.3 Teorema de Bernoulli

De acuerdo a muchos escritos el teorema de Bernoulli lleva el nombre por Johan Bernoulli quien en el año 1743 supo explicar el método de energía para un sistema hidráulico utilizando el análisis de una línea de corriente en un chorro de agua saliente de un orificio (González et al., 2007). Bernoulli expreso que la energía de un fluido ya sea entrega o consumida de un punto a debe ser igual a la energía entrega o consumida en un punto b, mediante un balance de energía, su teorema se expresa de la siguiente forma:

$$\text{Energía en punto a} + \text{Energía añadida} - \text{Energía perdida} - \text{Energía extraída} = \text{Energía en otro punto} \quad (4)$$

Cada término de la ecuación (4) se encuentra expresado en función de mecanismos y máquinas, términos de energías que aportan y energías consumidas por dispositivos que llegan a encontrarse dentro de un sistema hidráulico. A continuación, se expresa cada uno de estos términos de energía.

2.3.1 Energía Cinética

Como es conocido para que exista el movimiento de un fluido este debe contener un tipo de energía que lo impulse a través del medio que lo rodea, este tipo de energía es llamada Carga de Velocidad, denotado por las siglas E.K. y viene determinado de la siguiente manera: (Evet, 1994)

$$EK = \frac{mv^2}{2} \quad (5)$$

Donde m es la masa del fluido en $[Kg]$ y v es la velocidad que se encuentra el fluido en dicho punto con unidades $[m/s]$.

2.3.2 Energía Potencial Gravitacional

Conocido también como carga de elevación o energía potencial es la energía que acumula un fluido al encontrarse en diferentes alturas un punto de análisis con respecto a otro conjuntamente con el peso del fluido debido a que ejerce una fuerza en el sistema, denotado por las siglas E.P., se encuentra determinado por la siguiente ecuación:

$$EP = m g z \quad (6)$$

Donde m es la masa del fluido en $[Kg]$, g es la gravedad terrestre que es muy dependiente del lugar geométrico o del punto de ubicación a ser estudiado el sistema y sus unidades son $[m/s^2]$, y z que es la altura a la que se encuentra el punto en análisis con unidades en $[m]$. Cuando se esté analizando este tipo de energía es muy necesario tener en cuenta el punto o nivel de referencia con el eje de coordenadas ya en el balance de energía puede ser afectado, para un correcto análisis es recomendable tomar en cuenta un eje de coordenadas como se indica en el Figura 2-2.

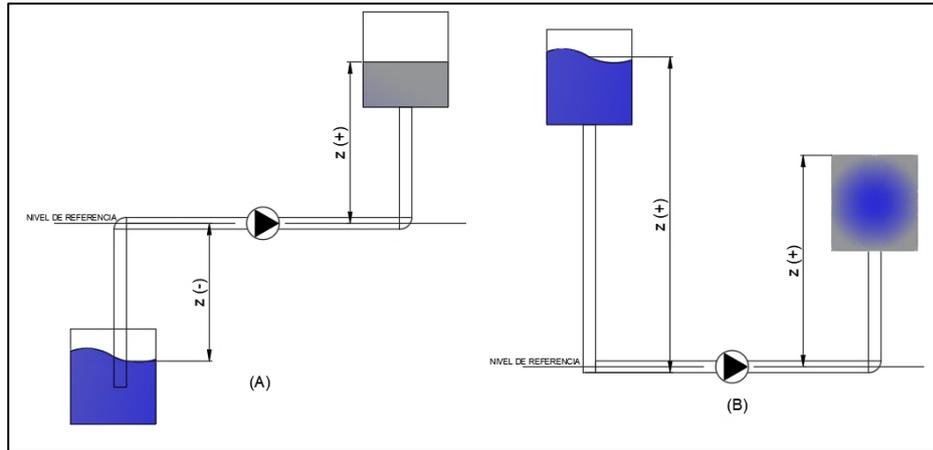


Figura 2- 2: Esquema de sistemas de bombeo

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2019

2.3.3 Energía de Flujo

Este tipo de energía es debida a la presión que debe generar el sistema para poder dar movimiento al fluido, por esto es también llamada energía de presión, denotada por las siglas FE, su ecuación es la siguiente: (Evet, 1994)

$$EF = P A d \quad (7)$$

Donde P es la presión del sistema en unidades $[Kpa]$, A es el área de la sección por donde el fluido está en movimiento, sus unidades son $[m^2]$ y d es la longitud de la sección por donde se ha provocado el recorrido del fluido, cuyas unidades son $[m]$ (Mott, 2006). Dado que el área por la distancia da como resultado un volumen, este puede expresarse mediante la ecuación (8):

$$V = A \cdot d \quad (8)$$

$$V = \frac{W}{\gamma} \quad (9)$$

Reemplazando la ecuación (8) y (9), en la ecuación (9), la ecuación de energía de presión quedaría expresado de la siguiente forma:

$$EF = P \frac{W}{\gamma} \quad (10)$$

Donde P es la presión en $[Kpa]$, w es el peso del fluido en $[N]$ y γ es el peso específico del fluido conocido también como la densidad que multiplica a la gravedad, cuyas unidades son $[N/m^3]$.

Incorporando los tres tipos de energías: cinética, potencial y de flujo en el teorema de Bernoulli, la ecuación (4) quedaría de la siguiente forma:

$$P_a \frac{w_a}{\gamma} + \frac{m_a v_a^2}{2} + m_a g z_a + \text{Energía añadida} - \text{Energía perdida} - \text{Energía extraída} = P_b \frac{w_b}{\gamma} + \frac{m_b v_b^2}{2} + m_b g z_b \quad (11)$$

Los términos de energía añadida, energía perdida y energía extraída son incorporados por maquinas, mecanismos y accesorios que se pueden encontrar en un sistema de bombeo o hidráulico; para esto se debe realizar un balance de energía mecánica para obtener estos parámetros y ecuaciones. Dado el caso que un sistema de bombeo no cuente con máquinas y mecanismos de consumo o que aporten energía, el teorema de Bernoulli se resume en:(Çengel, 2006)

$$P_a \frac{w_a}{\gamma} + \frac{m_a v_a^2}{2} + m_a g z_a = P_b \frac{w_b}{\gamma} + \frac{m_b v_b^2}{2} + m_b g z_b \quad (12)$$

Dado que las masas del fluido son las mismas, m_a y m_b se cancelan y la ecuación (12) se expresa de la siguiente forma:

$$\frac{P_a}{\rho g} + \frac{v_a^2}{2g} + z_a = \frac{P_b}{\rho g} + \frac{v_b^2}{2g} + z_b \quad (13)$$

La ecuación (13) es aquella que se conoce como “La Ecuación de Bernoulli”, su aplicación dentro de sistemas de bombeo o sistemas hidráulicas otorga resultados muy aproximados, dado el caso que para la exactitud de un resultado debe tomarse en cuenta las energías mencionadas en la ecuación (4). Para la aplicación correcta de la ecuación de Bernoulli es necesario tener en cuenta:

- Solo es aplicable para fluidos incompresibles y que no contengan máquinas, mecanismos o accesorios hidráulicos dentro de su análisis.
- No debe existir un intercambio de calor o energía en el sistema de bombeo.

2.4 Balance de Energía Mecánica

Como se mencionaba anteriormente para obtener un cálculo correcto de un sistema de bombeo o hidráulico es necesario considerar cierto tipo de energías que en la ecuación de Bernoulli no se mencionó por despreciar determinados equipos y accesorios dentro del sistema. Para esto se tomará en cuenta un sistema en el cual máquinas, equipos y accesorios se han de tomar en cuenta como se ilustra en la Figura 3-2.

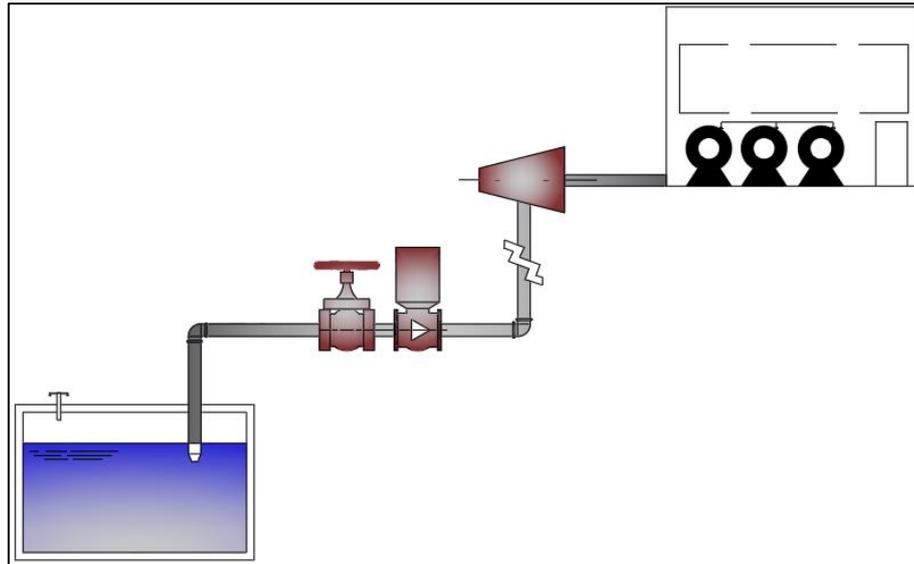


Figura 3- 2: Esquema de sistemas de bombeo con incorporación de equipos
Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2019

En este sistema se observa el esquema acerca de la alimentación de una casa de máquinas en el cual el fluido que llega a ser en este caso el material de trabajo; se encuentra almacenado en un depósito y es alimentado constantemente, luego, llega a ser succionado mediante un equipo hidráulico como puede ser una bomba para ser descargado a una turbina la cual, mediante un sistema eléctrico alimenta una casa de máquinas para que la energía generada puede ser utiliza, así transformado la energía mecánica en una energía eléctrica. Se observa aquí ya un sistema con accesorios, equipos que para obtener resultados correctos se puede utilizar un análisis partiendo de la ecuación (14), donde las energías de consumo y aporte se encuentran:

$$\frac{P_a}{\rho g} + \frac{v_a^2}{2g} + z_a + \text{Energía añadida} - \text{Energía perdida} - \text{Energía extraída} = \frac{P_b}{\rho g} + \frac{v_b^2}{2g} + z_b \quad (14)$$

2.4.1 Energía añadida

El termino energía añadida se comprende a la cantidad de energía que un equipo añade a un determinado sistema, ya sea en presión, velocidad o caudal. Es denominado con las siglas “ h_B ” y es otorgada por diferentes equipos como puede ser el caso de una bomba, motor eléctrico, entre otros, sus unidades son comprendidas en [m].

2.4.2 Energía extraída

Es la energía consumida por un equipo dentro del sistema hidráulico como puede ser una turbina o un intercambiador de calor, el consumo de energía llega a surgir debido a que el fluido debe ser capaz de otorgar movimiento al equipo para que este pueda funcionar. Es denominado con las siglas “ h_R ” y sus unidades al igual se comprenden en [m].

2.4.3 Energía perdida

Este tipo de energía se la conoce como el nombre de pérdidas de energía, y es aquella que se consume internamente dentro del sistema, como es conocida la segunda ley de la termodinámica “no existe equipo o un sistema completamente reversible, siempre en todo equipo existirá un consumo de energía dentro de sus accesorios”(Çengel et al., 2006). Dentro del análisis del sistema de bombeo existen pérdidas que deben considerarse para asegurar un correcto funcionamiento. Este tipo de energía se la denomina mediante las siglas “ h_L ” y se subdivide en dos clases de pérdidas:

- Pérdidas primarias
- Pérdidas secundarias

2.4.4 Pérdidas Primarias

Dentro de una tubería de perfil circular, al momento que un fluido circula internamente existe fricción dentro de este, debido a diversos factores que llegan a comprenderse desde la manufactura por la cual ha pasado la tubería hasta el ambiente que le rodea o es almacenado. Al momento que el fluido llega a tener contacto con las paredes de la tubería este pierde una cantidad de energía y dependiendo de la longitud y la velocidad que transita puede llegar a ocasionar muchos inconvenientes dentro del sistema, es por esto que las pérdidas primarias denotadas por las siglas “ h_p ” comprenden una determinada fórmula para poder evitar problemas y asegurar un correcto funcionamiento. Esta ecuación es:

$$h_{P1} = \frac{f L v^2}{2 D g} \quad (15)$$

Donde “ f ” se conoce como el factor de fricción y sus unidades son adimensionales; “ L ” es la longitud total dependiendo que tramo se está analizando (succión o descarga) cuya unidad está en [m]; “ v ” es la velocidad calculada en el tramo analizado y sus unidades son [m/s], “ D ” es el diámetro interno del tramo de la tubería donde su unidad es en [m] y “ g ” es la gravedad que dependiendo del punto geométrico su valor llega a determinarse, sus unidades se encuentran en [m/s²]. Esta ecuación llega a ser útil cuando el valor de velocidad “ v ” es un dato conocido; pero, sin embargo, existe otra ecuación para determinar estas pérdidas primarias teniendo en conocimiento el caudal “ Q ”, esta ecuación es:

$$h_{P1} = \frac{8 f L Q^2}{\pi^2 D^5 g} \quad (16)$$

A diferencia de la ecuación (15), la ecuación (16) ingresa el caudal “ Q ” que se espera transitar por el tramo de tubería, este caudal se encuentra en las unidades de [m³/s].

2.4.5 Factor de Fricción

En los años 1944 aproximadamente Lewis F. Moody, propuso un diagrama modificado que otorgaría un valor de “ f ” conocido como factor de fricción, donde se debería determinar algunos parámetros de los cuales depende mucho de la rugosidad del material, este parámetro denotado por la sigla “ ϵ ” varía mucho dependiendo del material con el cual ha sido fabricado la tubería, los valores de rugosidad determinados experimentalmente se encuentran denotados en la tabla 3-2, también este valor adimensional se encuentra muy relacionado con la variación del flujo que tenga el fluido dentro de la tubería. Esta variación de velocidades provoca que las partículas del fluido se encuentren en diferentes estados denominados flujos, por esto, Moody en su diagrama modificado realizó un análisis y se percató que el factor de fricción también se ve afectado por el flujo del fluido. Esta variación es conocida como el Numero de Reynolds.

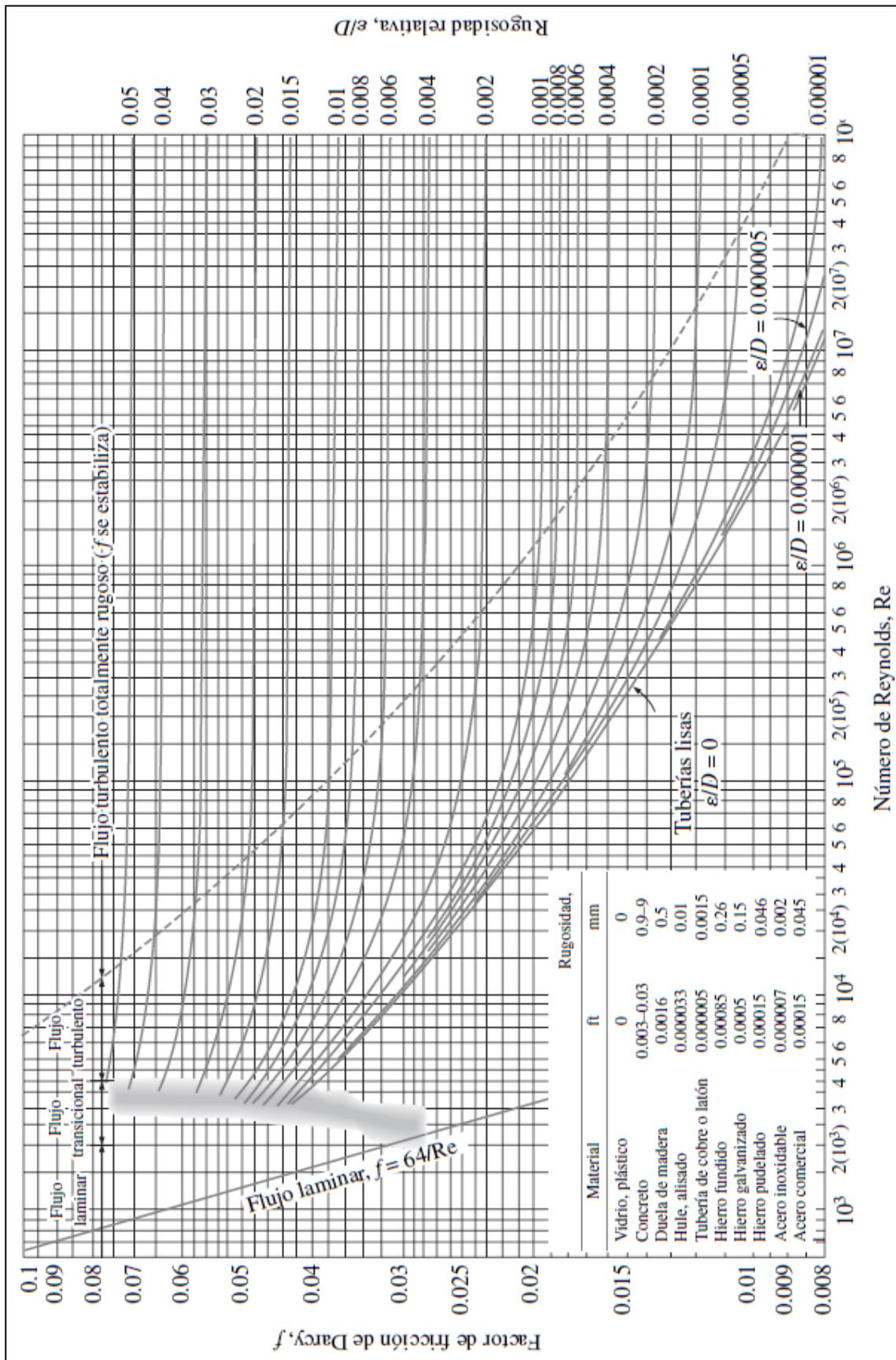


Gráfico 1- 2: Diagrama de Moody

Fuente: (Çengel, 2006)

Tabla 3- 2: Rugosidad de distintos materiales

Material	Rugosidad ϵ (m)
Vidrio	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}
Tubo extruido; cobre, latón y acero	1.5×10^{-7}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-7}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-7}
Hierro dúctil, recubierto	1.2×10^{-7}
Hierro dúctil, no recubierto	2.4×10^{-7}
Concreto, bien fabricado	1.2×10^{-7}
Acero remachado	1.8×10^{-7}

Fuente:(Mott, 2006)

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2019

2.4.6 Numero de Reynolds

Osborne Reynolds por los años 1880 se percató que las diferentes velocidades de un fluido causaban movimientos alternos dentro de sus partículas, por lo cual realizo un estudio experimental y determino que el flujo de un fluido puede ser determinado y clasificado según un valor obtenido por la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{v D \rho}{\mu} \quad (17)$$

Donde “ D ” es el diámetro interno de la tubería por donde circula el fluido cuyas unidades son [m]; también “ v ” es la velocidad predeterminada del fluido en unidades [m/s]; también “ ρ ” es la densidad del fluido a una determinada temperatura y sus unidades son [kg/m^3] y “ μ ” se conoce como la viscosidad dinámica del fluido se encuentra en [$Kg/m s$]. Existe otra fórmula para determinar el número de Reynolds, se la puede determinar a partir de la fórmula de la densidad como es:

$$\rho = \frac{\mu}{\nu} \quad (18)$$

Donde “ ρ ” y “ μ ” son datos conocidos como la densidad y la viscosidad dinámica, pero “ ν ” lleva el nombre de viscosidad cinemática, según la clasificación americana y europea se utilizan distintas nomenclaturas de viscosidad y está se encuentra en [m^2/s]. Despejando la ecuación (18) y reemplazando en la ecuación (17) se obtiene:

$$Re = \frac{v D}{\nu} \quad (19)$$

La ecuación (17) se puede usar para determinar el número de Reynolds teniendo como dato la densidad del fluido y la viscosidad dinámica, a diferencia de la ecuación (19), se puede determinar dicho parámetro teniendo como dato simplemente la viscosidad cinemática. En conclusión, depende mucho la situación del sistema de bombeo que se desee analizar. Reynolds dentro de su investigación clasifico el flujo de un fluido dependiendo del valor obtenido, la clasificación es de la siguiente manera:

Tabla 4- 2: Rugosidad de distintos materiales

Reynolds	Flujo
Re < 2000	Laminar
2000 < Re < 4000	Transición
Re > 4000	Turbulento

Fuente: (Çengel, 2006)

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2019

Cerca del año 1976, se realizó un análisis para poder determinar una ecuación que pudiera mejorar o tener un resultado más exacto con respecto al factor de fricción, muchos matemáticos e investigadores lograron obtener un resultado con el motivo que aquellas ecuaciones cumplan ciertas condiciones, sin embargo, Prabhata K. Swamee y Akalank K. Jain encontraron una fórmula que trabaje en un intervalo mayor del número de Reynolds y sin condiciones, esta fórmula es:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (20)$$

Esta ecuación (20) otorga un resultado de factor de fricción muy cercano al obtenido en el Diagrama de Moody, utilizando los factores como rugosidad relativa “ ϵ ”, diámetro interno “D” y el número de Reynolds “Re”.

2.4.7 Pérdidas Secundarias

Las pérdidas secundarias llamadas así para diferenciar que su contenido no tiene que ver con el estado de la tubería, si no, trata de contener la cantidad de equipos y accesorios en la instalación o el sistema hidráulico. Como es conocido en toda trayectoria de una instalación el flujo deberá cambiar de dirección, para lo cual deberá utilizarse accesorios como, codos, te, uniones, entre otros; también deberá en determinados puntos utilizar accesorios de cierre y apertura como válvulas, pues, todo este tipo de accesorios generan una determinada caída de presión o energía dentro del fluido, por lo cual es muy importante que se deba tener en cuenta una cantidad estimada de energía que se pierde debido a la cantidad de accesorios que se implementan en un sistema hidráulico. Las consecuencias que llegan a suceder si no se toman en cuenta este hecho de los accesorios es que simplemente el fluido no llegara al punto de análisis, causando molestias e

incluso molestias económicas; para evitar todo esto la ecuación de perdidas secundarias se denota de la siguiente manera:

$$h_{P2} = \frac{8 k Q^2}{\pi^2 D^4 g} \quad (21)$$

Donde los parámetros conocidos “Q” conocido como caudal, “D” es el diámetro interno de la tubería y “g” conocido como la gravedad, a esta ecuación (21) se le suma un término nuevo conocido como coeficiente de resistencia, denotado por las siglas “k” cuyas unidades son adimensionales, es la cantidad de energía perdida dentro de un accesorio u equipo, esta unidad se calcula mediante la siguiente formula:

$$k = f \frac{L_e}{D} \quad (22)$$

La ecuación (22) sirve para calcular los coeficientes de resistencia de cada accesorio en el sistema hidráulico, en total se realiza una sumatoria de todos los valores de “k” y se aplica en la ecuación (22), las siglas “ L_e/D ” se conoce como la longitud equivalente de un accesorio, en otras palabras, es la longitud de un accesorio con respecto a un diámetro dado, cada accesorio viene descrito según el fabricante su coeficiente de resistencia, así como se observa en la tabla 5-2, esto es ya sea en la succión o descarga del sistema, “f” es el factor de fricción determinado en la succión o descarga. Es muy importante denotar que tanto para perdidas primarias o perdidas secundarias, ambos valores deben ser calculados para la sección de succión o descarga.

Tabla 5- 2: Datos experimentales para la obtención del coeficiente de resistencia

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería (L_e/D)
Válvula de globo – abierta por completo	340
Válvula de ángulo – abierta por completo	150
Válvula de globo – abierta por completo	8
-3/4 abierta	35
-1/2 abierta	160
-1/4 abierta	900
Válvula de verificación- tipo giratorio	100
Válvula de verificación – tipo bola	150
Válvula de mariposa – abierta por completo, 2 a 8 in	45
-10 a 14 in	35
-16 a 24 in	25
Válvula de pie – tipo disco de vástago	420
Válvula de pie – tipo disco de bisagra	75
Codo estándar a 90°	30
Codo a 90° de radio largo	20
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar a 45°	16
Codo roscado a 45°	26
Vuelta cerrada en retorno	50
Te estándar – con flujo directo	20
Te estándar – con flujo en el ramal	60

Fuente: (Mott, 2006)

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2019

Muchos de estos valores del coeficiente de resistencia llegan a cambiar y el motivo es que depende mucho del tipo de fabricante y el proceso de manufactura que conlleve hacer este tipo de accesorios, en fin, es muy recomendable que cada fabricante otorgue una lista de accesorios y la cantidad de energía que se pierda en el sistema.

2.5 Equipos de Bombeo Hidráulico

En muchas áreas productivas, empresariales, agrícolas e incluso domesticas existe la necesidad del abastecimiento de un fluido ya sea como recurso vital o necesario como materia prima, la ayuda de equipos de bombeo hidráulico ha permitido el correcto abastecimiento de este fluido, otorgando al cliente una completa satisfacción y a su vez un sistema correctamente construido sin presentar inconveniente alguno. Un sistema de bombeo se compone principalmente de un equipo conocido como bomba, que permite al fluido intercambiar su energía de flujo en energía de presión. En la mayoría de los casos con respecto a un sistema de riego los equipos más comunes son las bombas centrífugas, clasificándose dentro de las bombas cinéticas, dado que su aporte de energía lo realiza mediante un mecanismo dentro de la bomba llamado impulsor o rodete (Mott, 2006).

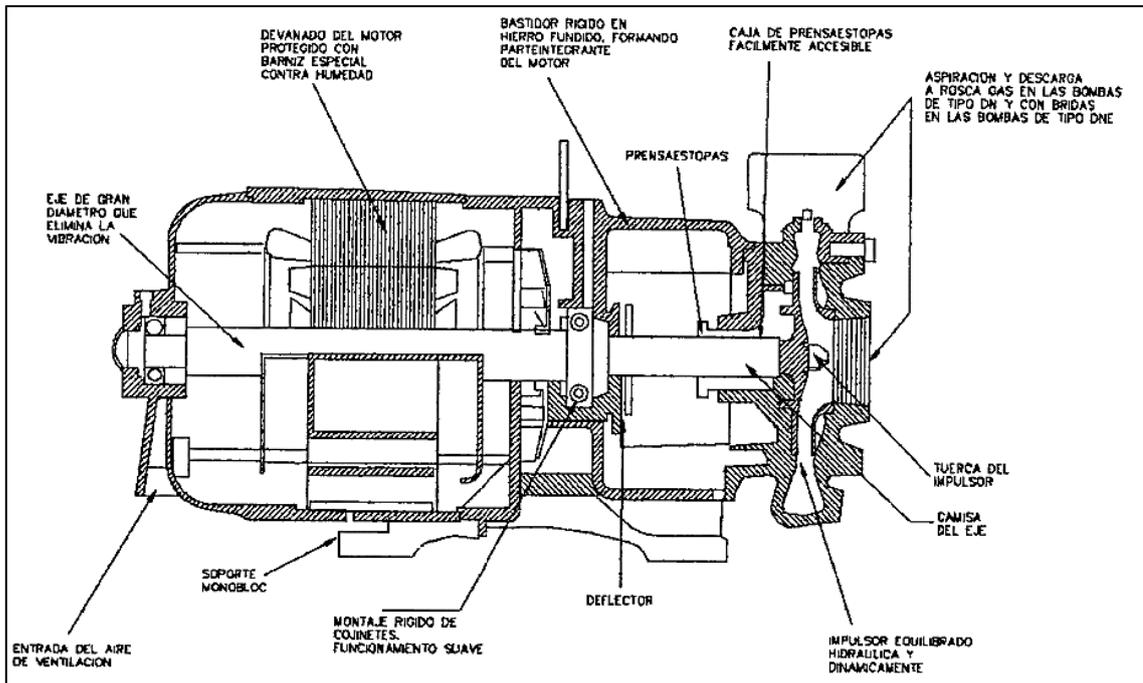


Figura 4- 2: Partes internas de un equipo de bombeo

Fuente: (Borrero Restrepo et al., 1995)

2.6 Tipos de Bombas Hidráulicas

Una de las clasificaciones de equipos hidráulicos se conoce de la siguiente manera:

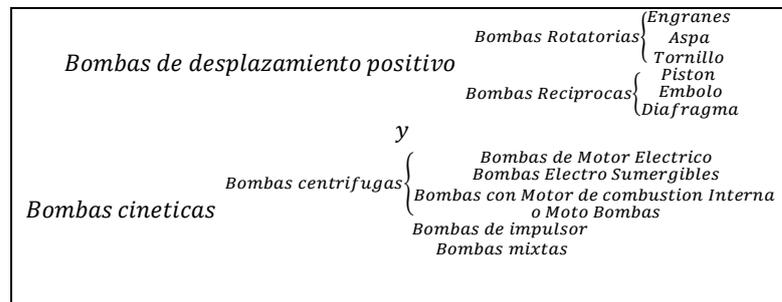


Figura 5- 2: Clasificación de bombas

Fuente: (Borrero Restrepo et al., 1995)

Generalmente cada tipo de bomba se caracteriza por el material de trabajo o fluido que impulsa, la eficiencia y más importante se caracterizan por la presión o altura “*H*” que generan y el caudal “*Q*” a impulsar. Bajo los estudios realizados Manuel Viejo Zubicaray clasifica los tipos de bombas según su uso y aplicación de la siguiente manera. (Zubicaray, 2005)

Bombas de desplazamiento positivo son aplicables para:

- Caudales pequeños
- Presiones altas
- Líquidos limpios

Bombas cinéticas de tipo centrífugo son aplicables para:

- Caudales grandes
- Presiones reducidas o medianas
- Líquidos de todo tipo, excepto viscosos

En el tema con respecto a la comunidad San Vicente de Lacas es necesario la implementación de bombas centrífugas, debido que las especificaciones concuerdan con este tipo de bombas y tiene una mayor acogida en el mercado debido a su bajo costo, sin embargo, no hay que olvidar que las bombas centrífugas en primera instancia tenían una eficiencia muy baja e incluso su elevado precio era de uso no muy frecuente, pero al notar que en las bombas de desplazamiento positivo su mantenimiento era más elevado, surgieron las mejoras en ingeniería y por tanto su rendimiento y costo empezaron a ser más aceptables en el mercado. (Zubicaray, 2005)

2.6.1 Bombas con Motor Eléctrico

Una bomba es un equipo capaz de impulsar un fluido de trabajo desde un punto a otro, transformando internamente la energía de flujo que contenga en energía de presión, esto juntamente con accesorios útiles en diferentes puntos, llegan a formar un sistema de bombeo. Una bomba centrífuga se caracteriza principalmente por dos elementos internos dentro de su estructura que es el impulsor y la voluta. El impulsor es un mecanismo rotatorio con una determinada matriz de alabes capaces de incrementar la energía del fluido o a su vez transformarla. La clasificación de los impulsores o rodets viene determinada según el ingreso y desalajo del fluido del rodete, como se muestra en la figura 5-2. La siguiente característica que diferencia una bomba centrífuga de los demás tipos de bombas es la voluta, su estructura en forma de caracol tiene un diseño ingenieril capaz de otorgar energía de presión, su forma depende específicamente del tipo de impulsor que se encuentre internamente en la bomba. Una forma clásica de la estructura de una voluta se especifica en la Figura 6-2.

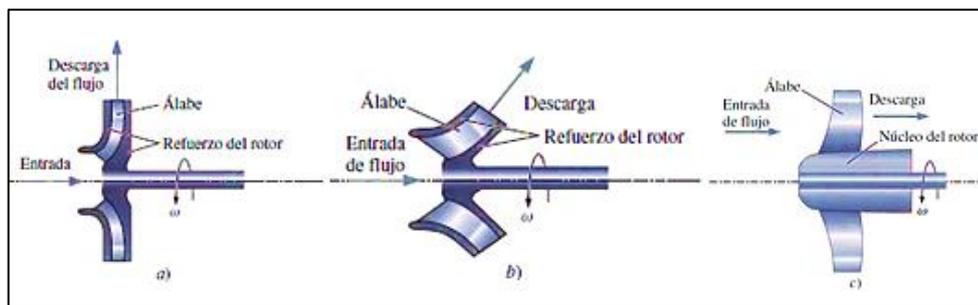


Figura 6- 2: Tipos de impulsores o rodets internos en las bombas centrífugas
Fuente: (Çengel, 2006)

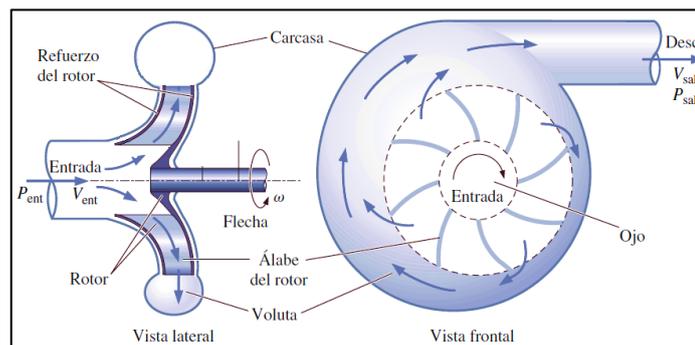


Figura 7- 2: Partes internas de la bomba centrífuga.
Fuente: (Çengel, 2006)

Generalmente este tipo de bombas de motores eléctricos presentan mayores ventajas con respecto a motores de combustión interna, principalmente por la conservación del medio ambiente, pero entre otras se encuentran:

- Reducción de emisiones de CO₂ al medio ambiente.
- Reducción de decibeles en el ambiente de trabajo.

- Reducción de vibraciones en un modo estático.
- Manejo de energía eléctrica, abastecimiento continuo.
- Reducción de costos en abastecimiento eléctrico.
- Poca generación de calor interno.

2.6.2 Bombas Sumergibles

A diferencia de las bombas eléctricas, se clasifican porque su funcionamiento se realiza dentro del fluido, cubierto completamente la succión y descarga del equipo. Otra de sus diferencias es que es útil para ser trasladado de un lugar a otro sin mayores complicaciones, su alimentación eléctrica regularmente se encuentra entre los 110 y 220 V, voltaje muy regular en instalaciones domiciliarias. La incorporación de sus partes es similar a una bomba centrífuga solo que, en dirección vertical, su impulsor por lo general llega a ser de forma axial como en la Figura 5-2 c) para no incorporar una voluta debido a la geometría de este, si no que llega a tener un túnel interno de descarga donde se aprovecha la energía con la que es enviado el fluido. Por lo general este tipo de bombas presentan una transferencia de calor muy baja, debido a que se encuentra sumergido en el mismo fluido y mediante el proceso de convección su energía se disipa rápidamente. Su uso principal es en mantenimiento de piscinas hidráulicas, piscinas en construcción, bodegas en barcos, entre otros (Mott, 2006).

2.6.3 Bombas con Motor de Combustión Interna o Moto bombas

Este tipo de bombas llega a ser uno de los equipos más usados en la extracción de un fluido en lugares de difícil acceso, debido a su manufactura en los alabes del impulsor puede succionar fluidos con partículas sólidas de un determinado tamaño; la diferencia es que no lleva un funcionamiento basado en energía eléctrica, si no se basa en el consumo de combustible para generar la combustión y poder dar movimiento interno al eje del motor; una de sus ventajas es que su transporte es mucho más fácil, sin embargo la alimentación para el motor debe ser completado en determinados intervalos de tiempo para no interrumpir la funcionalidad del mismo. Su eficiencia llega ser por lo general entre 40 a 60 % debido a las pérdidas generadas en los mecanismos dentro del motor, muy general en motores de combustión interna. En estos motores es muy importante mantener los mantenimientos preventivos como limpieza y cambios de aceite correctos y en su determinado tiempo, esto con el fin de evitar daños a futuro en el funcionamiento de la maquina y generar gastos inapropiados. La adaptación que lleva la bomba con el motor es mediante un mecanismo ya sea roscado o empernado, dependiendo de la capacidad y tamaño de la bomba, llamado “Coupling”, este es un mecanismo muy importante en la motobomba, debe encontrarse perfectamente alineado con respecto al eje del motor para evitar vibraciones o desalineamientos excesivos que lleguen a generar defectos en el equipo.

2.7 Selección de Tuberías

Dentro de un sistema de bombeo es muy importante la correcta selección acerca de la mejor opción con respecto a un sistema de tuberías. Dentro del mercado ecuatoriano se encuentran muchos proveedores de tuberías en distintas marcas, las cuales en su gran mayoría se distinguen por el tipo de manufactura con el cual se han fabricado, esto conlleva a que las distintas marcas de tuberías tengan un diferente tipo de espesor y esto, hace que el diámetro interno de cada tubería tenga un diferente valor. Cada marca de fabricante debe otorgar al cliente una tabla en la cual se muestra un valor presión de trabajo que servirá para brindar una mayor seguridad, esto con el fin de evitar inconvenientes físicos y económicos en el sistema de bombeo; ver en la sección 2.7.2 Catálogos de tuberías. Para empezar una correcta selección de tuberías debe estimarse el tipo de fluido a transportar. Existen muchos tipos de materiales con los cuales se han construido los diferentes tipos de tuberías, cada tubería tiene su uso como se presenta en la Tabla 6-2

Tabla 6- 2: Usos de los diferentes tipos de tubería

Material de tubería	Usos
Tuberías de acero	Construcciones industriales y transporte de crudo
Tuberías de cobre	Electrodomésticos y tuberías de gas
Tuberías de hierro dúctil	Construcciones industriales, sistemas o instalaciones hidráulicas
Tuberías de plástico	Sistemas hidráulicos, sistemas de riego o instalaciones industriales
Mangueras hidráulicas	Sistemas hidráulicos y automotrices

Fuente: (Quinga, [sans date])

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2019

En este caso la selección para un sistema de riego es tubería de plástico. Seguido para otorgar un diámetro aproximado dentro del sistema es necesario estimar un diámetro según cálculos, y es por esto, que obtenido los datos que se desea en el sistema como son caudal "Q" y velocidad del fluido "v" se puede calcular el diámetro de la tubería según la ecuación de la continuidad (3). Se conoce en general que el área de una sección circular "A" es como se muestra en la ecuación (23). Despejando el diámetro de la tubería e ingresando en la ecuación (3), se obtiene el siguiente resultado.

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (23)$$

Ingresando en la ecuación de continuidad.

$$Q = v \frac{\pi}{4} D^2 \quad (24)$$

Despejando el diámetro que se desea estimar en la tubería.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \quad (25)$$

Donde se conoce que:

Q es el caudal en $[m^3/s]$

v es la velocidad promedio de la tubería en $[m/s]$

Ahí que denotar que los valores de velocidad se verán implicados en la sección siguiente.

2.7.1 Parámetros de Velocidad

Para el correcto funcionamiento de un sistema de bombeo, el fluido a transportarse internamente debe comprender algunos parámetros para que no existan inconvenientes ni mucho menos el que sistema no llegue a su punto de llegada. La velocidad con la cual se transporta el fluido llega a ser importante debido a que su flujo en llegada y salida puede dar problemas al sistema, por esto es que muchos autores recomiendan que la velocidad de un fluido en succión y descarga se muestre como indica en la Tabla 7-2.

Tabla 7- 2: Velocidades recomendadas en tramos de tubería

Tipo de servicio	Rango recomendado de velocidad	
	pie/s	m/s
Líneas de succión	2 - 4	0,6 – 1,2
Líneas de retorno	4 - 13	1,5 - 4
Líneas de descarga	7 - 18	2 – 5,5

Fuente:(Mott, 2006)

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

Otros autores como Jhony Rosero clasifican las velocidades de acuerdo con el tipo de fluido como se muestra en la Tabla 8-2.

Tabla 8- 2: Velocidades recomendadas para distintos fluidos

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0,5 – 1	0,15 – 0,30
	Entrada de bomba	1 - 3	0,3 – 0,9
	Salida de bomba	4 -10	1,2 – 3
	Línea de Conducción	4 - 8	1,2 – 2,4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0,2 – 0,5	0,06 – 0,15
	Salida de bomba	0,5 - 2	0,15 – 0,6
Vapor de Agua		30 -50	9 - 15
Aire o gas		30 - 100	9 - 30

Fuente:(Rosero Andrade, 2015)

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

En conclusión, muchos autores recomiendan un valor promedio de las velocidades de succión y descarga que se encuentren entre los valores de 0,5 y 5,5 m/s.

2.7.2 Catálogos de Tuberías

Dentro del mercado ecuatoriano se están implementando nuevas marcas para la producción y abastecimiento de accesorios y tuberías en distintos materiales como plástico, hierro galvanizado, acero, entre otros. Las marcas más reconocidas dentro del mercado ecuatoriano son las siguientes.

- Plastigama



Figura 8- 2: Eslogan de la empresa PLASTIGAMA S.A.
Fuente: (PLASTIGAMA, [sans date])

- Rival



Figura 9- 2: Eslogan de la empresa RIVAL S.A.
Fuente: (RIVAL, 2008)

- Tigre



Figura 10- 2: Eslogan de la empresa TIGRE S.A.
Fuente: (TIGRE, 2018)

Este tipo de empresas entregan al cliente un catálogo de productos donde se especifican datos específicos como diámetros internos, espesores, presiones de trabajo, entre otros, como se muestra en la Tabla9-2.

Tabla 9- 2: Datos de presión de trabajo, diámetros y espesores de tuberías

Diámetro Nominal (mm)		Diámetro Interior	Espesor Nominal	Presión de Trabajo		
UNIÓN U/Z	UNIÓN E/C	mm	mm	MPa	PSI	Kgf/cm ²
	20	17,8	1,1	1,25	181	12,75
		16,8	1,6	2,00	290	20,40
	25	22,8	1,1	1,00	145	10,20
		21,8	1,6	1,60	232	16,32
	32	29,8	1,1	0,80	116	8,16
		28,8	1,6	1,25	181	12,75
	40	37,8	1,1	0,63	91	6,43
		36,8	1,6	1,00	145	10,20
		36,0	2,0	1,25	181	12,75
	50	47,4	1,3	0,63	91	6,43
		46,8	1,6	0,80	116	8,16
		46,0	2,0	1,00	145	10,20
		45,0	2,5	1,25	181	12,75
	63	59,8	1,6	0,63	91	6,43
		58,8	2,1	0,80	116	8,16
		58,0	2,5	1,00	145	10,20
		56,8	3,1	1,25	181	12,75
	75	72,0	1,5	0,50	73	5,10
		71,2	1,9	0,63	91	6,43
		70,2	2,4	0,80	116	8,16
		69,0	3,0	1,00	145	10,20
		67,6	3,7	1,25	181	12,75
	90	86,4	1,8	0,50	73	5,10
		85,4	2,3	0,63	91	6,43
		84,2	2,9	0,80	116	8,16
		82,8	3,6	1,00	145	10,20
		81,2	4,4	1,25	181	12,75
	110	105,6	2,2	0,50	73	5,10
		104,6	2,7	0,63	91	6,43
		103,2	3,4	0,80	116	8,16
		101,6	4,2	1,00	145	10,20
		99,6	5,2	1,25	181	12,75
	140	134,4	2,8	0,50	73	5,10
		133,2	3,4	0,63	91	6,43
		131,4	4,3	0,80	116	8,16

Fuente: (PLASTIGAMA)

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

2.8 Tipos de Accesorios para Control del Flujo de Agua

Dentro de un sistema de bombeo existen muchos accesorios para el control del flujo del fluido que se esté transportando, con la finalidad de brindar un sistema más seguro, sin embargo, hay que tener en cuenta que cada tipo de accesorio permite una reducción de energía de flujo en el fluido, que, puede provocar un mal acontecimiento en el sistema si los accesorios se encuentran en gran cantidad o en gran tamaño. Como se menciona en el punto 2.4.7 sobre pérdidas secundarias. A continuación, se muestra los tipos de accesorios más generales dentro de un sistema de bombeo.

2.8.1 Válvulas

Estos dispositivos fueron creados desde la edad media, iniciando con partes de troncos u otros materiales para formar tipo de barreras en caudales de ríos o en sembríos para el beneficio de la gente. Mientras sus avances seguían avanzando este dispositivo fue rediseñándose con el fin de poder controlar el paso del fluido o cerrar el paso de este. Sin embargo, existen una gran variedad de tipos de válvulas, cada una con determinadas características para poder brindar una completa seguridad y eficiencia al sistema como se muestra en el Grafico 2-2. Cada válvula genera un tipo de pérdida de flujo que se puede estimar según el diámetro o según el tipo de manufactura ya sea roscado o bridado, según Crane clasifica a las válvulas por la ecuación de resistencia como se observa en el gráfico 3-2

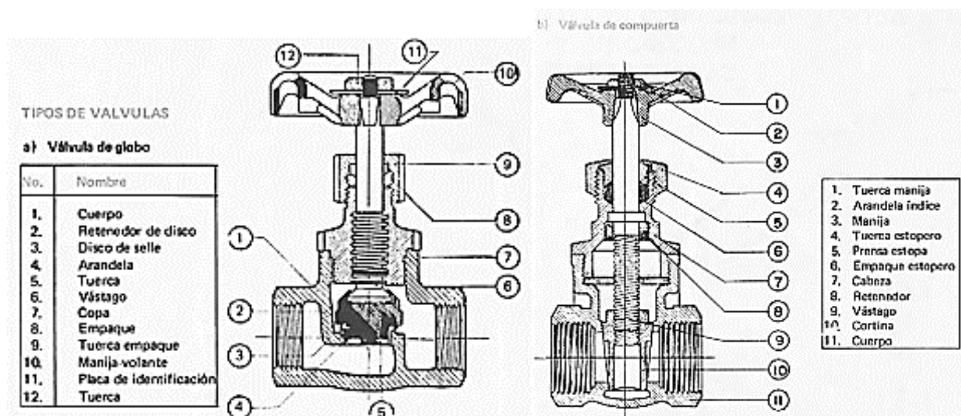


Gráfico 2- 2: Estructura interna de diferentes tipos de válvulas

Fuente: (Beltrán Gamboa et al., 1984)

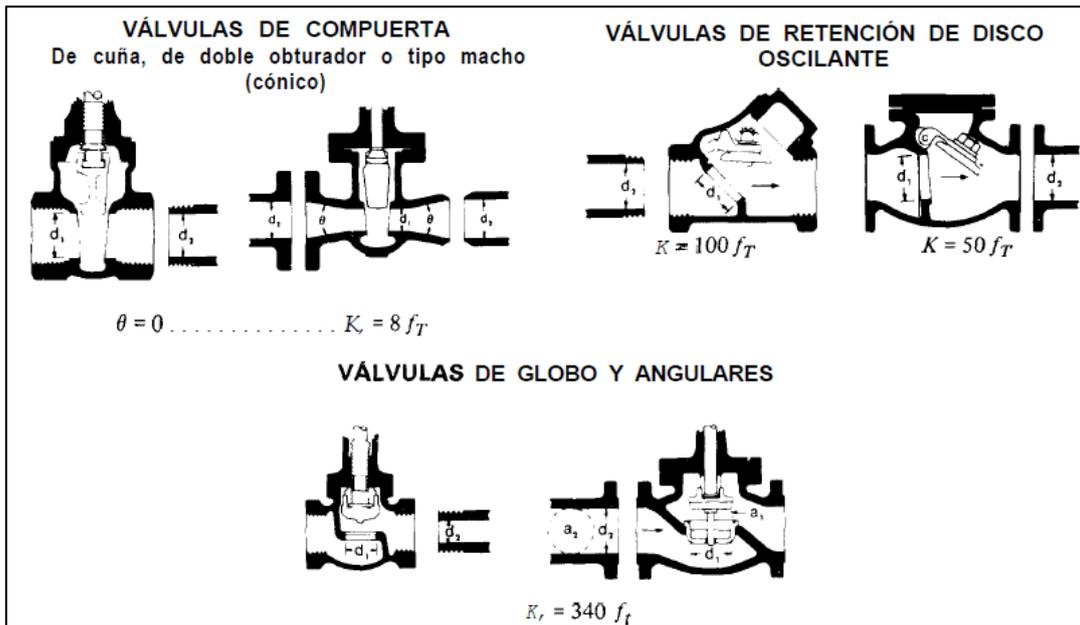


Gráfico 3- 2: Tipos de válvulas con su respectivo coeficiente de resistencia
Realizado por: (CRANE, 1987)

Sin embargo, como se mencionó anteriormente los fabricantes de accesorios o tuberías, entregan al cliente un catálogo donde se presentan los diferentes tipos de accesorios y su coeficiente de resistencia como en la Tabla 10-2.

Tabla 10- 2: Accesorios con sus respectivos coeficientes de resistencia

DIÁMETRO NOMINAL		40	50	63	75	90	110	160	200
PÉRDIDAS DE CARGA		(m)							
TEE		1,50	2,20	2,30	2,40	2,50	2,60	3,60	5,00
CODO 90°		2,00	3,20	3,40	3,70	3,90	4,30	5,40	5,50
CODO 45°		1,00	1,30	1,50	1,70	1,80	1,90	2,60	3,50
CODO 90° L/R		0,70	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	2,10	2,60
CODO 45° L/R		0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20	1,40
VÁLVULA CHECK		4,90	6,80	7,10	8,20	9,30	10,40	13,90	17,60
VÁLVULA DE BOLA		22,00	35,80	37,90	38,00	40,00	42,30	56,70	72,10
VÁLVULA DE COMPUERTA		0,40	0,70	0,80	0,90	0,90	1,00	1,20	1,40

Fuente: (PLASTIGAMA)

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

2.8.2 Elementos de Unión

Precisamente en el instante de la implementación de un sistema de bombeo, dependerá mucho la longitud entre los puntos a conectarse, esto es muy importante determinar la longitud exacta y la trayectoria de la misma, con el fin de saber la cantidad total de tubería en adquirirse y la cantidad total de accesorios para el cambio de trayectoria. En los elementos de unión se destacan accesorios para dos únicas funciones, las cuales son conexión de tuberías y cambio de trayectoria del fluido. Dentro del mercado ecuatoriano existe una serie de elementos de unión, todo dependiendo del tipo de conexiones que se desee realizar como se muestra en la Figura 10-2.



Figura 11- 2: Accesorios de dirección en la marca Plastigama S.A.
Fuente: (PLASTIGAMA)

2.8.2.1 Codos

Uno de los accesorios comúnmente utilizados para el cambio de trayectoria del fluido en la instalación del sistema de bombeo, son aquellos llamados Codos, ya sea de radio largo o de radio corto, estos accesorios ayudan en gran manera a que el flujo del fluido no se vea alterado en gran forma y pueda llegar a su lugar de destino o punto final. Es necesario recalcar que este tipo de accesorios, dependiendo generalmente de sus dimensiones provocan una pérdida de energía de flujo que es muy necesario tener en cuenta. Autores como Crane, mencionan las pérdidas generadas por codos, dependiendo el ángulo de inclinación como se observa en la Figura 4-2

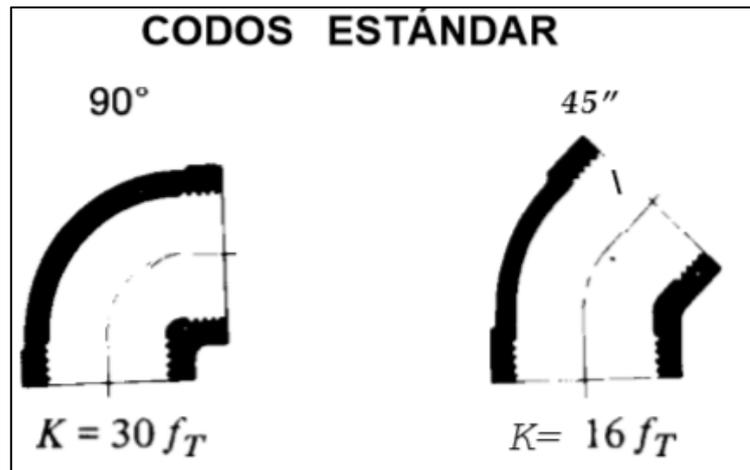


Gráfico 4- 2: Codos con su respectivo coeficiente de resistencia
Realizado por: (CRANE, 1987)

**CURVAS Y CODOS DE 90° CON BRIDAS
O CON EXTREMOS PARA
SOLDAR A TOPE**



r/d	K	r/d	K
1	20 f_T	8	24 f_T
1.5	14 f_T	10	30 f_T
2	12 f_T	12	34 f_T
3	12 f_T	14	38 f_T
4	14 f_T	16	42 f_T
6	17 f_T	20	50 f_T

Gráfico 5- 2: Codos bridados con su respectivo coeficiente de resistencia
Realizado por: (CRANE, 1987)

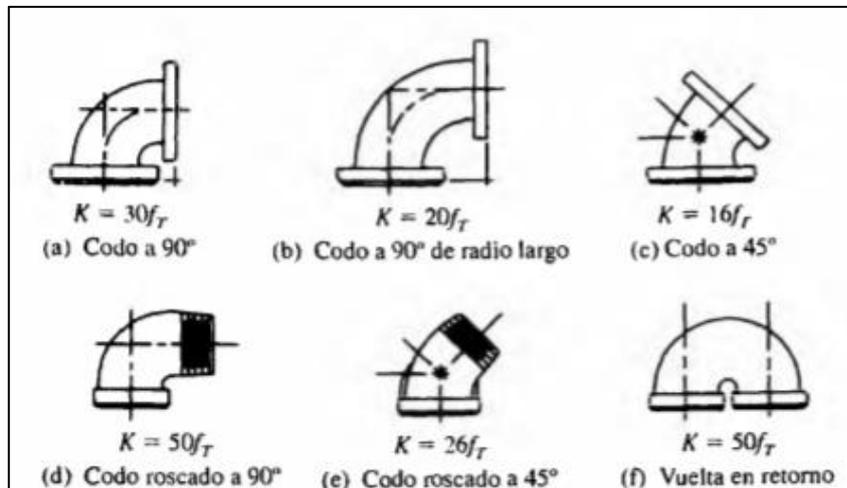


Gráfico 6- 2: Codo estándar con su respectivo coeficiente de resistencia
Realizado por: (Mott, 2006)

2.8.2.2 Uniones

Como es de conocimiento general muchas empresas que distribuyen tuberías para conexiones hidráulicas, la longitud de estas llega a ser de 4 a 6 m por lo que al tener una distancia entre puntos que supere este valor, es necesario realizar conexiones mediante un accesorio *Unión*, se encuentra en diferentes tipos de materiales y diferentes tamaños, su pérdida de energía de flujo se calcula mediante el despeje de la ecuación (22) del coeficiente de resistencia.

$$k = f \frac{L_e}{D} \tag{26}$$

$$L_e = \frac{Dk}{f} \tag{27}$$

Donde:

D es el diámetro interno de la sección en [m]

k es el coeficiente de resistencia, cuyas unidades son adimensionales, es necesario notar que para uniones el valor de $k = 1$ (Crane)

f es el factor de fricción en la sección a estudiar. Para más información ver la sección 2.4.6

El valor de longitud equivalente “Le” obtenido se debe multiplicar por el número de uniones totales existentes en el sistema.

2.8.2.3 *Te*

Un accesorio muy utilizado en la implementación de sistemas hidráulicos es aquel llamado como *Te*, este accesorio fabricado muy comúnmente en plástico ayuda a que el flujo pueda ser dividido entre dos trayectorias, para el abastecimiento correcto entre un punto y otro. Se encuentra al igual que los codos en muchas dimensiones para la conexión necesaria y su pérdida de energía de flujo por lo general llegan a estar tabuladas, como por ejemplo Crane los describe en la figura 7-2

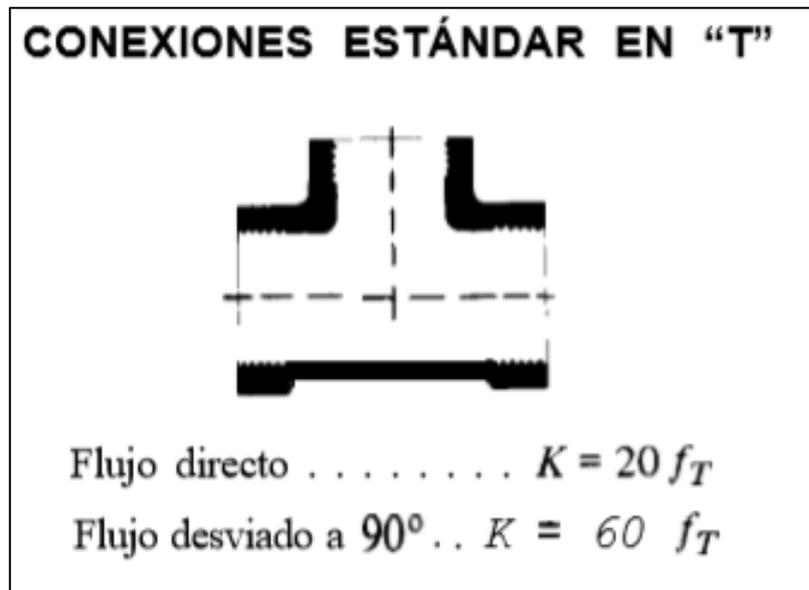


Gráfico 7- 2: Te estándar con su respectivo coeficiente de resistencia
Realizado por: (CRANE, 1987)

2.8.3 *Filtros*

Conocidos también como rejas de limpieza; son accesorios únicos en un sistema de bombeo que realizan la limpieza de impurezas en el fluido, en muchos sistemas hidráulicos y neumáticos, atrapando las impurezas y reservándolas en un contenedor interno hasta próximos mantenimientos al sistema. La instalación de filtros de limpieza en sistemas hidráulicos es de vital importancia debido a que protegen un accesorio vital en la bomba llamado *impeller o rodete*, cada partícula que ingresa en la succión del sistema llegan al rodete con una determinada velocidad de impacto, provocando muchas veces el deterioro del accesorio mediante el efecto de erosión en la

bomba. Los filtros de limpieza llegan a obtener rejas internas con perforaciones pequeñas o grandes, es decir, perforaciones desde 0,05 mm hasta 4,8 mm (Mott,2006)

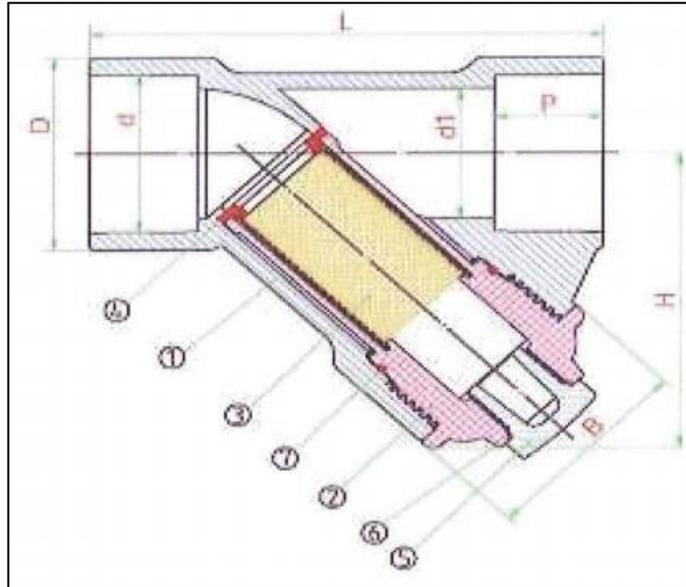


Figura 12- 2: Estructura interna de un filtro de sedimentos
Fuente: (TVI, 2019)

Tabla 11- 2: Partes internas de un filtro de sedimentos

Materiales de construcción		
Item	Parte	Material
1	Body	PVC
2	Screen Rack	PVC
3	Screen	PVC
4	Clip	ABS
5	Lid	PVC
6	O Ring	EPDM, VITON
7	O Ring	EPDM, VITON

Fuente:(TVI, 2019)

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

Tabla 12- 2: Estructura y dimensiones de un filtro de sedimentos

Size DN- Inch	d1	D	L SOC/THD	FLANGED	P	d SOCKET	THREAD (NPT)	H	Unit: Inch B	Working Pressure (PSI)
3"	3,15	4,3	9,63	11,91	1,875	3,516	3	6,45	4,3	150
4"	3,94	5,36	11,69	14,02	2,25	4,518	4	7,84	5,36	150

Fuente:(TVI, 2019)

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

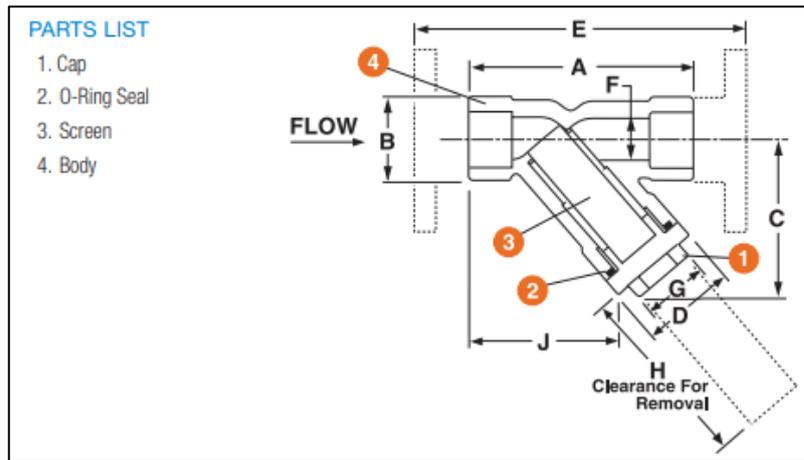


Figura 13- 2: Esquema de las partes internas de un filtro de limpieza
Fuente: (HAYWARD S.A., 2018)

Tabla 13- 2: Dimensiones de las partes internas de un filtro de limpieza

SIZE in / DN	A in / mm	B in / mm	C in / mm	D in / mm	E in / mm	F in / mm	G in / mm	H in / mm	J in / mm	SOC / THD lb / kg	FLANGED lb / kg
2 / 50	7,63 / 194	3,38 / 86	5,38 / 137	3,75 / 95	11,00 / 279	2,00 / 51	2,38 / 60	5,06 / 129	4,88 / 124	3,00 / 1,36	5,00 / 2,27
2-1/2 / 65	10,31 / 262	4,69 / 119	7,25 / 184	5,25 / 133	N/A	2,90 / 74	3,50 / 89	6,60 / 168	6,54 / 166	7,75 / 3,52	N/A
3 / 80	10,31 / 262	4,69 / 119	7,25 / 184	5,50 / 140	14,37 / 365	2,90 / 74	3,50 / 89	6,60 / 168	6,54 / 166	7,50 / 3,40	12,25 / 5,56
4 / 100	12,81 / 325	5,75 / 146	8,88 / 226	6,18 / 157	17,73 / 450	3,78 / 96	4,25 / 108	8,00 / 203	8,58 / 218	9,50 / 4,30	17,50 / 7,94

Fuente: (HAYWARD S.A., 2018)

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

Tabla 14- 2: Coeficiente de flujo para las diferentes medidas de filtros

SIZE in / DN	Cv VALUES	SIZE in / DN	Cv VALUES
1/2 / 15	4,0	2 / 50	28
3/4 / 20	6,8	2-1/2 / 65	40
1 / 25	9,0	3 / 80	65
1-1/4 / 32	12	4 / 100	100
1-1/2 / 40	28		

Fuente: (HAYWARD S.A., 2018)

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

Para poder determinar el coeficiente de resistencia en un filtro de limpieza es necesario los datos que se puedan obtener directamente del fabricante, sin embargo, muchos fabricantes obtienen de sus accesorios un coeficiente de flujo denotado con las letras “Cv”, que es la interpretación de que un accesorio o instrumento con un coeficiente de flujo igual a uno, equivale a 1 psi de pérdida en el sistema. (Mott, 2006), implementando esta ecuación para obtener un valor de “k”, quedaría de la siguiente manera:

$$K = \frac{891 D^4}{Cv^2} \quad (28)$$

Seguido, implementando en la ecuación (28) en el coeficiente de resistencia y despejando la pérdida por tramo del accesorio involucrando la ecuación (27), además modificando el coeficiente para unidades en metros desde unidades en pulgadas, el valor obtenido de pérdida de un filtro se denota de la siguiente forma:

$$L_e = \frac{2140,636 \times 10^6 \cdot D^5}{f Cv^2} \quad (29)$$

2.8.4 Junta de Expansión

Una junta de expansión es un dispositivo muy útil en instalaciones industriales o sistemas de bombeo; estas juntas de expansión presentan una gran ventaja cuando se trata de sobrellevar cargas en un sentido axial con respecto a un sistema de coordenadas, gracias a que su estructura lleva una forma de espiral o resorte, es útil en cambios de dirección por su deformación que es capaz de soportar y poder volver a su formar original como se observa en la figura 13-2. El ensamble de una junta de expansión es muy importante debido a que su material de construcción por lo general en la clase de elastómeros debe ser diseñado para ensamblar con diferentes sistemas de conexión como las bridas.

Entre los principales usos de una junta de expansión se encuentran:

- Reducción de vibraciones
- Ayuda en la desalineación de sistemas de tuberías
- Reducción de presiones de carga y golpes de ariete

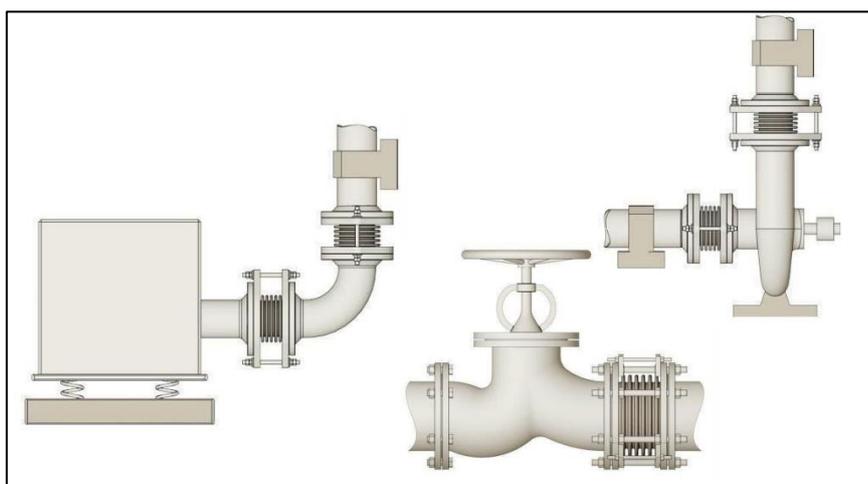


Figura 14- 2: Usos e instalación de una junta de expansión
Fuente: (ESPIRALMEX, 2020)

Existen diferentes tipos de juntas de expansión como se observa en la figura 14-2, todas con la diferencia de ofrecer un mejor agarre con respecto a otro tipo de junta, es siempre importante determinar el uso industrial al cual estará sirviendo este accesorio, ya que puede ser usado desde aplicaciones químicas hasta aplicaciones alimenticias. (ESPIRALMEX, 2020)

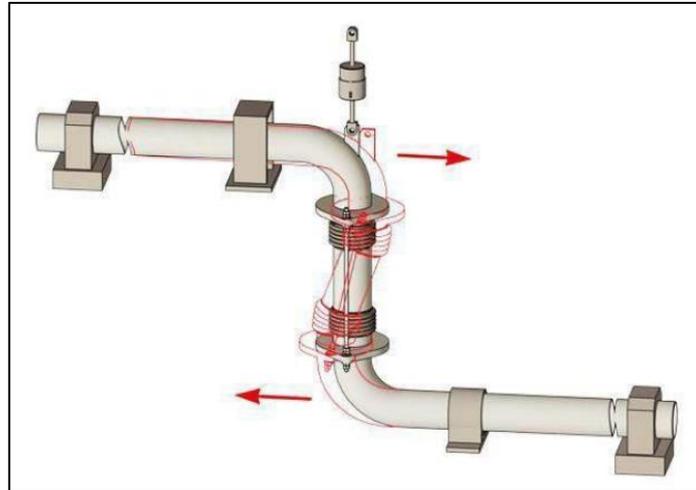


Figura 15- 2: Deformación de una junta de expansión
Fuente: (ESPIRALMEX, 2020)

La pérdida de energía que genera una junta de expansión generalmente se determina por medición de pérdidas de cualquier accesorio hidráulico y esto es mediante la siguiente formula:

$$k_{accesorio} = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2} \rho V^2} \quad (30)$$

Donde “ ΔP ” es la caída de presión que se determina experimentalmente entre la trayectoria de dos puntos antes y después de un accesorio, generalmente se encuentra en unidades [KPa], también “ ρ ” que se conoce como densidad y cuyas unidades son $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$ y “ V ” que es la velocidad promedio dentro de la sección donde se vaya a instalar la junta y sus unidades son en $\left[\frac{m}{s}\right]$. (Çengel, 2006)

2.8.5 Manómetros

Iniciando desde los años 1600 se implementó la primera idea acerca de la creación de un dispositivo capaz de medir la fuerza que generaba una carga sobre un área determinada, y llegando a mejorarse hasta implementarse en la revolución industrial donde el ingeniero Bourdon en el año 1849 implementaría el primer manómetro metálico y esto para la ayuda de mantenimientos de locomotoras a vapor (Reif-Acherman, Machuca-Martinez, 2010). Un manómetro es un dispositivo mecánico capaz de medir la presión ya sea en fluidos o gases, esto con el fin de poder llevar un registro en toda máquina, sistemas hidráulicos, sistemas neumáticos, entre otros, acerca de su funcionalidad, dado que muchos de estos sistemas pueden averiarse en cualquier circunstancia, la

visualización de un manómetro ayudaría en detección de anomalías dentro de las maquinas. Las unidades primordiales que suelen marcar este tipo de instrumentos son por lo general $[KPa]$, $[Psi]$ y $[mmHg]$ conocidos como milímetros de mercurio; algunos de estos dispositivos son para medir presión manométrica y otros presión vacuo-métrica.



Figura 16- 2: Manómetros en diferentes medidas
Fuente: (Çengel, 2006)

2.9 Selección de Bomba Hidráulica

Para poder seleccionar una bomba, un método que se suele seguir es determinar una Curva Resistiva del Sistema y también determinar la Curva Característica de la Bomba que normalmente vienen dadas por el fabricante en sus catálogos o manuales. Luego de aquello, se intersecan las curvas y es en el punto de cruce, donde se dirige a leer el caudal en el eje horizontal y la altura de bombeo en el eje vertical, y finalmente verificar si estas condiciones satisfacen el sistema o no, en caso de que no sea apta las condiciones, se procede a buscar más curvas de bombas hasta dar con la adecuada.

2.9.1 Curva Resistiva del Sistema

La curva resistiva del sistema se origina a partir del teorema de Bernoulli incluidos los términos de pérdidas primarias y pérdidas secundarias, en donde las variables de interés son el caudal “ Q ” y la altura “ H ”. Estas variables ubicadas en un eje de coordenadas bidimensional, donde el caudal se ubica en el eje de las abscisas y por consiguiente la altura en el eje de las ordenadas, describen una curva de grado 2 o una curva parabólica como en la Figura 16-2. La ecuación característica de la curva resistiva del sistema es de grado 2 debido a que la variable de caudal proviene de los términos de las pérdidas primarias y secundarias donde es un término cuadrático. La curva resistiva se llama así, porque presenta el comportamiento de todos los accesorios y tuberías que

conforman el sistema sin tomar en cuenta la bomba hidráulica. Es por esta razón que la curva resistiva del sistema muestra que a un determinado caudal le corresponde una altura que debe impulsar la bomba si se desea llegar a impulsar ese determinado valor de caudal.

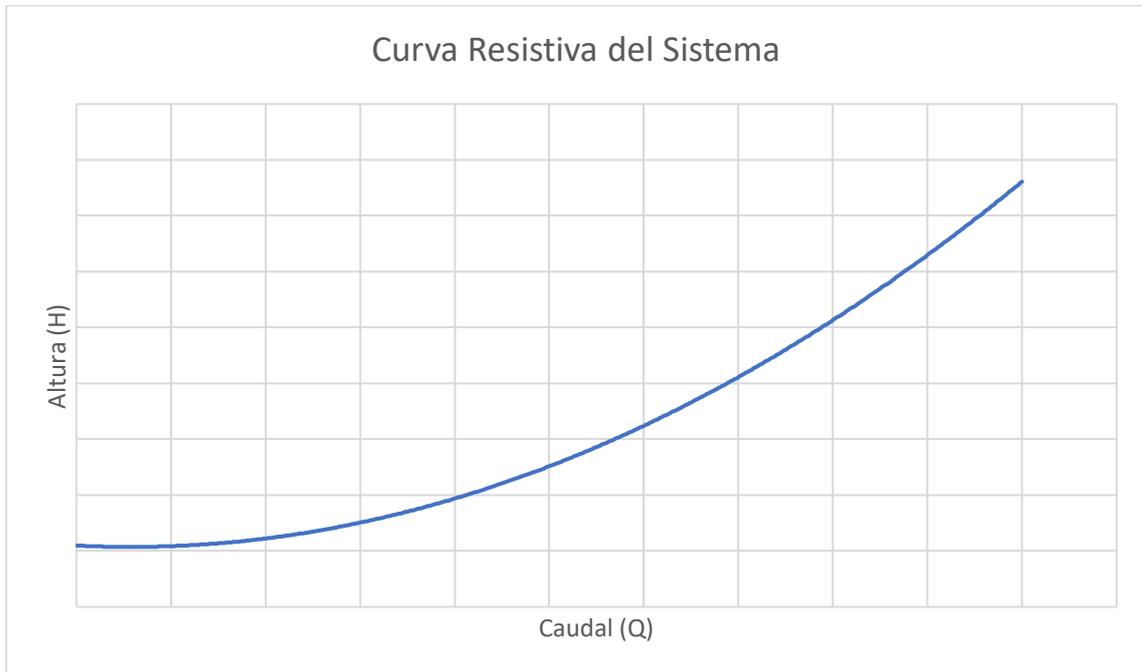


Figura 17- 2: Curva resistiva del sistema

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

2.9.2 Curva Característica de la Bomba

La curva característica de la bomba es una curva de grado 2, 3 o mayor en algunos casos especiales, es una curva parabólica descendente Figura 17-2 representada en un eje de coordenadas donde el caudal se encuentra en el eje de las abscisas, y la altura en las ordenadas. Esta curva es propia de cada modelo de bomba y de cómo está construida, pues los elementos que lo conforman, tipos de materiales, configuración geométrica de voluta e impulsor, así como también la potencia que es capaz de entregar, son los parámetros más importantes para definir la curva propia de una bomba. Estas curvas no suelen encontrarse en todas las bombas que existen en el mercado, pues estas dependerán de si el fabricante así lo decide incluir en su catálogo de bombas o inclusive si el fabricante ha decidido determinar la curva característica de las mismas. El método adecuado para una selección de bombas recomienda que se tenga la curva característica de la bomba, ya que con esta se puede determinar las condiciones más próximas a la realidad. A pesar de que no se tuviese esta curva característica de la bomba, se puede hacer una selección de esta estimada y no tan real, con los parámetros máximos que indica que puede impulsar la bomba como el caudal y la altura.

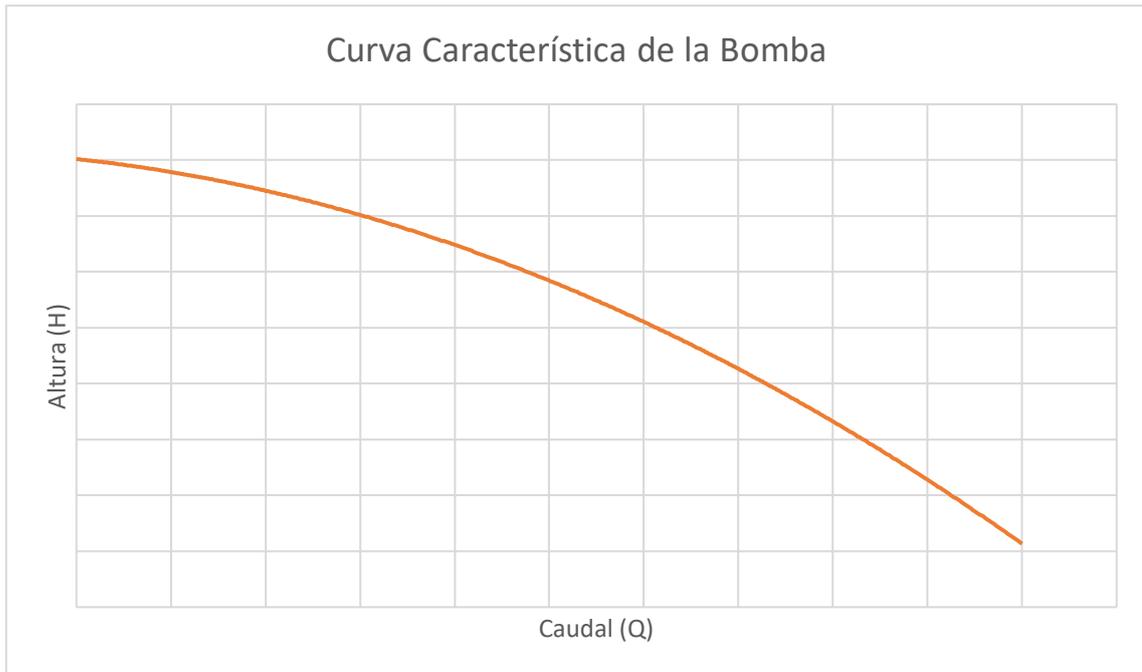


Figura 18- 2: Curva característica de la bomba
Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

2.9.3 Punto de Funcionamiento del Sistema

El punto de funcionamiento es el resultado de la intersección de las curvas: resistiva del sistema y característica de la bomba como en la Figura 18-2. Este punto indica como lo dicen sus propias palabras, el punto de funcionamiento u operación del sistema, dando precisamente el valor de caudal “ Q ” y la altura “ H ” que la bomba es capaz de entregar en un sistema que posee una resistencia al paso del fluido. Estos parámetros pues a la realidad son muy cercanos si se los miden con los instrumentos adecuados, pues la altura que no es más que la presión que se genera internamente en las tuberías, solo que tomando en cuenta el peso específico del fluido, se lo puede medir mediante manómetros, y el caudal se lo puede medir mediante flujómetros, como por ejemplo del tipo de ultrasonido. Algo que se debe tomar en cuenta es que la curva resistiva del sistema es variable a medida que se cierre una válvula, por ejemplo, esto provoca que el punto de funcionamiento se desplace de manera que la pendiente de la curva característica del sistema aumenta a la vez que se cierra la válvula Figura 19-2. Y si se posee un reservorio que posee tiempos de llenado o vaciado, es decir que la cota o altura del nivel del agua es variable, esto provoca un desplazamiento a lo largo del eje de las abscisas, pero conservando su forma o pendiente, en la curva resistiva del sistema Figura 19-2.

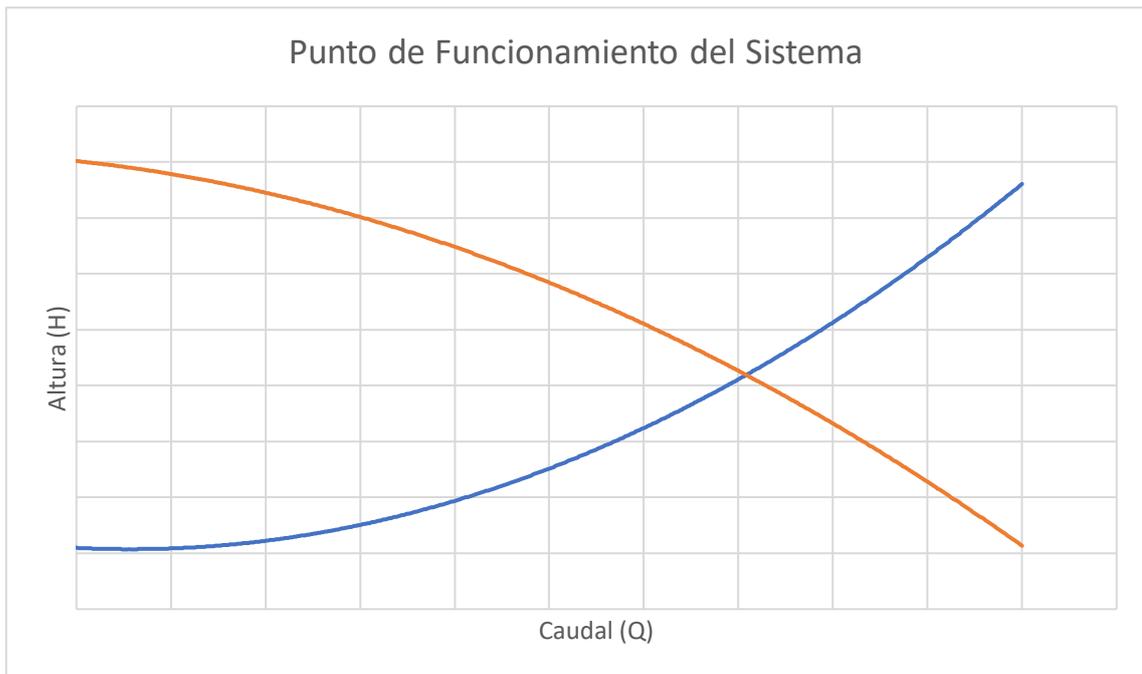


Figura 19- 2: Curva característica de la bomba
 Realizado por: Autores

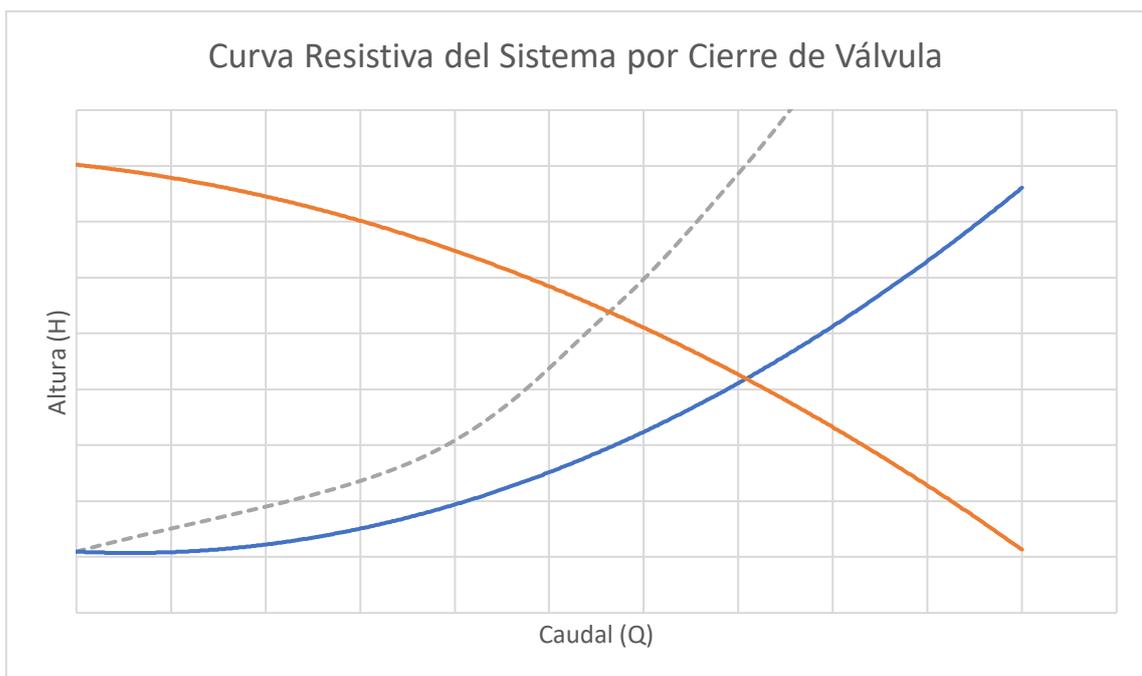


Figura 20- 2: Curva Resistiva del Sistema por Cierre de Válvula
 Realizado por: Autores

En la Figura 20-2 se puede apreciar en la curva de color gris e interlineado, una curva cuadrática muy similar a la azul y sólida (resistiva del sistema), esta curva gris posee una pendiente mayor a la azul provocada por el cierre de una válvula, donde se puede apreciar que la bomba impulsa a una mayor altura el fluido a cambio de disminuir el caudal.

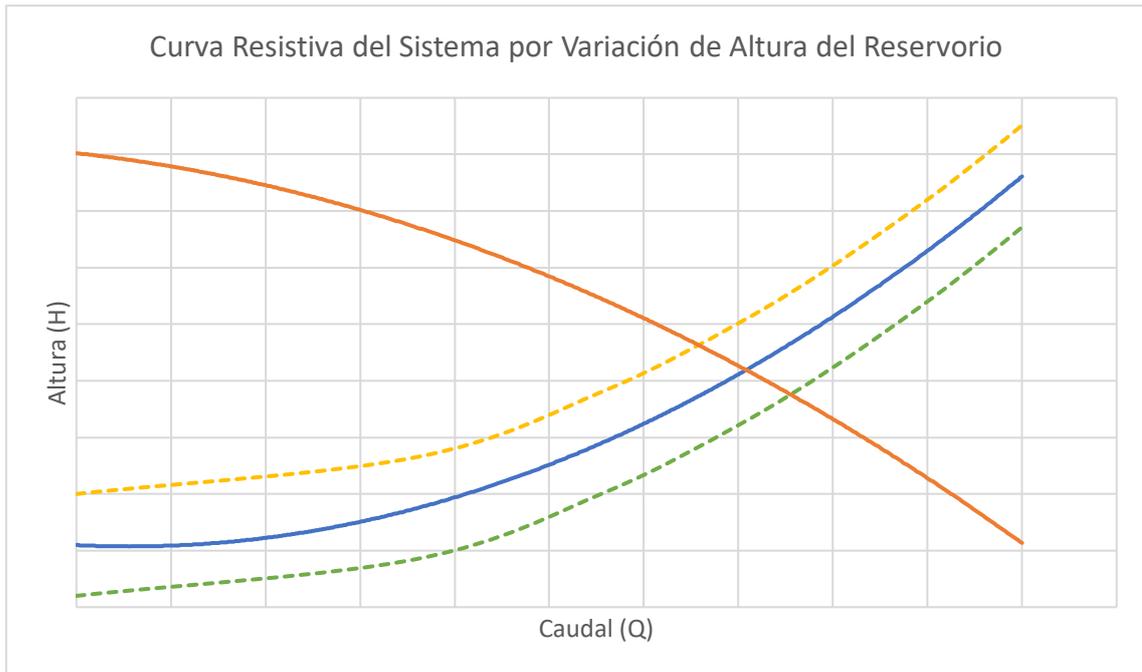


Figura 21- 2: Curva Resistiva del Sistema por Variación de Altura del Reservorio
Realizado por: Autores

En la Figura 20-2 las curvas amarilla y verde interlineadas poseen el mismo valor de pendiente a la azul y sólida (resistiva del sistema), pero distan en un valor de desfase. Como se explica anteriormente, esto es debido a la variación de la altura de un reservorio que contiene el fluido a ser impulsado por la bomba, siendo la curva verde e interlineada cuando el reservorio está completamente lleno y la curva amarilla e interlineada cuando el reservorio está por ser vaciado.

2.9.4 Cabeza de Succión (NPSH)

Para una operación óptima en un sistema de bombeo también es importante asegurar que la tubería de succión (tubería que se encuentra antes de la bomba), se encuentre totalmente llena con el fin de evitar el desarrollo de burbujas que pueden incurrir en cavitación. Debe existir una presión lo suficientemente capaz de mantener el fluido como sección llena en la parte interna de la tubería. La cabeza de succión depende de parámetros principalmente de a que altura está ubicada la bomba respecto a la cota del fluido y el caudal que se maneja en esta.

Los fabricantes de las bombas realizan sus pruebas y con ello determinan la *carga de succión positiva neta requerida (NPSHr)* el cuál es un parámetro que se proporciona al cliente para que pueda predecir las condiciones de operación de la bomba en su instalación y saber si es factible o no la adquisición de dicha bomba. Para poder comparar este parámetro se determina la *carga de succión positiva neta disponible (NPSHa)* junto con *NPSHr* en una condición que se dicta en lo siguiente:

$$NPSHa > 1,1 NPSHr \quad (30)$$

Donde $NPSHa$ es igual a la siguiente expresión:

$$NPSHa = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp} \quad (31)$$

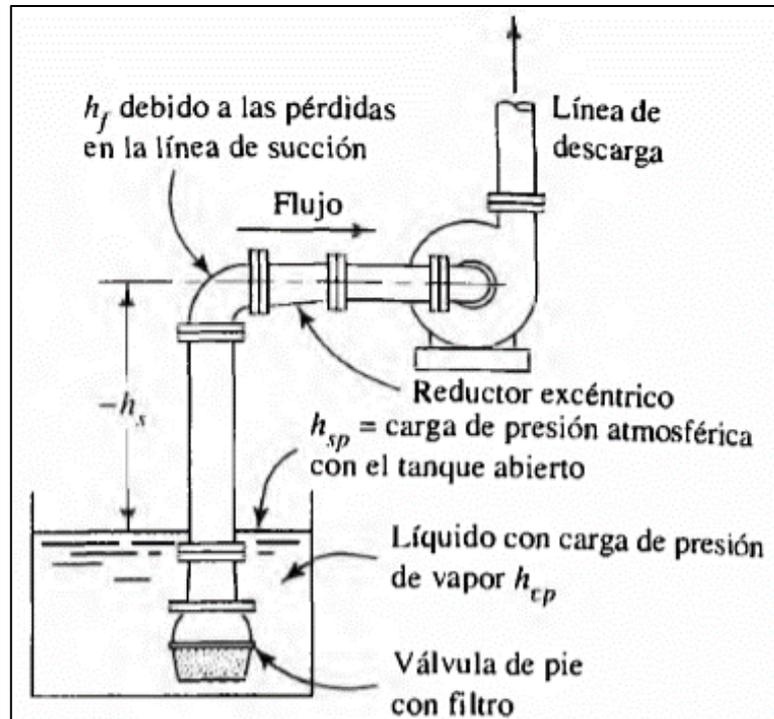


Gráfico 8- 2: Definición de términos para parámetros de $NPSHa$
Fuente: Mott R.

Dónde:

h_{sp} representa la presión estática en forma de altura que se ejerce sobre el fluido del reservorio o depósito; $h_{sp} = P_{sp}/\gamma$

P_{sp} representa la presión absoluta que se ejerce sobre el fluido del reservorio

h_s es la cota de altura medido entre la superficie del líquido del reservorio y el nivel de la entrada o succión de la bomba

h_f representa las pérdidas únicamente en el tramo de succión por pérdidas primarias y secundarias

h_{vp} representa la presión de vapor en forma de altura del líquido según la temperatura del fluido que se bombea en ese momento; $h_{vp} = P_{vp}/\gamma$

P_{vp} representa la presión de vapor del líquido según la temperatura del fluido (ver Tabla 15-2)

Tabla 15- 2: Presión de vapor y carga de presión de vapor de agua

Temperatura [°C]	Presión de vapor [KPa] (abs)	Peso específico [KN/m³]	Carga de presión de vapor [m]
0	0,6105	9,806	0,06226
5	0,8722	9,807	0,08894
10	1,228	9,804	0,1253
20	2,338	9,789	0,2388
30	4,243	9,765	0,4345
40	7,376	9,731	0,7580
50	12,33	9,690	1,272
60	19,92	9,642	2,066
70	31,16	9,589	3,250
80	47,34	9,530	4,967
90	70,10	9,467	7,405
100	101,3	9,399	10,78

Fuente: (Mott, 2006)

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

2.9.5 Eficiencia

La eficiencia está presente siempre en cualquier tipo de máquinas sean rotativas o no. La eficiencia describe la cantidad de energía que una máquina es capaz de entregar en función de la energía que esta recibe. Esto describe una relación donde la eficiencia es la razón entre la potencia de salida sobre la potencia de entrada como lo describe la ecuación (33). La energía que una máquina entrega al final siempre será menor que la que recibe, siendo la energía faltante la que se disipa normalmente en forma de calor. Por principio de conservación de energía, la energía que es entregada sumado con la energía disipada es exactamente igual a la energía que es recibida por una máquina. Por lo tanto, esto se describe en la ecuación (34).

$$\eta = \frac{P_s}{P_e} \quad (33)$$

$$E_c = E_e + E_d \quad (34)$$

Donde:

E_c es la energía consumida

E_e es la energía entregada

E_d es la energía disipada

La energía que se pierde normalmente es en forma de calor, esto es debido a la fricción que se produce entre elementos móviles, de una máquina rotativa, también debido a la fricción de los electrones como paso de la corriente en un material como los cables eléctricos y también por la

disipación de calor como conducción entre los materiales que contienen a una reacción química como por ejemplo los motores de combustión interna.

La eficiencia es un parámetro muy importante en todo tipo de máquinas, ya que implícitamente está relacionado con el gasto económico de la fuente de energía que la máquina ocupa, así pues, se puede decir que entre menos eficiente sea una máquina, más desperdicio económico habrá.

Concentrándose en la eficiencia de un sistema de bombeo, esta se puede determinar con los parámetros de densidad, gravedad, altura y caudal para la potencia de salida e involucrando la ecuación (33) de la relación entre la potencia de salida sobre la potencia de entrada. Por tanto:

$$P_s = \rho g H Q \quad (35)$$

y reemplazando en la ecuación (34), se obtiene la ecuación que determina la eficiencia para sistemas de bombeo:

$$\eta = \frac{\rho g H Q}{P_e} \quad (36)$$

Dónde:

H es la altura de bombeo

Q es el caudal a transportar

Pe es la potencia de entrada de la bomba

ρ es la densidad del fluido

g es la gravedad

2.10 Epanet

Epanet es un programa de computadora con licencia de software libre, cuyo autor es Lewis A. Rossman, que fue lanzada en 1993. Este programa ayuda acerca de simulaciones hidráulicas, sobre el comportamiento de aguas en redes presurizadas y desarrollo en investigación. Este programa trabaja en el sistema operativo de Microsoft Windows y se encuentra en el idioma español. El programa permite realizar cálculos y simulaciones desde el paso de un fluido por una simple tubería, hasta redes complejas de distribución de agua como las de las ciudades, inclusive ver su comportamiento por horarios a lo largo del día, semanas o meses (ITA UPV, 2018).

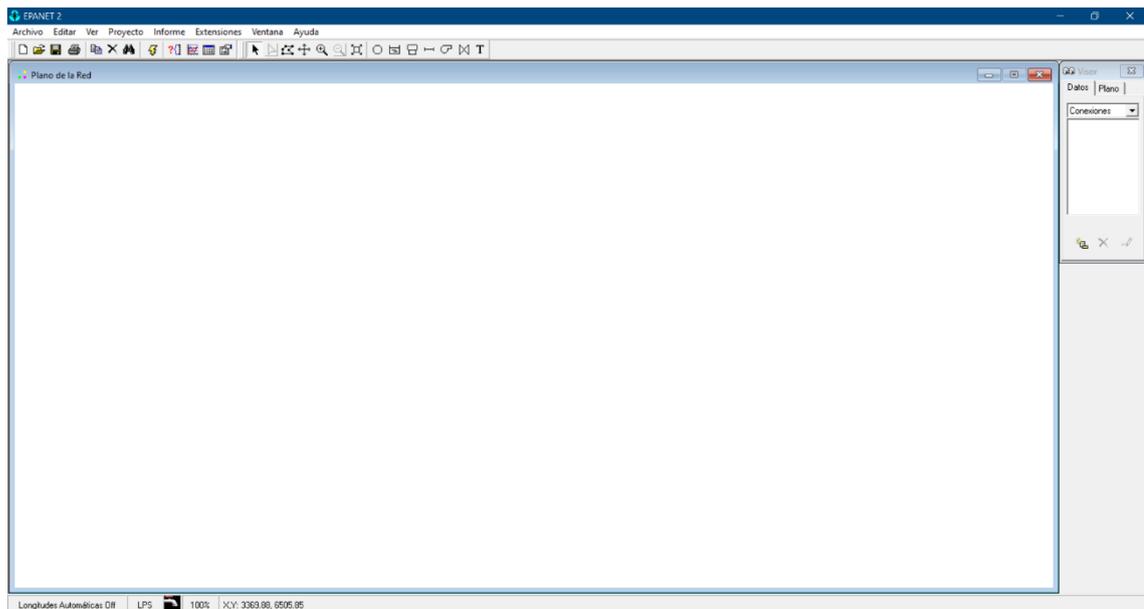


Figura 22- 2: Interfaz del programa Epanet

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

2.11 Transitorio Hidráulico

El fenómeno del transitorio hidráulico, es la combinación de otros fenómenos como la sobrepresión y la depresión que pueden ocasionarse en elementos hidráulicos como las tuberías, esto ocurre generalmente por la apertura o cierre de manera rápida de una válvula, encendido o apagado de una bomba y otros factores relacionados. Un transitorio hidráulico es una onda de energía que se dirige de un lado hacia el otro, que desplaza al fluido dentro de las tuberías, similar a observar las olas en la orilla de los mares, cuando viene una ola, parte de la orilla es cubierta por estas, pero luego de unos instantes estas olas retornan al mar en un movimiento de vaivén. Este fenómeno es importante tenerlo en cuenta debido a la peligrosidad que esta representa a los sistemas hidráulicos, pues esta puede incurrir en fisuras, fracturas y deformaciones de una tubería. Casi siempre ocurre este fenómeno de transitorio hidráulico en los sistemas hidráulicos, muchos de los casos son imperceptibles por lo que estos no tenderían a dañar los componentes o a su vez no son lo suficientemente fuertes como para hacerlo, pero en sistemas donde se manejan bombas de alta potencia, caudales y presiones altas, este fenómeno llega a ser de gran importancia, para ello se puede reducir o evitar estas ondas de choque utilizando elementos de seguridad como tanques hidroneumáticos, chimeneas de equilibrio, válvulas de sobrepresión, válvulas de ventosa entre otros.

2.11.1 Sobrepresión

El fenómeno de la sobrepresión también denominado golpe de ariete, como su nombre lo indica, es una subida de presión dentro de una tubería de manera súbita. Esta es la culpable de fisuras o fracturas de tuberías como en las figuras Figura 22-2 y Figura 23-2, y puede ser ocasionada por

el cierre muy rápido de una válvula o apagado de una bomba, en el caso de un cierre rápido de una válvula ocurre la sobrepresión debido a que como el fluido está circulando esta posee una cantidad de energía cinética, en la cual si es interrumpida abruptamente esta energía se transforma en energía de presión, lo cual se suma a la presión que ya tenía el fluido en sus inicios. Un caso similar es el de la bomba cuando se apaga, solo que cuando ocurre este escenario, el fluido retorna debido a la gravedad, con lo que además de poseer energía cinética, también posee energía potencial debido a la altura, que a su vez se convierte también en energía de presión.



Figura 23- 2: Tubería fisurada producida por sobrepresión
Fuente: Rotoplas, 2020



Figura 24- 2: Tubería fracturada producida por sobrepresión
Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

2.11.2 Depresión

La depresión es ocasionada por generarse presiones de vacío dentro de las tuberías, esto sucede por el desplazamiento del fluido en dirección contraria contra una pared como la de una válvula cerrada, generando así un espacio vacío. Es un producto del fenómeno del transitorio hidráulico, que ocurre después de la sobrepresión, como esta es una onda que regresa, entonces genera el

fenómeno de depresión. Este fenómeno es culpable de las deformaciones de las tuberías en forma de que estas se ven aplastadas como en la Figura 24-2, esto ocurre debido a que como se generan presiones de vacío o presiones negativas en la parte interna de las tuberías, y como externamente está actuando la presión atmosférica, se generan fuerzas capaces de deformar y aplastar a las tuberías, siendo la presión interna de estas incapaces de soportar dichas fuerzas.



Figura 25- 2: Representación de una tubería deformada por depresión
Fuente: Plastic Pipe Facts™

2.11.3 Cavitación

La cavitación se refiere a un tipo de corrosión que ocurre en las tuberías, producto de un cambio de estado del fluido que circula internamente por las mismas (generalmente agua), esto sucede cuando se presentan depresiones en algún punto de la tubería. Las burbujas que se generan por el cambio de estado del fluido implosionan generando un golpe de alta energía de partículas que golpean a las paredes de las tuberías que se van desgastando, generando cavitación como la Figura 25-2.

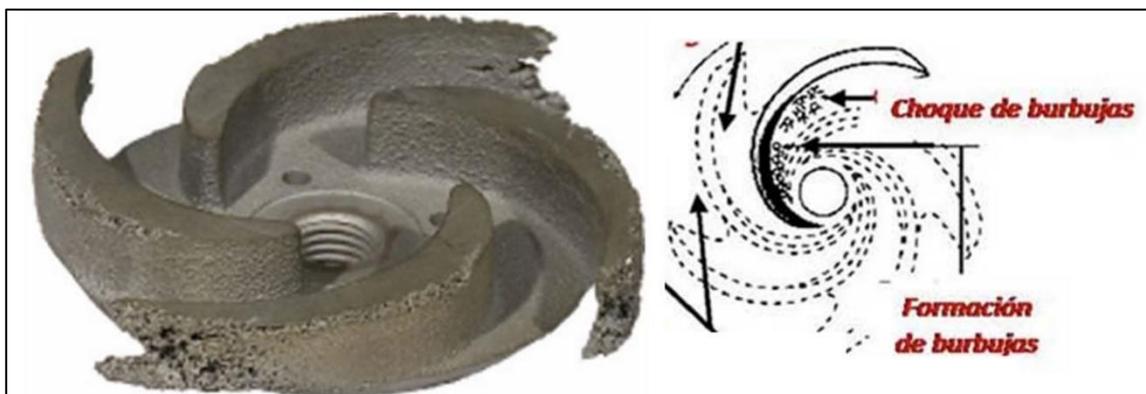


Figura 26- 2: Rodete de una bomba cavitada (Izquierda), formación de burbujas (Derecha)
Fuente: Sanz R.

Se conoce que el punto de ebullición del agua es de 100°C a 1 Atm de presión, pero este punto de ebullición puede ser diferente. Se conoce también que el agua llega a su punto de ebullición a una temperatura menor de 100°C si esta se encuentra con una presión menor a la atmosférica. Dicho esto, el fenómeno de la cavitación puede ocurrir por el agua a un punto de ebullición de presiones muy bajas y con una temperatura baja (temperatura ambiental). Como nota la cavitación puede deberse también a la presencia de burbujas de aire en el fluido que también pueden llegar a implosionar.

2.11.4 Elementos de Protección para el Fenómeno Transitorio

2.11.4.1 Válvulas de Alivio

Las válvulas de alivio son válvulas de seguridad que actúan dejando escapar fluido cuando ocurre el fenómeno de sobrepresión, esto ocurre únicamente para dicho fenómeno y no ayuda en contra del fenómeno de la depresión, esta válvula se puede instalar en sistema dependiendo sobre todo del fluido que se esté transportando, por ejemplo si es agua no habría problema con el derrame que deja escapar esta válvula, pero si se trata de un fluido como el crudo, o derivados de petróleo, no se recomienda utilizarla debido a la contaminación que generaría a sus alrededores.



Figura 27- 2: Válvula de alivio para sobrepresiones
Fuente: Helbert

2.11.4.2 Válvulas de Ventosa

Las válvulas de ventosa son válvulas también de seguridad que actúan dejando ingresar aire hacia las tuberías para mitigar la depresión, al ocurrir el fenómeno de la depresión la válvula da paso al ingreso de aire para evitar la deformación de la tubería. Estas válvulas solo sirven en contra de los fenómenos de depresión, pero no en contra de los fenómenos de sobrepresión. Existen de varios tipos, pero los más conocidos son los de un efecto y doble efecto. Las válvulas de ventosa de un efecto son las que permiten el ingreso de aire, pero no la salida de esta, dejando el aire

atrapado en las tuberías y que podría ocasionar cavitación, en cambio las de doble efecto son aquellas que permiten tanto el ingreso como la salida de aire.



Figura 28- 2: Válvula de ventosa para depresiones
Fuente: Helbert

2.11.4.3 Chimenea de Equilibrio

Las chimeneas de equilibrio podrían considerarse como tuberías abiertas y verticales de gran altitud, estos elementos ayudan a disipar ambos fenómenos, sobrepresión y depresión. Actúan de tal forma que cuando la onda de sobrepresión es generada, el líquido se eleva por la chimenea y esta no debería desbordarse debido a la gran altura que este dispositivo posee, y cuando le toca el turno a la depresión este líquido es devuelto a la tubería principal, bajando por la chimenea, y así con un movimiento de vaivén, hasta que finalmente el fluido se estabiliza por la disipación de la energía de la onda del transitorio hidráulico.



Figura 29- 2: Chimenea de equilibrio
Fuente: Qurren

2.11.4.4 Tanque Hidroneumático

Un tanque hidroneumático es un dispositivo compuesto de 2 etapas separadas por un diafragma, donde la primera etapa se llena de agua, mientras que la segunda está llena de aire. Este es un dispositivo que alivia también los dos fenómenos de sobrepresión y depresión. Actúa de manera tal que cuando ocurre la sobrepresión el tanque en la primera etapa se llena de líquido mientras que en la segunda etapa al aire se comprime, y cuando la onda del transitorio regresa para generar depresión el tanque desaloja el líquido empujado por el aire comprimido de la segunda etapa y repitiendo el proceso hasta que se disipe por completo la energía de la onda del fenómeno del transitorio hidráulico.



Figura 30- 2: Tanque hidroneumático de 500L
Fuente: Aqua System

2.12 Allievi

Allievi es un software libre desarrollado por el departamento de Gestión Sostenible del Agua Urbana (ITA) de la Universitat Politècnica de Valencia (UPV). Este software es uno de los pocos programas capaces de realizar simulaciones de flujos transitorios, y como se había mencionado antes, este fenómeno es de mucha importancia tomarlo en cuenta en sistemas de transporte de fluidos de gran caudal y altura. Además, Allievi es un programa que se encuentra en el idioma español y trabaja en el sistema operativo de Windows. El programa de Allievi posee muchos elementos para la simulación del flujo transitorio, además de las tuberías y bombas que se los puede llamar elementos más comunes, como lo son los canales abiertos, turbinas, entre otros. Allievi al ser un software desarrollado por el mismo departamento (ITA) de la (UPV), tiene una conexión con el software Epanet, pudiendo importar redes desde allí para analizar flujos transitorios (ITA UPV, 2020).

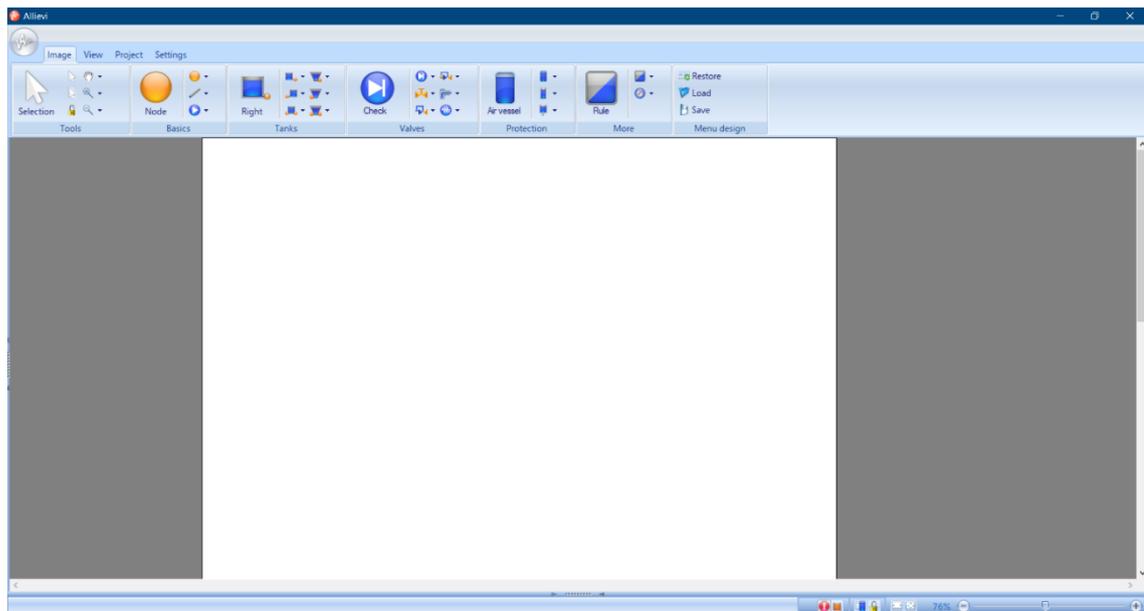


Figura 31- 2: Interfaz del programa Allievi

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

2.13 Elementos para Control de un Sistema de Bombeo

En la actualidad existen muchos sistemas de bombeos que han sido llevados a un proceso de automatización, ya sea desde un área agrícola hasta un área alimenticia; dejando atrás los sistemas manuales, todo esto con el fin de poder conseguir sistemas más eficientes, más higiénicos y seguros; sin embargo, se debe tener en cuenta que toda automatización es susceptible a una falla en algún momento ya sea por un mal manejo del sistema o una mala conexión en la instalación; para esto se debe precaver de elementos de protección, que son dispositivos encargados de detener el sistema para evitar accidentes y un deterioro en las máquinas o equipos. La mayoría de los sistemas hoy en día se han visto renovados por sistemas eléctricos debido a una alta optimización en tiempo, en el mejorar un producto y el abastecimiento completo en cuanto a una fuente de alimentación, pero también se debe tener en cuenta que existen desventajas que presentan un sistema automatizado como la disminución de ocupaciones, altos costos en determinados materiales y capacitación de personal en tecnología y maquinaria actual, entre otros.

2.13.1 *Autómatas Programables*

Los autómatas programables son unidades electrónicas que poseen un CPU integrado, que se encarga de realizar tareas programadas por el usuario. Los autómatas programables pueden ser modulares, esto significa que tiene la capacidad de adaptarse a más unidades o dispositivos electrónicos e inclusive mecánicos según se requiera las necesidades. Estos autómatas programables tienen la capacidad de recibir como entregar señales analógicas y digitales. Según sean las necesidades los autómatas programables pueden tener un gran número de entradas y

salidas, pudiendo llegar a tener alrededor de 2000 entradas/salidas si estos autómatas de los conecta en Rack, y que sería controlado por una única unidad de CPU (Balcells, 2014).



Figura 32- 2: PLC SIMATIC S7-1200 CPU
Fuente: SIEMENS

2.13.2 Sensores

En la industria automática debe existir siempre la relación o comunicación entre un fenómeno físico y un dispositivo electrónico, esta comunicación se relaciona con señales eléctricas dadas, que van desde señales analógicas hasta llegar a señales digitales. Una señal analógica viene a ser tomada mediante un fenómeno físico como es la presión, temperatura, ambiente, humedad, entre otros donde sus rangos se ven afectados por cuestiones físicas, meteorológicas, ubicación geográfica. Una señal digital es aquella que se ve transformada por una señal continua emitida por un receptor, esta señal debe ser procesada, codificada para llegar en mostrarse en un emisor digital como pantallas led o un dispositivo electrónico (computadora, teléfonos). La transformación entre las dos señales se hace mediante relaciones matemáticas como por ejemplo transformadas de Laplace, para llevar la señal digital lo más cercano posible a los valores reales de un fenómeno físico, como se muestra en la Figura 31-2 (Hidalgo, 2019).

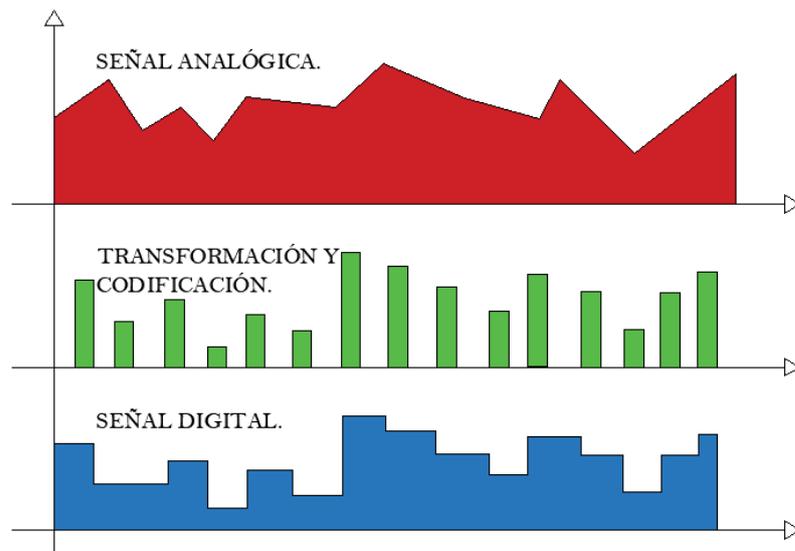


Figura 33- 2: Transformación de una señal analógica a señal digital
Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

Para cada variable física (temperatura, presión, movimiento, entre otro), existe sensores que son adaptables para medir estas variables y transformarlas a un determinado valor real (Thomazini, 2005).

- Sensor de velocidad
- Sensor mecánico
- Sensor de pulso
- Sensor fotoeléctrico
- Sensor térmico
- Sensor de ultrasonido
- Sensor fototransistor
- Sensor capacitivo
- Sensor inductivo
- Sensor de posición

2.13.3 Actuadores

Son dispositivos o equipos capaces de realizar una acción o movimiento final, al momento de recibir una señal de un codificador del sistema, estos tipos de actuadores mediante la recepción de una corriente o voltaje transforman su energía eléctrica en movimiento mecánico, ya sea este lineal o angular. Al igual sus mediciones o respuestas en dispositivos electrónicos lo realizan según la intensidad de corriente que recibe de un codificador (Wendling, 2010). Este tipo de dispositivos pueden ser:

- Bombas
- Válvulas
- Motores
- Cilindros
- Relés
- Entre otros

2.14 Elementos de Protección Eléctrica

Tanto para conectar eléctricamente las instalaciones de potencia, como las unidades de control, deben estar conectadas con todas las medidas de seguridad normalizadas o recomendadas por los fabricantes de los equipos, además deben estar constituidas por elementos que protejan de sobrecargas y ruidos como señales electromagnéticas externas. Principalmente todos estos dispositivos o unidades deben estar conectadas a tierra (conectadas a jaulas o partes metálicas de área suficientemente grandes para disipar energías) y tanto la instalación de potencia principal como la de las unidades de control deben ser independientes. Además, así mismo las fuentes de alimentación también deben ser independientes para ambos sistemas distintos de potencia y unidades de control, esto es debido para evitar las fluctuaciones de sobrecargas, ya que son más sensibles en las unidades de control.

Las instalaciones de potencia deben contar con protecciones como cajas termomagnéticas (PIA), disyuntores diferenciales y/o fusibles según sea el caso, con el fin de evitar sobrecargas y posibles corto circuitos en dichas instalaciones.

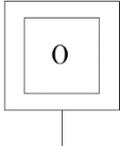
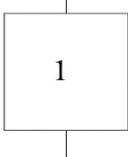
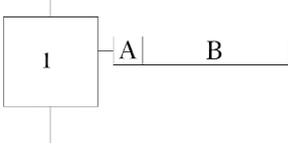
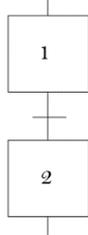
Las unidades de control deben estar instalados primeramente dentro de cajas metálicas, para aislarlos de ruido o señales electromagnéticas parasitas, esto se consigue bajo el efecto de jaula de Faraday, también se debe tener un muy buen ordenamiento y distribución de los cables, desarrollando el correcto diagrama de conexión de los mismos. Se debe tener en cuenta también las recomendaciones de instalación de las unidades de control por parte de los fabricantes (Balcells, 2014).

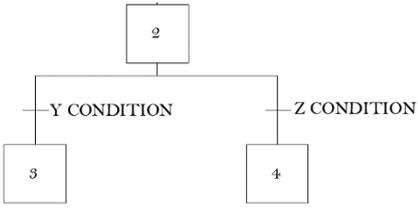
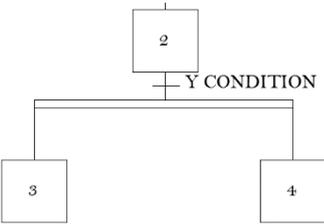
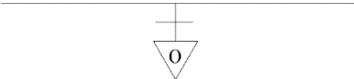
2.15 Lenguaje de Programación (GRAFCET)

Un lenguaje de programación o también llamado algoritmo es una secuencia de pasos que llevan a tener un determinado ciclo, donde su inicio, secuencia de pasos, y final llevan un determinado orden y simbología que es muy necesario aplicar. GRAFCET es uno de los existentes lenguajes de programación para la automatización, ya sea desde una pequeña empresa hasta grandes industrias. Es una secuencia de pasos que mediante diagramas lógicos llegan a formar un sistema completo autómatas. Sus siglas GRAFCET que llevan por nombre Grafico Funcional de Control

de Etapas y Transiciones hacen que sus sistemas o programaciones lleguen a ser diagramas completamente entendibles dentro de áreas laborales con la ventaja de mostrar a cualquier persona y esta no necesariamente necesita estar capacitada. Para mejorar el sistema de GRAFCET es necesario que la persona se ayude con gráficos que permitan ir dando paso por paso la automatización de un sistema; en GRAFCET existen partes que deben irse teniendo mucha precaución para una correcta automatización, como el inicio, la derivación en secuencia paralelo o independiente de pasos, las acciones lógicas en un determinado paso (inmediata, transitiva, continua), esto para ayudar entender cualquier sistema que se encuentre automatizado en un empresa y el final de la programación. (Gandhi, 2019) Todos estos diagramas lógicos se los explicara de una mejor forma en la Tabla 16-2.

Tabla 16- 2: Diagramas lógicos generales

DIAGRAMAS LOGICOS GENERALES EN GRAFCET	
	El primer diagrama siempre será el inicial donde su diagrama de doble línea expresa el inicio del ciclo.
	Este tipo de diagrama expresa la acción que se va a realizar dentro del sistema.
	<p>En el diagrama A, se coloca el periodo de tiempo que se va a realizar la acción en el tipo B.</p> <ul style="list-style-type: none"> - N (acción hasta el siguiente paso) - S (inicio de acción hasta el grafico R) - R (reset, final de la acción S)
	Transición de una acción a otra, intermedio la condición a cumplir para pasar a la siguiente acción del sistema.
	Colocar la condición del sistema a cumplir, tomando en cuenta las variables de entrada.

	<p>OR: Acción individual del sistema, donde se realiza más de una acción en el sistema, cumpliendo cada una su condición individual.</p>
	<p>AND: Acción grupal del sistema, varios actuadores realizaran diferente acción.</p>
	<p>El final de todo algoritmo se termina en esta simbología que indica el inicio completo del ciclo.</p>

Fuente: (TDOC-99, [sans date])

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

2.16 Codesys

Es un software de automatización que ofrece muchas ventajas a los autómatas debido a que su facilidad en la programación ayuda agilizar y obtener resultados en empresas o industrias que necesitan de servicios automatizados, iniciando con un lenguaje muy básico de programación hasta resultados visualizados en 3D, Codesys ha implementado grandes avances en la programación y automatización de equipos como bombas, motores, turbinas, etc. Su interfaz dentro del software como en la Figura 32-2, permite que diversos lenguajes de programación puedan vincularse con este software (InfoPLC, 2020).

- Ladder Diagram (LD)
- Function Blog Diagram (FBD)
- Structure Text (ST)

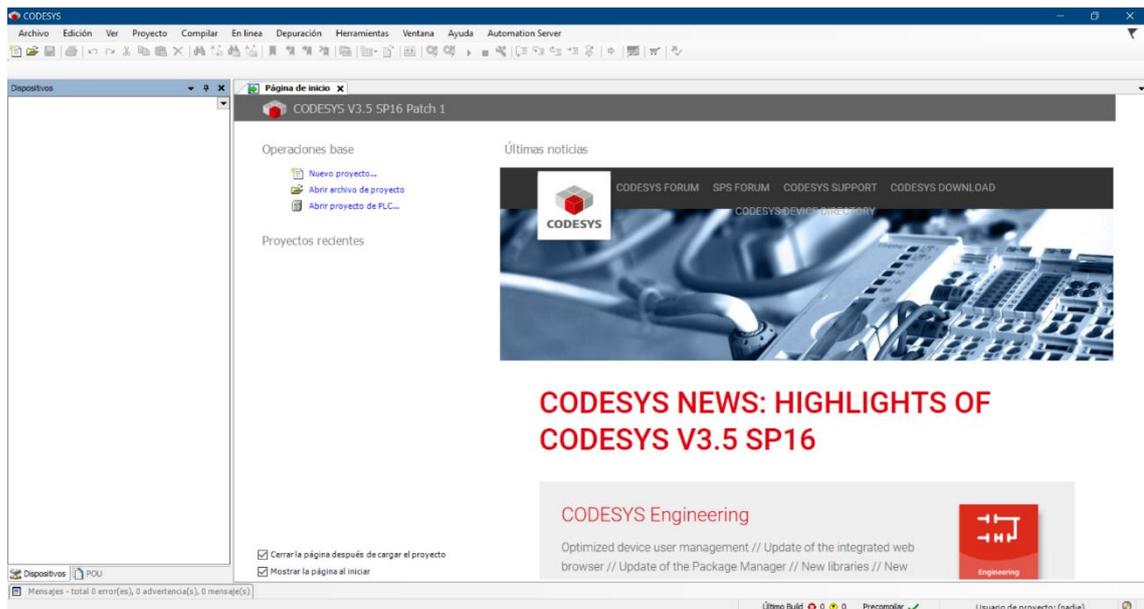


Figura 34- 2: Interfaz de Codesys

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

En general, Codesys implementa cada año nuevas tecnologías y avances en su software permitiendo tener resultados más exactos y menos complicados a comparación de otros softwares, y dando gran acogida en todo el mundo debido a que su adquisición es gratuita, con lenguajes generales como el inglés, español, alemán y francés; en su página www.codesys.com.

2.17 San Vicente de Lacas

Ha sido determinada la necesidad de un sistema de bombeo para el riego de áreas de cultivo dentro de la comunidad de San Vicente de Lacas, por lo que es necesario la descripción de ciertos datos descriptivos como la localización, principales actividades económicas y su población.

2.17.1 Características Generales

San Vicente de Lacas, es una comunidad rural que se encuentra localizada a unos 2850 m.s.n.m., sus límites se encuentran al norte por la parroquia San Gerardo, al sur por el Rio Chambo, al este por la parroquia Cubijies y al oeste por la ciudad de Riobamba, todas pertenecientes a la provincia de Chimborazo, su localidad general se determina a unos 5 km del este de la ciudad de Riobamba. La comunidad de San Vicente de Lacas alberga alrededor de 1540 habitantes, en los cuales su porcentaje del 58,9% son mujeres y 41,1% son hombres (Mejía Lara, 2019).

2.17.2 Principales Actividades Socioeconómicas

La comunidad de San Vicente de Lacas se encuentra en la actualidad dirigida por un Grupo democrático oriundo de la comunidad, para poder observar las necesidades y poder llevarlas a la

capital de la provincia, como es en este caso la ciudad de Riobamba (Orozco, ChaucaChicaiza, 2012).

Las principales actividades económicas más principales dentro de la comunidad son:

- Agricultura.
- Comercialización de productos agrícolas.
- Personal artesanal y de construcción.

CAPITULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

En el capítulo III se realiza el análisis de método de diseño para el sistema de bombeo, como también las necesidades y requerimientos que deben ser considerados para un abastecimiento adecuado de agua a la comunidad. Dentro de este análisis cabe resaltar las indicaciones y consideraciones que SENAGUA indica para sistemas de agua de riego, por lo que son de gran importancia en el presente trabajo. Las recomendaciones que entrega la Secretaría de Agua tienen como objetivo mejorar el sistema de distribución de agua existente, para esto se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- El proyecto debe partir de una demanda real de abastecimiento presentada por las organizaciones a beneficiarse.
- El proyecto debe ser integral, es decir, considerar todas las intervenciones y aspectos técnicos y productivos que garanticen la sostenibilidad de este y contribuyan al desarrollo de las áreas en cuestión.

Teniendo en cuenta estas recomendaciones se procederá con el diseño del sistema de bombeo que abastecerá a la comunidad con el caudal y presiones requeridas que benefician al desempeño de la principal actividad económica de la comunidad San Vicente de Lacas.

3.1 Descripción del abastecimiento presente en la comunidad

La comunidad de San Vicente de Lacas ubicado a 5 km kilómetros de las afueras de la ciudad de Riobamba en dirección al cantón Penipe, cuenta con un abastecimiento de agua potable que la empresa EP EMAPAR (Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba) entrega a sus habitantes, pero debido a que este sector se desarrolla en el área agrícola, su abastecimiento para cultivos y desarrollo de animales se ve en bajo nivel dado que el uso de agua es exclusivo como agua potable, sin embargo, se ha conseguido obtener un abastecimiento extra de agua, la cual ingresa a un caudal de 10 L/s, sin embargo su corte de agua al pasar las 16H00 del día, se cierra por disposición, es por esto que autoridades han visto la necesidad de implementar un nuevo sistema de abastecimiento de agua para cultivos, por lo cual, el Gobierno Municipal de Riobamba y el Gobierno Provincial brindan su apoyo en la creación de una planta de tratamiento de aguas residuales; esta idea pretende que los habitantes de la comunidad reúsen el agua que es desechada por medio de drenajes, lavaplatos, entre otros, aprovechar lluvias de temporadas y suplir hectáreas de cultivos y abastecimiento completo para la crianza de animales (RIOBAMBA, 2018).

3.2 Datos requeridos por la comunidad San Vicente de Lacas (caudal y altura)

Autoridades representantes de la comunidad San Vicente de Lacas han emprendido el proyecto de un sistema de bombeo con el fin de regar hectáreas de terrenos usadas para cultivos de primera necesidad, para lo cual han provisto de datos necesarios:

Tabla 1- 3: Requerimientos de caudal y Altura para la comunidad San Vicente de Lacas

DATOS	VALORES NUMÉRICOS
Caudal	Mayor a 5 litros / segundos.
Altura del punto más alto (medida dada por el topógrafo)	28 metros de altura
Longitud en la trayectoria hacia el punto más alto	292 metros

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

3.3 Calidad y estado del agua filtrada procedente de la planta de tratamiento

El agua de riego para cosechas se caracteriza por contener propiedades nutricionales exclusivas para plantas y un determinado número de propiedades que se deben analizar antes de ser usada y ser expuestas al medio ambiente, el agua que se obtiene luego de ser tratada mediante piscinas de plantas de césped alemán, cuya alimentación y ambiente se ven en el color de sus hojas, muestra una respuesta positiva, por lo cual el agua de la fuente se expone a un estudio de análisis fisicoquímico y microbiológico, donde se verifican muchos parámetros como los físicos y químicos vistos en el apartado 2.1. Para un correcto análisis, se debe tener en cuenta que una de las propiedades como el tamaño de sólidos internos sea cuidadosamente determinado, para tomar decisiones en los materiales que constituyen un equipo de bombeo.

3.4 Alternativas a ser implementadas en un sistema de bombeo

En la creación de un sistema de bombeo, para trasladar el fluido de una planta de tratamiento se requiere la implementación de un equipo que nos ayude a satisfacer dicha necesidad. Para lograrlo se han aceptado tres tipos de equipos disponibles para su utilización, iniciando en primer lugar con recolección de datos y parámetros de la comunidad, los parámetros de diseño para el sistema como: caudal, altura, longitud, entre otros. A continuación, se obtienen velocidades de fluido y diámetros de tuberías iniciales para el diseño del sistema, para esto se requiere datos de proveedores de tuberías y accesorios a instalar en el sistema y que se encuentren disponibles dentro del mercado ecuatoriano, posteriormente se determinan pérdidas primarias y secundarias que producen los accesorios seleccionados, finalmente se debe seleccionar una bomba que satisfaga los requerimientos del sistema según los valores calculados. Con esto se lleva el diseño a una simulación en los programas EPANET y ALLIEVI, para verificar el correcto dimensionamiento y trazado de trayectoria de la instalación del sistema de bombeo.

Para el sistema de bombeo diseñado se han tomado como opciones a una bomba sumergible, una bomba centrífuga con motor eléctrico (ME), y una motobomba con motor de combustión interna (MCI); se realiza un análisis de ponderación para poder elegir la mejor opción en función de los aspectos más importantes analizados conjuntamente con la comunidad de San Vicente de Lacas:

Tabla 2- 3: Análisis de ponderación de equipos de bombeo

Factores	A	B	C	D	E	F	Resultados
Importancia	30%	30%	15%	10%	10%	5%	
Bomba sumergible	1	2	5	2	3	4	2,35
Bomba Centrífuga (ME)	3	2	5	2	4	3	3
Moto bomba (MCI)	5	5	2	5	3	2	4,2
A: Costo de adquisición B: Costo de equipos adicionales C: Eficiencia				D: Abastecimiento eléctrico E: Mantenimiento F: Ruido			
1: Mínimo valor de calificación				5: Máximo valor de calificación			

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

Según el resultado, la opción más indicada es aquella bomba que lleva el motor de combustión interna (MCI), puesto que el factor económico es un aspecto muy importante para la comunidad.

3.5 Parámetros de diseño del sistema de bombeo

Tabla 3- 3: Parámetros de diseño del sistema de bombeo

Datos	Valor	Unidad
Temperatura	15	°C
Densidad	1000	Kg/m ³
Viscosidad Cinemática	1,15E-06	m ² /s
Densidad Total	1000	Kg/m ³
Presión 1	1	atm
Presión 2	1	atm
Altura 1	0	m
Altura 2	28	m
Caudal de diseño	7	L/s
Gravedad	9,8	m/s ²
Velocidad de diseño	1,2	m/s
Longitud de succión	5,9	m
Longitud descarga	286	m
Rugosidad (PVC)	0,02	mm

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

3.6 Selección de tuberías

Para realizar la selección de la tubería que se utiliza en el sistema de bombeo se deben analizar y tener en cuenta varios factores que pueden afectar la integridad de este. Los principales factores que se deben tomar en cuenta para la selección de la tubería son los siguientes:

- Ubicación Geográfica
- Tipo de Suelo
- Condiciones climáticas en la zona
- La instalación se realizará mediante una excavación o al aire libre
- Tipo de Fluido que transporta

Debido a la ubicación geográfica, las condiciones climáticas que se presentan en la comunidad San Vicente de Lacas, se puede concluir que la mejor elección para el material de la tubería debe ser PVC ya que este material es el más adecuado para el transporte de agua, además que muestra buenas características frente a la corrosión, relación resistencia/peso, fácil de instalar y posee un menor costo que otros tipos de tuberías.

3.6.1 Velocidad de diseño

De acuerdo con la bibliografía revisada, para realizar el diseño de sistemas de bombeo con líquidos de baja viscosidad, se ha optado por elegir una velocidad de fluido de diseño de $1,2 \text{ m/s}$. Esto siendo una velocidad relativamente baja por tratar de minimizar en lo posible las pérdidas de fricción entre el fluido, las tuberías y demás componentes del sistema. Recordando que entre mayor sea la velocidad del fluido mayor cantidad de pérdidas se generan por rozamiento. Esto se puede ver en la ecuación 15, donde el valor de pérdida obtenida es directamente proporcional y al cuadrado de la velocidad de flujo.

3.6.2 Material de tuberías

En cuanto al material de las tuberías se opta por colocar tuberías de Policloruro de Vinilo (PVC), debido a su practicidad, accesibilidad y bajo coste en el mercado en comparación con las tuberías metálicas. Estas tuberías de PVC son más livianas, haciendo más fácil su transporte e instalación. Estas tuberías además se unen con otras sin necesidad de accesorios como uniones, ya que tienen un extremo más ensanchando donde se inserta la otra tubería (ver Figura 1- 3) y se los sella mediante un pegamento propio de tuberías PVC. Y como último dato las tuberías PVC son más resistentes en cuanto a corrosión se refiere ante las tuberías metálicas.



Figura 1- 3: Tubería PVC para transporte de fluido a presión
Fuente: (Pavco, 2020)

3.6.3 *Diámetro de tubería*

El diámetro requerido de la tubería para el diseño de un sistema de bombeo se lo puede calcular a partir de la ecuación de continuidad ya que esta relaciona tres parámetros fundamentales que son: Caudal, Velocidad de diseño y Diámetro interno de la tubería, expresando el diámetro en función de las otras dos variables obtenemos la siguiente expresión:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \quad (37)$$

Con esta expresión y haciendo uso de los datos de caudal y velocidad de diseño antes mencionadas se obtiene el valor del diámetro interno de la tubería que resulta ser:

$$D = 0,08618 \text{ m}$$

$$D = 86,18 \text{ mm}$$

Como resultado se obtiene un diámetro de $86,18 \text{ mm}$, el cual puede ser comparado en catálogos de tuberías PVC comerciales y disponibles en el mercado para seleccionar la más adecuada, la cual se detallan en la Tabla 9- 2. Entre las tuberías que más se aproximan en cuestión de su diámetro interno tenemos la denominación 90. Dónde 90 hace referencia al diámetro externo de la tubería. Para finalmente seleccionar la tubería adecuada dentro de las variaciones en la tubería de 90, dependerá de la resistencia de esta, la cual, a su vez, depende de la presión interna que se genere en esas tuberías. Entre mayor resistencia se requiera en la tubería, mayor también será el espesor de esta.

3.6.4 *Espesor de tubería (Resistencia de la tubería)*

Par poder determinar el espesor de la tubería que está ligada por la resistencia de la tubería, se lo realiza mediante el cálculo de la presión estática que se genera por columna de agua en el sistema. Es importante mencionar que esta presión no será la real que se generará internamente en las tuberías, esto se debe a que aún falta considerar toda la energía que el sistema pierde en forma de presión que se producen por longitud de tubería y tipo y número de accesorios. La bomba debe generar una presión capaz de vencer la presión estática como la calculada y en adición con las pérdidas que estos implementos generan, por lo que en realidad la presión máxima interna en las tuberías sería la que impulsa la bomba justo a la salida de esta. Esto lo hace ser un cálculo iterativo puesto que se debe determinar también que accesorios se usarán y cuanta pérdida generan, además que en las tuberías de igual forma se debe saber de antemano su diámetro interno para poder determinar las pérdidas primarias. Puesto esto se debe seguir con el procedimiento de determinar pérdidas primarias y pérdidas secundarias para posteriormente realizar un recálculo para finalmente saber con qué tipo de tubería se trabajará realmente.

En la ecuación de la presión estática, que indica la determinación de la energía potencial, se lo divide por el volumen, obteniendo la siguiente expresión:

$$P_e = \delta gZ \quad (38)$$

En esta expresión, se deben reemplazar todos los datos conocidos como la densidad del fluido, la gravedad y la altura comprendida desde la superficie del agua en el reservorio hasta el punto más alto donde desemboca el agua. Obteniendo como resultado:

$$P_e = 274\,400 \text{ Pa}$$

$$P_e = 0,27 \text{ MPa}$$

Con la presión de 0,21 MPa se puede dirigir a la Tabla 9- 2 para poder elegir de entre las tuberías disponibles aquella que posea una resistencia a la presión mayor a la determinada. En la tabla se puede observar que la tubería tentativa que se escogería para realizar una primera iteración de cálculo es la que tiene una presión de trabajo, y consecuentemente un espesor y diámetro interno de:

$$P_t = 0,5 \text{ MPa}$$

$$e = 1,8 \text{ mm}$$

$$D = 86,4 \text{ mm}$$

3.7 Determinación de accesorios

En este punto se estudia los factores que se involucran dentro del sistema, como son: derivación o trayectoria de tuberías y seguridad del equipo, es así que basándonos en el código ecuatoriano de la construcción CPE INEN 005-9-1 normativa que rige el estudio y diseño de sistema de agua en poblaciones se logra determinar los accesorios requeridos para el correcto funcionamiento del sistema de bombeo a diseñar, siendo estos los siguientes elementos que se muestran en la Tabla 4- 3:

Tabla 4- 3: Accesorios utilizados para el sistema de bombeo

Accesorio	Importancia
Succión	
Válvula de pie	Gracias a la estructura de este accesorio, las impurezas quedan atrapadas en las rejillas permitiendo que el agua que ingresara a la bomba no tenga en su contenido elementos solidos o elementos que ocasionen averías en el sistema.
Válvula de bola	El efecto de este accesorio en el sistema ayuda a que un determinado mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo en el momento del ensamble o desarmado.
Junta Universal	El ensamble de un sistema lleva un determinado proceso que en muchas ocasiones toman mucho tiempo llegar a un determinado punto cuando sucede una anomalía, este accesorio se coloca en lugares estratégicos para un desmontaje rápido del sistema.
Filtro de limpieza	La pureza de un fluido se encuentra en mayor proporción cuando este lleva un procedimiento correcto y entre más pueda tratarse más puro será, por lo cual la adición de un filtro permitirá que el fluido llegue con menos impurezas al impeller de la bomba.
Manómetro de medición negativa	Para la medición y mantenimiento en un determinado tiempo del sistema, este accesorio permitirá observar si se encuentra completamente sellado o si presenta alguna fisura en el sistema.
Codos	La utilidad de este accesorio es primordial debido a la ubicación de ingreso de la bomba y la toma de agua no siempre será en una trayectoria lineal, este accesorio será de importancia ya que ayudará a que el sistema pueda conectarse sin tener problemas en la trayectoria
Descarga	
Junta de expansión	Su respectiva estructura permite que la conexión entre succión y descarga no presente complicaciones, su deformación permite que este tipo de conexiones se realicen con éxito, pero también, ayuda a eliminar las vibraciones presentes en un determinado equipo para evitar averías en las tuberías o que existan daños en ella.
Manómetro	Permite medir la presión interna de trabajo que genera la bomba permitiendo al operador seguridad para operar el sistema sin permitir algún tipo de anomalía.
Válvula Check	Similar en succión, no permite el paso de sobrepresiones o depresiones permitiendo que el sistema se encuentre seguro y operando.
Válvula de compuerta	Este tipo de válvula permite un sellado más preciso, es muy eficiente en el caso de derivación a otro ramal.
Codos	Similar en succión, ayuda en las conexiones según la trayectoria del sistema.
Uniones	En algunos tipos de tuberías donde existe la necesidad de realizar las conexiones unas con otras, esta necesidad es resuelta por uniones, sin embargo, otro tipo de tuberías vienen con un extremo ensanchado para poder permitir la unión de otra tubería.
Junta universal	Permite el montaje o desmontaje de un sistema de tuberías en menor tiempo.
Te	Permite la bifurcación de un caudal o una rama matriz para el correcto abastecimiento en diferentes puntos del sistema

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

3.8 Selección de bomba

Aquí es en donde ya se determinan las pérdidas primarias y secundarias, para posteriormente determinar la altura de bombeo. Se determina la ecuación resistiva del sistema y ecuación característica de la bomba para poder intersecarlas. Se verifica el factor NPSH y finalmente se determina la eficiencia con la que esta bomba está trabajando.

3.8.1 Pérdidas primarias

El contacto directo entre el fluido y la superficie interna de la tubería, además del movimiento que se genera en las capas internas del fluido y el tipo de flujo de este, provocan que la energía hidráulica almacenada se disipe al recorrerla, estas pérdidas de presión reciben el nombre de pérdidas primarias. Estas pérdidas primarias dependen principalmente de la longitud de la tubería instalada, cabe mencionar que se debe considerar todos los tramos de tubería existentes en el sistema, es así como el cálculo de las pérdidas primarias dentro del sistema de bombeo se puede realizar utilizando la ecuación (15).

Los fabricantes o proveedores de tuberías para transporte de fluidos determinan que las pérdidas primarias en tuberías son determinables gracias a un factor de pérdidas típico de cada tubería siempre en función de una determinada distancia o longitud de esta. Plastigama proporciona datos de factores de pérdidas en sus tuberías de acuerdo con el diámetro nominal de estas. Este factor provoca que la ecuación (15) sufra un cambio obteniendo la siguiente expresión:

$$H_{P1} = F_p L_{PVC} \quad (39)$$

Dónde:

F_p es el factor de pérdida por fricción

L_{pvc} es la longitud de la tubería a analizar

Este método de cálculo para las pérdidas primarias agiliza el diseño de los sistemas de bombeo, siempre y cuando el fabricante o proveedor de las tuberías facilite estos factores de pérdida. Los factores entregados por el fabricante se presentan en la Tabla 5-3.

Tabla 5- 3: Factores de pérdida por fricción en tubería PVC

D nominal (mm)		90				110			
Caudal		0,63MPa		1 MPa		0,63MPa		1,25MPa	
lps	gpm	Pc	V	Pc	v	Pc	v	Pc	v
4	63	0,56	0,69	0,57	0,7				
4,5	71	0,69	0,77	0,71	0,78				
5	79	0,84	0,86	0,86	0,87				
5,5	87	1	0,95	1,02	0,96				
6	95	1,18	1,03	1,2	1,04	0,44	0,69	0,45	0,7
7	111	1,57	1,21	1,6	1,22	0,59	0,81	0,6	0,81
8	127	2	1,38	2,05	1,39	0,75	0,92	0,77	0,93
9	143	2,49	1,55	2,55	1,56	0,93	1,04	0,96	1,05
10	159	3,03	1,72	3,1	1,74	1,14	1,15	1,17	1,16

Fuente: Plastigama, 2020

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

Dónde:

Pc es la pérdida de carga en mca por cada 100 m de tubería

V es la velocidad en m/s

Al seleccionar el valor de 1,57 mca cabe recordar que al seleccionar el valor de 1,57 mca este valor debe ser modificado para poder ser utilizado obteniendo entonces:

$$F_p = 0,0157 \frac{mca}{m}$$

A continuación, se determina la longitud total de PVC que según los parámetros de diseño se han establecido.

$$L_{PVC} = 292 m$$

Reemplazando la longitud total de la línea de PVC en la ecuación (15), se obtiene un primer valor para pérdidas primarias en succión.

$$H_{P1} = 4,58 mca$$

3.8.2 Pérdidas secundarias

El análisis de las pérdidas secundarias se enfoca en el estudio de las pérdidas de energía en forma de presión debido a los accesorios instalados en el sistema de bombeo. Para poder analizar las pérdidas en el sistema diseñado en primer lugar debemos conocer todos los accesorios que van a ser instalados, así como también las pérdidas de carga que cada uno de estos provoca. Los accesorios instalados en el sistema y las pérdidas de carga se presentan en las tablas:

Tabla 6- 3: Accesorios instalados en la tubería de succión

Accesorios	Número de accesorios	Longitud equivalente (Le) [m]
Codo estándar a 90°	3	3,9
Codo estándar a 45	2	1,8
Te	2	2,5
Válvula de Bola	1	40
Filtro en Y	1	77,65
Uniones Universales	1	4,43
Válvula de pie	1	5,33

Fuente: Autores, 2020

Realizado por: Autores, 2020

Tabla 7- 3: Accesorios instalados en la tubería de descarga

Accesorios	Número de accesorios	Longitud equivalente (Le) [m]
Codo estándar a 90°	1	3,9
Codo estándar a 45	11	1,8
Te	1	2,5
Válvula de Compuerta	1	0,9
Válvula Check	1	9,3
Junta de Expansión	1	4,43
Uniones Universales	2	4,43
Válvula de Compuerta	1	0,9
Válvula de Bola	1	40

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

El proceso para determinar el valor de las pérdidas va de acuerdo con revisado en el Capítulo II de este estudio, es así que el proceso de cálculo se lo puede resumir de la siguiente manera: la pérdida total provocadas por los accesorios son equivalentes al producto de la pérdida por accesorio y el número de accesorios instalados $L_{eT} = \sum(N^{\circ}accesorios * Le)$ tanto para los tramos de succión y de descarga. Es así como el valor de las pérdidas secundarias en la succión es igual a 147,72 m, mientras que en la descarga tienen un valor de 90,59 m. Obteniendo así el valor total de las pérdidas secundarias en el sistema igual a 238,31 m.

Para poder determinar la pérdida total provocada por los accesorios se utiliza la ecuación (16), obteniendo así el valor de la pérdida de carga H_{P2} provocada por los accesorios en todo el sistema de bombeo cuyo valor es de:

$$H_{P2} = 3,91 \text{ mca}$$

3.8.3 Altura de bombeo

Para determinar la altura de bombeo se debe realizar un balance de energía mecánica, que parte de la utilización de la ecuación (14). La energía añadida es la altura de bombeo " H_B " que se está

buscando, mientras que los términos “ H_{P1} ” y “ H_{P2} ” corresponden a la energía perdida, siendo las pérdidas primarias y pérdidas secundarias respectivamente. La energía extraída no se lo incluye para este caso, ya que para el sistema que se está diseñando, no se colocará ninguna clase de máquina que extraiga energía como una turbina. Por lo tanto, tomando todas estas consideraciones la ecuación queda como la siguiente:

$$\frac{P_a}{\rho g} + \frac{v_a^2}{2g} + z_a + H_B - H_{P1} - H_{P2} = \frac{P_b}{\rho g} + \frac{v_b^2}{2g} + z_b \quad (40)$$

De la ecuación anterior obtenida se toma en cuenta que la superficie del nivel de líquido en el punto (a) está abierta a la atmosfera, y en el punto (b) el líquido desemboca en un pequeño reservorio de distribución que también estará abierta a la atmosfera, por lo que estos valores como presiones manométricas equivalen a 0. La velocidad de descenso del líquido en el reservorio del punto (a) es bastante baja e imperceptible de movimiento, por lo que se lo puede considerar casi nula. El término que contiene a la velocidad en el punto (b), se lo omitirá, ya que este término posee un valor es muy cercano a 0, y para más simplicidad en el cálculo. También se opta por tomar el nivel de referencia 0 de altura geográfica en el punto (a), por lo que el termino de “ z_a ” es igual a 0. Con estas consideraciones se eliminan los términos mencionados y despejando la ecuación en función de “ H_B ”, esta queda de la siguiente manera:

$$H_B = z_b + H_{P1} + H_{P2} \quad (41)$$

Al reemplazar los valores (algunos determinados previamente) en esta nueva ecuación la altura de bombeo y tomando en cuenta que el valor de la velocidad en el punto (b), es la misma velocidad que lleva en el interior de las tuberías a la descarga, esta queda con un valor de:

$$H_B = 36,49 \text{ mca}$$

3.8.4 Recálculo para determinación de espesor de tubería

Una vez determinada las pérdidas primarias y perdidas secundarias que tendría el sistema, se pueden estimar de mejor manera la presión interna que se genera en las tuberías. Dicho de otra manera, esta presión es la misma que se determina haciendo un balance de energía mecánica, siendo así la presión de la altura de bombeo. Como la bomba debe generar una presión lo suficiente para poder vencer la altura geográfica más las perdidas por fricción que generan las tuberías y los accesorios de una instalación, pues esa es la presión máxima que se genera apenas sale el fluido de la bomba, por lo que la tubería que se conecta a ella debe ser capaz de soportar esa presión. Por lo tanto, teniendo una presión interna de las tuberías de:

$$H_B = 36,49 \text{ mca}$$

Y realizando la transformación de esta presión a unidades de Mega Pascal (MPa), mediante la utilización de la ecuación (37), se obtiene:

$$P_i = 0,36 \text{ MPa}$$

Con esta presión se puede determinar un nuevo espesor de tubería, dirigiéndose a la Tabla 9- 2, teniendo en cuenta que a su vez se tendrá que recalcular la velocidad de flujo, y que esta repercute también en los demás parámetros como las pérdidas primarias, pérdidas secundarias, entre otros. En este caso se puede observar que la presión a pesar de que se incrementó, esta no supera la presión de trabajo de la tubería previamente seleccionada, por lo que esta sería la alternativa que se instalaría en el sistema de bombeo.

3.8.5 Selección de bomba

Para la selección de la bomba con motor de combustión interna (MCI), el procedimiento es igual que como las bombas con motor eléctrico. Lastimosamente en el mercado ecuatoriano, las bombas con MCI no poseen información como la curva característica de la bomba, entre otros parámetros de importancia, por lo que se tuvo que basar en características como el rango de alturas de bombeo y el rango de caudales de operación. En este caso con el procedimiento que se ha venido llevando se ha podido determinar una altura de bombeo, con un caudal impuesto las cuales son:

$$H_B = 36,49 \text{ mca}$$

$$Q = 7 \text{ L/s}$$

Y según la bomba que se pretende seleccionar este posee un rango de alturas entre (10 ~ 50) m y un rango de caudales de (1 ~ 10) L/s, por lo que con los datos que se tiene de altura y caudal, se evidencia que estos entran dentro de los rangos. Por lo tanto, la bomba seleccionada es aquella que posee un motor de marca Vanguard que es una submarca del fabricante de motores de combustión interna Estadounidense Briggs & Stratton con las siguientes características:

Tabla 8- 3: Características del MCI

Tipo de motor	En V, 4 tiempos, refrigerado por aire
Número de modelo	3854
Potencia (HP) @ 3600 RPM	21,0
Cilindraje (cc)	627
Rango de alturas [m]	10 ~ 50
Rango de caudales [L/s]	1 ~ 12
Diámetro [mm]	75,5
Carrera [mm]	70,0
Capacidad de Aceite [L]	1,7
Relación de compresión	8,4:1
Dimensiones (LxWxH) [mm]	318x407x449
Peso [Kg]	35,0

Fuente: (Vanguard)

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

3.8.6 Ecuación y curva resistiva del sistema

La ecuación resistiva del sistema, parte de la ecuación (40), en esta ocasión la altura de bombeo pasa a tener la designación de “ H_R ” por distinguir de la ecuación característica de la bomba la cual tiene el sufijo “ B ”. Por lo tanto, la ecuación queda:

$$H_R = z_b + F_P L_{PVC} + \frac{8fL_{eac}Q^2}{\pi^2 g D^5} \quad (42)$$

Esta ecuación sirve para determinar la curva resistiva del sistema reemplazando todos los valores, sin reemplazar únicamente la variable de caudal “ Q ”, para la cual se le van generando valores tal que, la ecuación (42) entregue un valor de “ H_R ” correspondiente a dicha variable “ Q ”. Una vez reemplazados los datos obtenemos la siguiente expresión:

$$H_R = 28 + 4,583 + 79834,086 * Q^2 \quad (43)$$

Sumando los términos de mismo grado la expresión obtenida es la siguiente:

$$H_R = 32,582 + 79834,086 * Q^2 \quad (44)$$

Para una mejor noción del valor de caudal “ Q ” que se asigna, se opta por reemplazar esta variable en unidades de $[L/min]$, para lo cual, al término que tenga la variable “ Q ” se lo multiplica por el factor $(3,6 \times 10^{-9})$ que viene siendo el factor de conversión de $[m^3/s]$ a $[L/min]$. Finalmente, la ecuación resistiva del sistema queda:

$$H_R = 32,582 + 2,218 \times 10^{-5} * Q^2 \quad (45)$$

La curva característica de la bomba parte de la ecuación (45), por lo que se forma una tabla donde se designe valores de caudal “ Q ” para que se arroje un valor de altura “ H_R ” como la siguiente:

Tabla 9- 3: Valores de altura “ H_R ” en función del caudal “ Q ”

Q [L/min]	Hr [m]
0	32,58
40	32,62
80	32,72
120	32,90
160	33,15
200	33,47
240	33,86
280	34,32
320	34,85
360	35,46
400	36,13
440	36,88
480	37,69
520	38,58
560	39,54
600	40,57

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

Con esta tabla se puede realizar la representación gráfica o también conocida como curva resistiva del sistema. Dónde el eje de las abscisas toma los valores del caudal “ Q ” y el eje de las ordenadas toma los valores de la altura “ H_R ”. Por lo tanto, la curva queda representada de la siguiente manera:

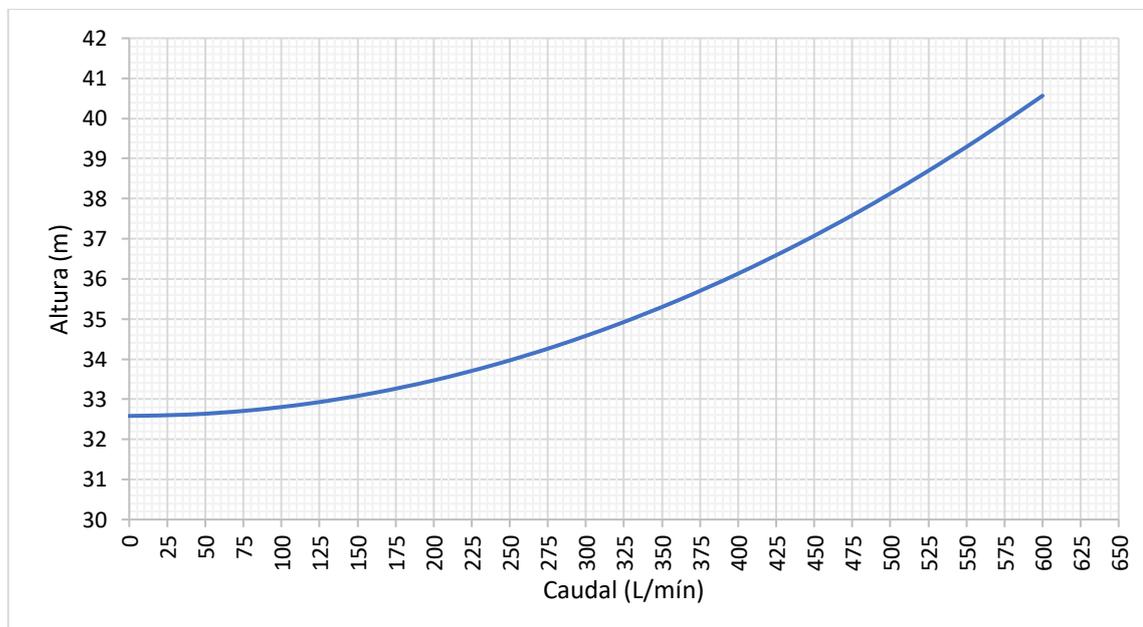


Gráfico 1- 3: Curva resistiva del sistema

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

3.8.7 Ecuación y curva característica de la bomba

La curva característica de la bomba dependiendo de la marca viene proporcionada por el fabricante, por lo que solo restaría obtener la ecuación de esta, en un proceso que consiste en leer una serie de puntos de esta curva y linealizar. La herramienta de Microsoft Excel es útil para realizar estas tareas. Pero también está el caso donde no se provee de esta información, y como está denotado en el apartado 3.8.5 que para el caso de una bomba con motor de combustión interna (MCI) en el mercado ecuatoriano no se tiene esta información. Por lo que el procedimiento para poder obtener esta curva y posteriormente obtener su ecuación, se lo realizará una vez que la bomba este instalada y en operación en el sistema. Con instrumentos como manómetro y un flujómetro de ultrasonido se puede tomar varios puntos de presión y caudal al momento de abrir o cerrar una válvula de compuerta. Por lo que esta información será presentada posteriormente.

3.8.8 Cabeza de succión (NPSH)

La cabeza de succión o “Net Positive Suction Head” (NPSH) trata sobre la diferencia que existe entre la presión del líquido ubicado en el eje a impulsar y la presión de vapor que el líquido tiene a la temperatura de bombeo, es decir, es la presión mínima que debe existir a la entrada de la bomba para que durante su funcionamiento no se produzcan fenómenos de cavitación, la cual representa una de las características más importantes al momento de seleccionar una bomba.

Dentro de los sistemas de bombeo podemos distinguir dos tipos de NPSH los cuales son: NPSH disponible y NPSH requerido, para que una bomba funcione correctamente y sin problemas de cavitación se debe cumplir siempre la siguiente condición de funcionamiento:

$$NPSH_a > 1,1 NPSH_r \quad (46)$$

Además de esto en el caso de una motobomba como la seleccionada para el sistema se deben cumplir con ciertas condiciones de utilización como las siguientes:

- El líquido para bombear debe ser limpia y no agresiva para el sistema mecánico
- La bomba no puede trabajar en seco en ninguna circunstancia
- La motobomba debe ser instalada en una superficie plana
- La máxima aspiración práctica estará entre ± 7 m

Es decir, directamente como dato del fabricante del tipo de bomba seleccionada la condición más importante para que el sistema no se vea afectado por situaciones de cavitación es aquella que limita la máxima aspiración, por lo que la bomba no debe estar situada a una altura donde esta condición no se cumpla. Gracias a esta condición se puede asegurar el correcto funcionamiento

del sistema de bombeo y este a su vez no presente problemas que involucren cavitación (Moya, 2017).

3.8.9 Eficiencia de la bomba

En un sistema, el funcionamiento de la bomba está en función de las características del equipo y del sistema diseñado, es por esto que se debe tener un claro conocimiento sobre el punto de funcionamiento óptimo del sistema de bombeo ya que esto influye de gran manera en la eficiencia del equipo seleccionado para realizar el trabajo. Para poder conocer con exactitud el punto de funcionamiento óptimo del sistema se deben construir las curvas que muestran la altura total entregada por la bomba en función del caudal, así como también la curva característica del sistema (curva resistiva). Para poder calcular la eficiencia del equipo seleccionado, se hará uso de la ecuación (36) en donde el valor de la eficiencia obtenida es de:

$$\eta = 16\%$$

3.9 Comprobación con el Software Epanet

Se pretende corroborar que los cálculos realizados mediante el procedimiento establecido, con las ecuaciones adecuadas, son correctas, asemejándose al valor de la altura de bombeo. Por lo cual, en el Software Epanet se realiza el esquema de la instalación, respetando longitudes de tubería, diámetros de tubería, materiales de tubería, cotas de nivel, perdidas de accesorios, entre otros. Obteniéndose así de la siguiente forma:

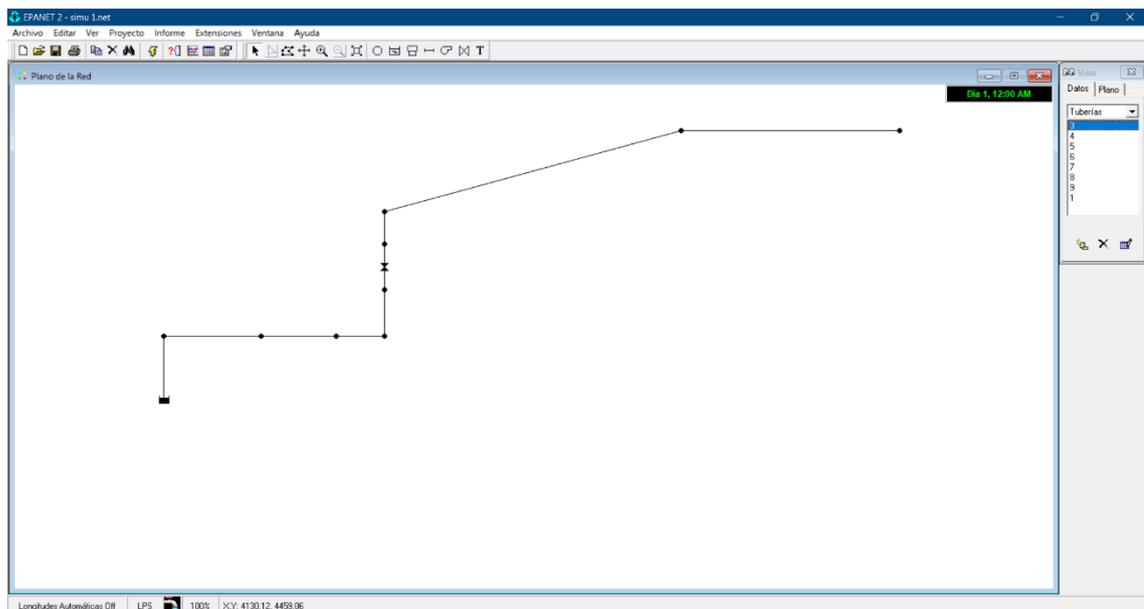


Gráfico 2- 3: Esquema inicial en el Software Epanet

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

Como se pretende obtener la altura de bombeo, se realiza el esquema en donde el punto de descarga debe arrojar el valor de la altura de bombeo que requiere el sistema, para esto se introduce el valor del caudal de 7 L/s como demanda base. También es necesario acotar, que la única válvula ingresada en la simulación contiene todos los coeficientes de resistencia de todos los accesorios del sistema, dando un valor de $Le = 238,31 \text{ m}$, que para determinar un valor de K general, se lo hace mediante la ecuación (22), que arroja un valor de $K = 54,48$. Al momento de simular, arroja un mensaje de advertencia, que indica que se generan presiones negativas, para este caso al no tener un elemento de bomba ingresado en la simulación, pero el objetivo es ver las presiones que se van acumulando en un flujo desde el reservorio hasta el punto de descarga, que involucra la altura geográfica referida en el lugar, junto con las pérdidas primarias (longitud de tubería) y pérdidas secundarias (pérdidas por accesorios), que viene siendo la altura de bombeo. Por lo tanto, al simular, la altura de bombeo arroja un valor como se ve en la siguiente gráfica:

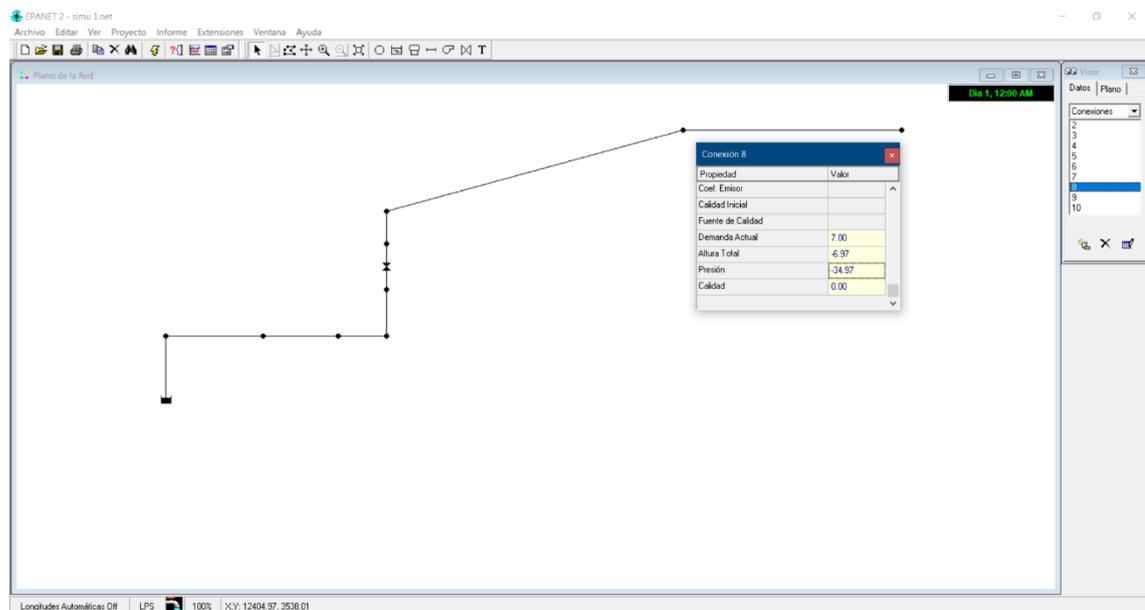


Gráfico 3- 3: Simulación de altura de bombeo en Software Epanet

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

El valor que se muestra es de:

$$H_{Bs} = 34,97 \text{ m}$$

Como se había dicho el valor se muestra en una cifra negativa, por lo explicado anteriormente, porque según la simulación el fluido va en dirección contraria a la que debe ir en la realidad. A esto se le puede hacer una comparación y determinar su error de variación, para ello se requiere de la siguiente ecuación:

$$Error = \frac{|V_R - V_C|}{V_R} * 100 \quad (47)$$

Donde:

V_R : es el valor real

V_C : es el valor calculado

Reemplazando los valores de $H_{BC} = 36,49 \text{ m}$ como valor calculado V_C y a $H_{BS} = 34,97 \text{ m}$ como valor real V_R , se obtiene un valor de error de:

$$\text{Error} = 4,34\%$$

Por lo tanto, este valor está dentro de los parámetros permitidos de error de desviación, ya que este valor esta debajo del 10% y da validez a metodología y cálculos determinados.

3.10 Control del sistema de bombeo

La automatización del proceso de bombeo es necesaria debido a la demanda que se genera en la comunidad, así como también para poder extender la vida de los equipos y maquinaria utilizadas, se pretende implantar un sistema de control para el uso del sistema de bombeo, con el cual el proceso será automatizado ya que la demanda de agua para la comunidad requiere que el equipo funcione siempre cuando el reservorio se encuentre lleno o en un nivel determinado por un operador. Para lograr esto se realiza un sistema de control de bombeo en un lenguaje autómatas o diagrama de flujo, con el que por medio de representaciones gráficas se podrá comprender, cual es el comportamiento del sistema lógico y así lograr documentar cada una de las etapas secuenciales que formarán parte del proceso de bombeo. El lenguaje de programación tanto de Grafset como de Ladder se encuentran en los ANEXOS A y B. Los elementos y materiales que se tomarán en consideración para la programación son los siguientes:

- Depósito de agua
- Tuberías
- Bomba
- Sensores de nivel (reed switch)
- Botonera
- Selector de dos posiciones
- Cable de conexiones
- PLC
- Guarda motor
- Breaker diferencial

Para poder mejorar la interfaz entre el usuario y el sistema de control se realiza un diagrama de flujo de datos que nos ayuda a tener una mayor comprensión del proceso de control. El diagrama de flujo es el siguiente:

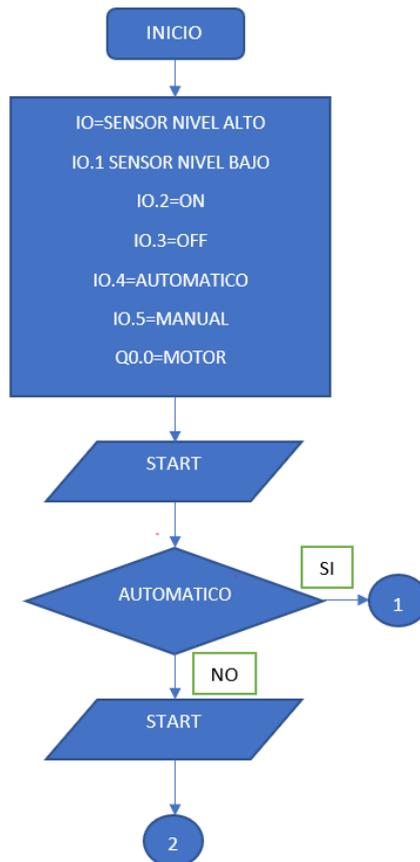


Gráfico 4- 3: Diagrama de flujo P0
 Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

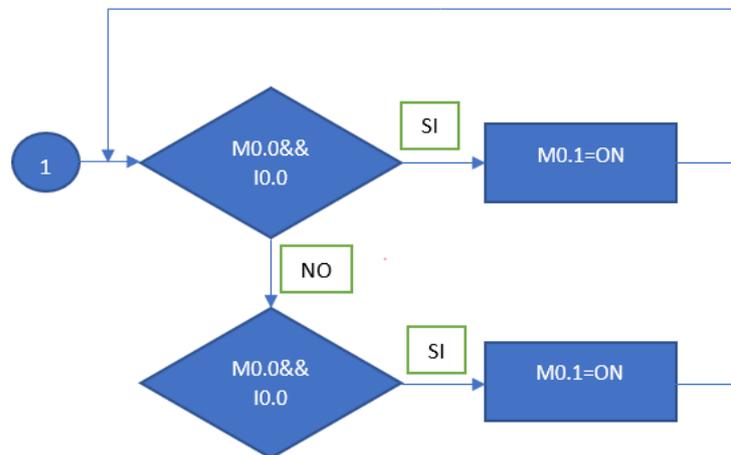


Gráfico 5- 3: Diagrama de flujo P1
 Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

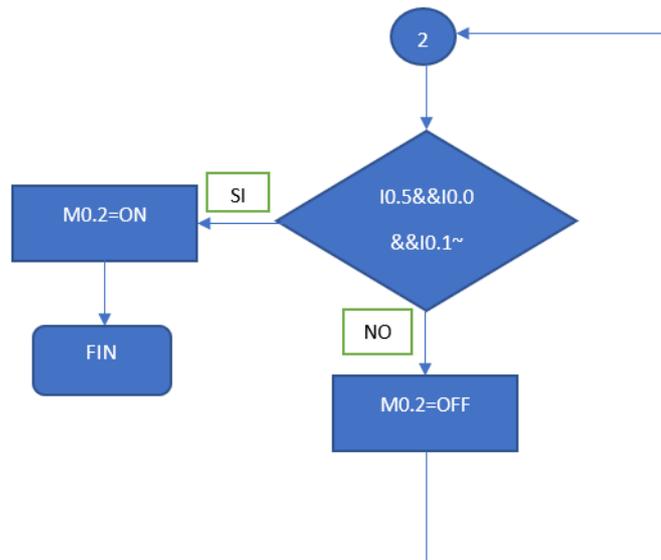


Gráfico 6- 3: Diagrama de flujo P2
 Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

3.10.1 Funcionamiento del diagrama de flujo

El selector posee dos posiciones manual y automático. Al escoger automático y presionar el botón ON el depósito de agua se llena hasta que el sensor de nivel alto lo detecte, entonces es cuando enciende la bomba extrayendo el líquido, hasta que el sensor de nivel bajo se active, y es ahí cuando la bomba se apaga. Todo el proceso es cíclico y se repite de manera automática.

Al escoger manual y presionar el botón ON el depósito de agua se vaciará hasta que el sensor de nivel bajo lo detecte, sin importar el nivel que este posea ya sea alto medio; excepto en bajo que es cuando la bomba se apaga.

3.11 Elementos propuestos para una instalación automatizada

Finalmente queda como propuesta para una futura instalación automatizada del sistema de bombeo, ubicar dos sensores de nivel, uno en la parte superior del reservorio, y otro en la parte inferior o fondo del reservorio, estos enviarían una señal a un PLC logo, el cual, estaría previamente programado como se ve a detalle en el punto anterior, este a su vez manda la señal a un relé, que estaría conectado con el motor de arranque de la bomba, este PLC decide si mandar o no la señal de encendido en función de las señales de los sensores de nivel. Además de los elementos de control principales, estos deben estar dentro de una jaula de aislamiento de ruido de señales, con protecciones como una caja termomagnética y con un correcto manejo de cables eléctricos.

3.12 Implementación del sistema de bombeo en San Vicente de Lacas

La implementación del sistema de bombeo en la comunidad lleva un proceso que consiste en planificar y generar los planos para ver el ruteo de la tubería. Una vez hecho esto se procede a excavar por donde van las tuberías, se construye una caseta para protección de la bomba y accesorios como válvulas. Se instalan las tuberías, accesorios y la bomba y finalmente se realizan pruebas de funcionamiento.

3.12.1 Planificación y generación de planos

Tanto para la planificación como para la generación de planos es necesario considerar todos los aspectos que rigen dicho proceso, para esto, el servicio ecuatoriano de normalización junto con el código ecuatoriano de construcción son los entes que regulan y proveen los códigos y normativas a seguir para el estudio y diseño de sistemas de agua potable. De acuerdo con la normativa entre los planos que deben ser presentados tenemos: planos generales de las instalaciones y de instrumentación y control.

La generación de los planos es de gran importancia para dar seguimiento al proceso de diseño, como también al proceso de mantenimiento del sistema de bombeo, para así poder asegurar que toda la información necesaria sobre el proceso de diseño se encuentre siempre disponible y al alcance del personal encargado. La generación de planos es un proceso muy importante y estos pueden ser revisados en el apartado de anexos de este documento. (Ver ANEXO C)

3.12.2 Excavación

La excavación de los canales por donde son instaladas las tuberías de PVC que distribuyen el fluido son realizadas con maquinaria pesada, estas son realizadas de acuerdo con las dimensiones especificadas en los planos correspondientes, para esto se debe tener en cuenta el diámetro seleccionado para la tubería de transporte a instalar para así determinar la profundidad de la zanja a excavar. Para la tubería seleccionada la profundidad de excavación es de 90 cm, esta profundidad puede variar debido a condiciones del suelo, es así que si el tipo de suelo por donde será transportada la tubería tiene demasiado material rocoso se excava 10 cm adicionales para rellenarlos con material aprobado por el fiscalizador para que la tubería disponga de una superficie acolchonada para ser apoyada.



Figura 2- 3: Excavación para el ruteo de tubería
Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

3.12.3 Construcción de caseta para la bomba

La construcción de una caseta para el equipo de bombeo es de vital importancia debido a que esta protege de cualquier efecto dañino que se pueda encontrar en el ambiente. La comunidad San Vicente de Lacas es el encargado de planificar el diseño y construcción de la caseta para la protección de los equipos instalados. Para proteger el equipo de una manera adecuada se recomienda seleccionar el material correcto para la construcción de este elemento de protección, ya que el equipo deberá trabajar constantemente para proveer de agua a la comunidad, construir esta caseta se vuelve de vital importancia, por lo que al igual que para la generación de planos se tendrá que realizar el estudio para la construcción de este, de acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción se debe realizar un estudio topográfico para poder reconocer el tipo de suelo, estudio que es realizado para la excavación de los canales para la tubería, además también se tiene que generar planos para esta caseta, la construcción de esta y cualquier otra estructura viene normalizada bajo la norma NEC-SE-DS en dónde se consideran todos los factores que influyen en el diseño de este tipo de estructuras. Debido a que dentro de la caseta se va a ubicar una bomba

con motor de combustión interna (MCI), se diseña la misma con una pequeña chimenea para escape de los gases de combustión.



Figura 3- 3: Caseta de la bomba
Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

3.12.4 Instalación de tuberías y accesorios

La instalación de las tuberías se la realiza por la ruta de excavación. Los tubos que finalmente se adquieren tienen en uno de sus extremos un ensanchamiento con el fin de que se pueda insertar otro tubo consecutivamente, uniéndolos con un pegamento propio de tuberías. Esto permite descartar los accesorios de unión para juntar los tubos. Se ocupan válvulas de compuerta en las dos ramificaciones, con el fin de direccionar el flujo entre una ramificación y otra, además este tipo de válvulas al ser de cierre lento evita sobrepresiones que generalmente ocurren en válvulas de cierre rápido. También como elementos de protección de la bomba, se ocupan válvulas check y una junta de expansión, que se encarga de absorber cualquier vibración que pueda producirse para proteger el sistema de bombeo. Además, como es evidente, se ocupa una válvula de pie, cuya función es parecida a la de la válvula check, pero esta está ubicada justo en el inicio de la toma de succión y que se encarga de que el agua que está dentro de la tubería no regrese al reservorio. Finalmente se utiliza un manómetro de caratula sumergida en glicerina, para que la aguja no tienda a tambalear, cuando las vibraciones de la bomba son transmitidas.

Debido al limitado presupuesto que la comunidad de San Vicente de Lacas contaba en ese momento, no fue posible por parte de la directiva que la conforma, adquirir los accesorios como: dos válvulas de tipo bola, y un filtro en Y. Pese a que se fue comunicado a la directiva de la comunidad lo que conllevaría no colocar dichos accesorios, en tanto al mantenimiento y vida útil de la bomba se refiere, por tanto, la directiva de la comunidad firma un oficio en el cual, asume

la responsabilidad de los problemas que esto conllevaría. El oficio se encuentra anexo a este trabajo de titulación (ANEXO D).



Figura 4- 3: Tuberías y accesorios en la caseta de la bomba

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

3.12.5 Instalación de la bomba

La motobomba es instalada dentro de la caseta, se monta sobre una base metálica y se lo aísla con cauchos de neopreno, con el fin de evitar las vibraciones que se generan en la motobomba. Debido a que las tomas tanto de entrada como de salida de la bomba son de 90 mm , no es necesario utilizar ningún tipo de accesorio como reducciones, sin embargo, a los tubos tanto de entrada como de salida de la motobomba, se deben realizar unas roscas, con un tipo de rosca NTP para poder ser acoplados a la misma. Para que el equipo pueda ser puesto en marcha, es necesario realizar un proceso de encebado (llenar de agua hasta que el rodete quede sumergido) del mismo, el equipo cuenta ya con un orificio que permite realizar dicho procedimiento. A continuación, la

instalación es revisada para constar de que no existen fugas de agua ni filtraciones de aire que puedan afectar al funcionamiento del sistema.



Figura 5- 3: Motobomba instalada en el sistema

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

3.12.6 *Parámetros finales de operación*

Debido a la ausencia de los accesorios propuestos que se explicó en el punto 3.12.4, se realiza un recalcu de todo el sistema sin estos accesorios mencionados, y siguiendo el mismo procedimiento impuesto en el Capítulo III, la nueva altura y caudal para una selección de la bomba es de:

$$H_B = 33,26 \text{ mca}$$

$$Q = 7 \text{ L/s}$$

Por lo que la bomba previamente seleccionada aún sigue estando dentro de estos nuevos parámetros. Los valores finales de operación que se muestran en este punto, caudal y altura, son valores que son medidos, una vez ya instalado y realizado pruebas de funcionamiento del sistema de bombeo. La presión que genera la bomba es medida mediante un manómetro sumergido en glicerina y el caudal es medido mediante un flujómetro ultrasónico, el cual fue solicitado a la facultad de mecánica de la ESPOCH. Las mediciones se realizan con todas las precauciones del caso además de las recomendaciones que en los manuales de los instrumentos estaban especificados. Finalmente, el punto de operación real de la bomba es de:

$$H_{Br} = 33,74 \text{ mca}$$

$$Q_r = 6 \text{ L/s}$$

Además, se realizan más mediciones entre caudal y altura de bombeo, variando la apertura de la válvula de compuerta hacia el cierre. Con esta técnica se puede obtener la curva característica de

la bomba, por lo cual, ya se puede obtener finalmente el punto de operación calculado y poder ser comparado con el punto de operación real obtenido. Para esto y con la ausencia de los accesorios mencionados se tiene una nueva curva resistiva del sistema cuya ecuación y grafica son las siguientes:

$$H_R = 32,582 + 2,218 \times 10^{-5} * Q^2 \quad (48)$$

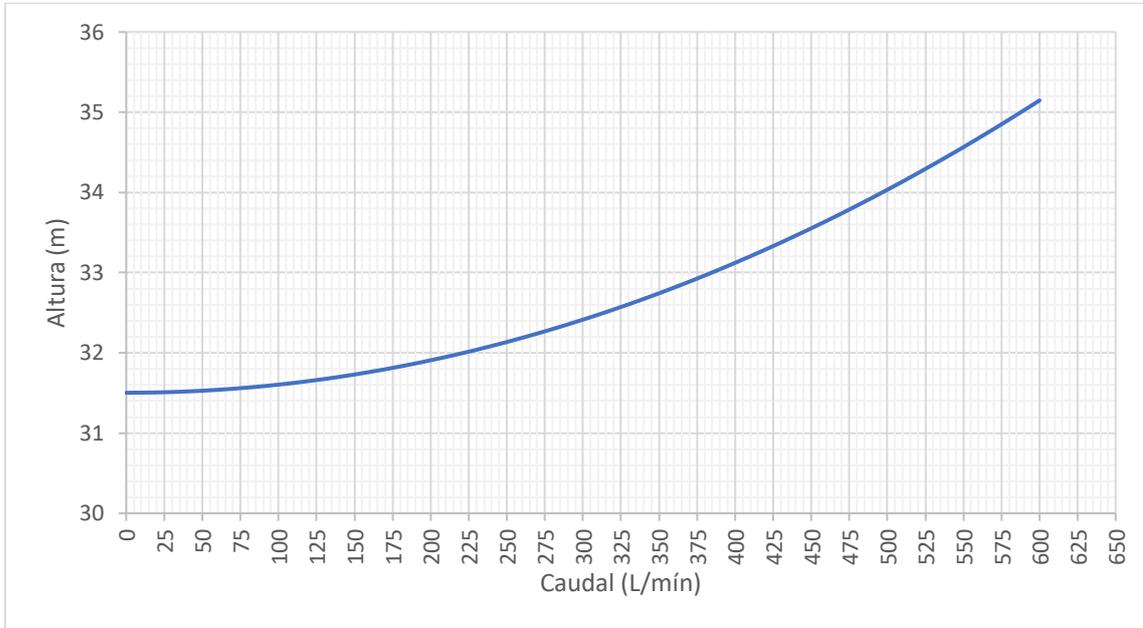


Gráfico 7- 3: Curva nueva resistiva del sistema

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

Para poder determinar la curva característica de la bomba, se debe realizar un proceso de linealización con los datos obtenidos de la medición que son los siguientes:

Tabla 10- 3: Datos para curva característica de la bomba

Número de vueltas	H (PSI)	H (KPa)	H (mca)	Q (L/S)	Q (L/min)
0	48,00	330,95	33,74	6,00	360,00
2	49,00	337,84	34,44	5,98	358,80
4	49,00	337,84	34,44	5,96	357,60
6	49,50	341,29	34,79	5,91	354,60
8	50,00	344,74	35,14	5,75	345,00
10	52,00	358,53	36,55	4,21	252,60
11	56,00	386,11	39,36	1,45	87,00
12	58,00	399,90	40,76	0,00	0,00

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

Realizado por: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

De la tabla anterior tomando como eje de las abscisas el caudal en (*L/min*) y de las ordenadas la altura en (*mca*), se obtiene la curva característica de la bomba, la cual es la siguiente:

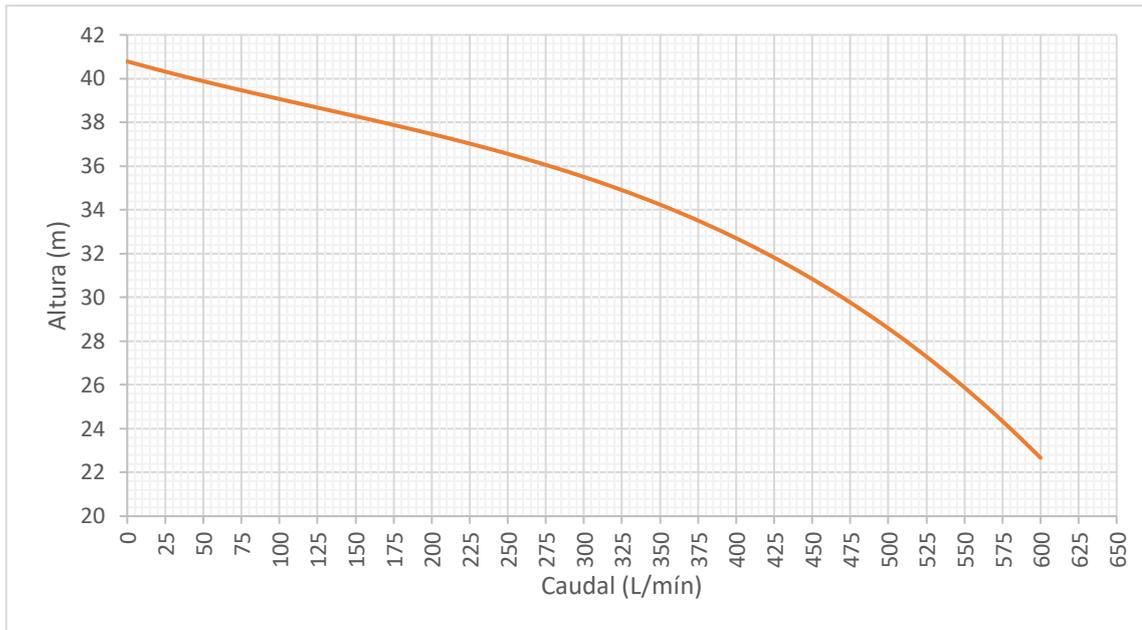


Gráfico 8- 3: Curva característica de la bomba

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

Además, del proceso de linealización, se puede obtener la ecuación característica de la bomba, con una precisión $R^2 = 0,986$, la cual es la siguiente:

$$H_B = 8x10^{-08} * Q^3 + 3x10^{-05} * Q^2 - 0,0194 * Q + 40,788 \quad (49)$$

Intersecando la curva resistiva del sistema y la curva característica de la bomba, se puede determinar el punto de operación calculado, el cual se muestra en la siguiente gráfica:

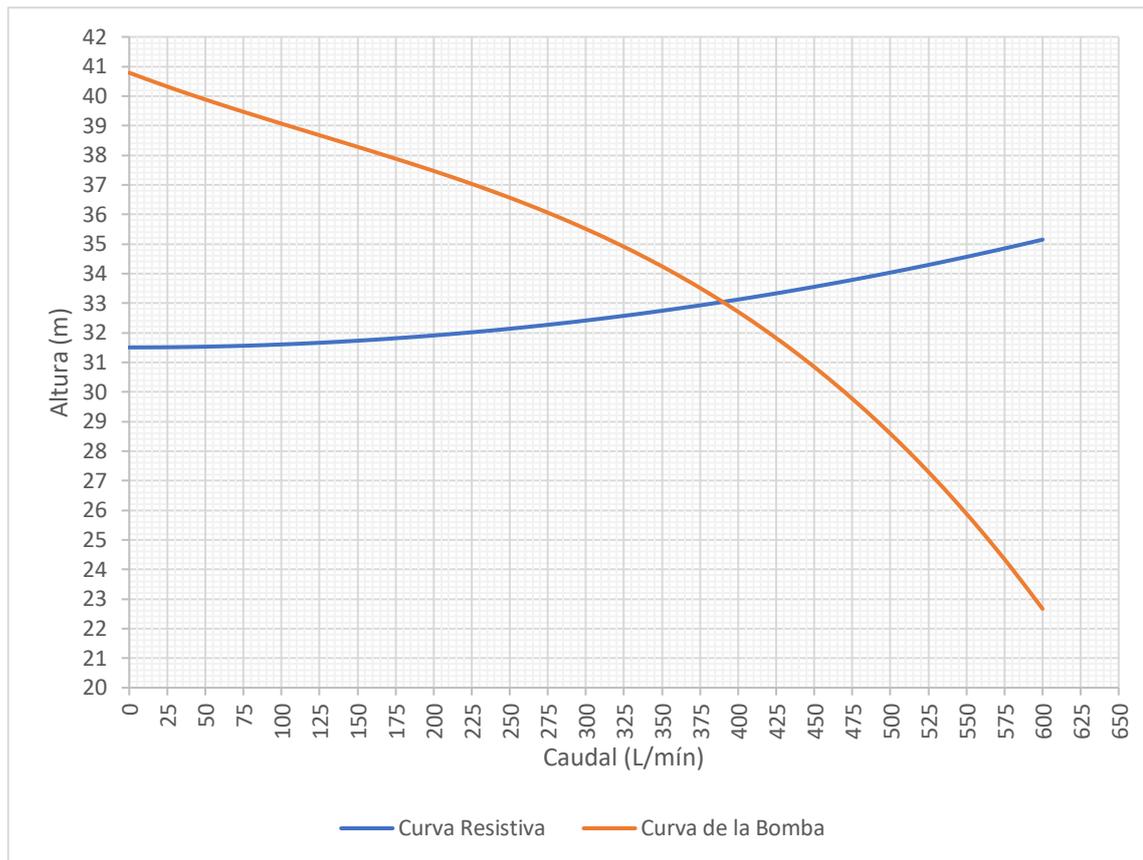


Gráfico 9- 3: Punto de operación de la instalación

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

Además de la gráfica, se puede determinar el punto de operación mediante la resolución del sistema de 2 ecuaciones con 2 incógnitas correspondientes a la curva resistiva del sistema y curva característica de la bomba, ecuaciones (48) y (49) respectivamente, tomando en cuenta que se deben igualar H_R y H_B dando como resultado:

$$H_{BC} = 33,04 \text{ mca}$$

$$Q_c = 6,5 \text{ L/s}$$

Con esto se puede observar que los valores calculados tienen cercanía con los valores reales medidos al momento del funcionamiento en el sistema. Los valores calculados son de: ($H_{BC} = 33,04 \text{ mca}$, $Q_c = 6,5 \text{ L/s}$), mientras que los valores reales son de: ($H_{Br} = 33,74 \text{ mca}$, $Q_r = 6 \text{ L/s}$)

Dado los valores reales, y empleando la ecuación (36), se puede recalcular la eficiencia en el sistema, la cual arroja un valor de:

$$\eta = 12,67\%$$

Se debe tomar en cuenta, que se está ocupando un motor de combustión interna (MCI), que de por sí estos motores son de baja eficiencia comparado con otro tipo de máquinas como los motores eléctricos, por esta razón la eficiencia resulta ser baja, al ser evaluado el conjunto de motobomba.

Así mismo se corrige la simulación, en donde se quitan los valores de K correspondientes a los accesorios faltantes, se corrigen los diámetros de tubería, cuyo valor actual es de 81,4 mm correspondientes a las tuberías de presión de resistencia de 1,25 MPa, se actualiza el valor de caudal real que es de 6 L/s y finalmente se agrega la bomba en la simulación con la respectiva curva de bombeo que ya pudo ser obtenida, para que finalmente se pueda obtener el valor de altura de bombeo otorgado por la simulación en Epanet, la cual se muestra en la siguiente gráfica:

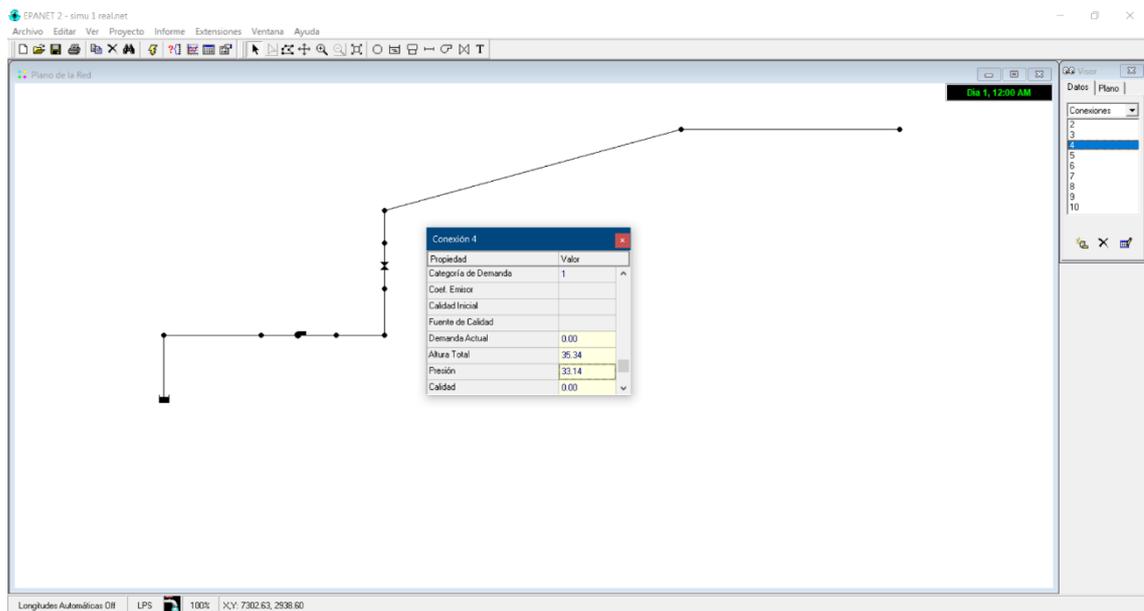


Gráfico 10- 3: Simulación de altura de bombeo en Software Epanet corregido

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

El valor mostrado de la altura de bombeo simulada es de:

$$H_{Bs} = 33,14 \text{ mca}$$

Con esto finalmente se puede determinar los errores entre los puntos de operación real (POR), calculado (POC), y simulado (POS), utilizando la ecuación de error (47), la cual muestra los siguientes resultados:

Tabla 11- 3: Comparación de errores de puntos de operación

Puntos de operación	Caudal Q (L/s)	Altura H (m)	Comparación	Caudal Q (%)	Altura H (%)
Real (POR)	6,00	33,74	POR Y POC	8,33	2,07
Calculado (POC)	6,50	33,04	POR Y POS	0,00	1,77
Simulado (POS)	6,00	33,14	POC Y POS	8,33	0,30

Fuente: Masson C; Pacheco J; 2020

Realizado por: Masson C; Pacheco J; 2020

3.13 Comprobación de flujo transitorio con el Software Allievi

Con el software Allievi se pretende analizar el comportamiento del flujo transitorio en el sistema, es decir, verificar que el sistema no se vea afectado por efectos de sobrepresiones y depresiones. Esto nos asegura que la instalación no sufra ningún tipo de daño relacionado con los fenómenos analizados en el Capítulo II. El proceso de simulación inicia con la representación del sistema de bombeo en el software, tomando en cuenta características como son: longitud, diámetro y material de la tubería, curva de la bomba, alturas de los nodos. En el Gráfico 11- 3 se puede observar la representación del sistema de bombeo en el programa Allievi.

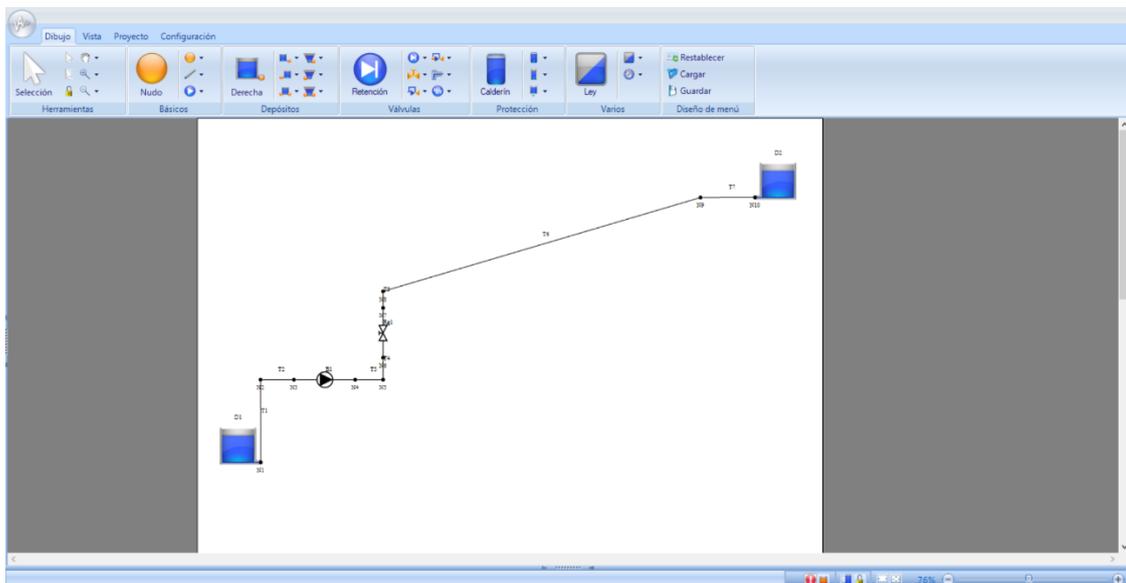


Gráfico 11- 3: Representación del sistema de bombeo en el software Allievi

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

En el Gráfico 12- 3 se puede observar la curva característica de la bomba ingresada para realizar la simulación, esta curva nos muestra cual es el comportamiento que la bomba tiene al realizar la simulación.

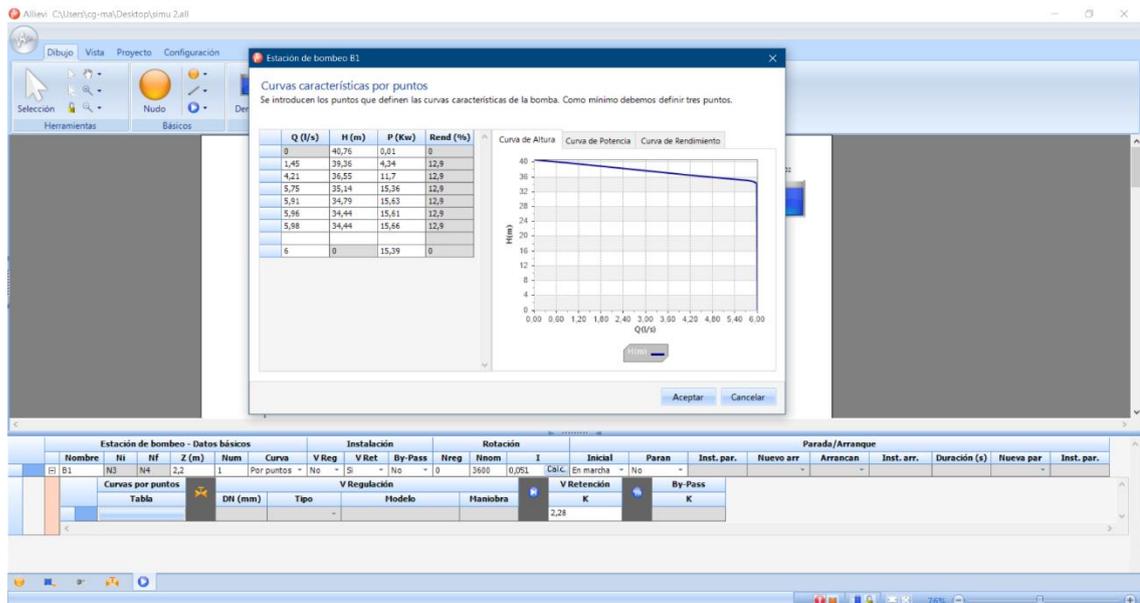


Gráfico 12- 3: Curva característica de la bomba ingresada

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

En la Gráfica 13-3 se pueden observar las curvas que muestran los resultados el comportamiento del sistema de bombeo frente a la simulación realizada, donde se puede observar que el sistema no sufre fenómenos de sobrepresión y depresión.

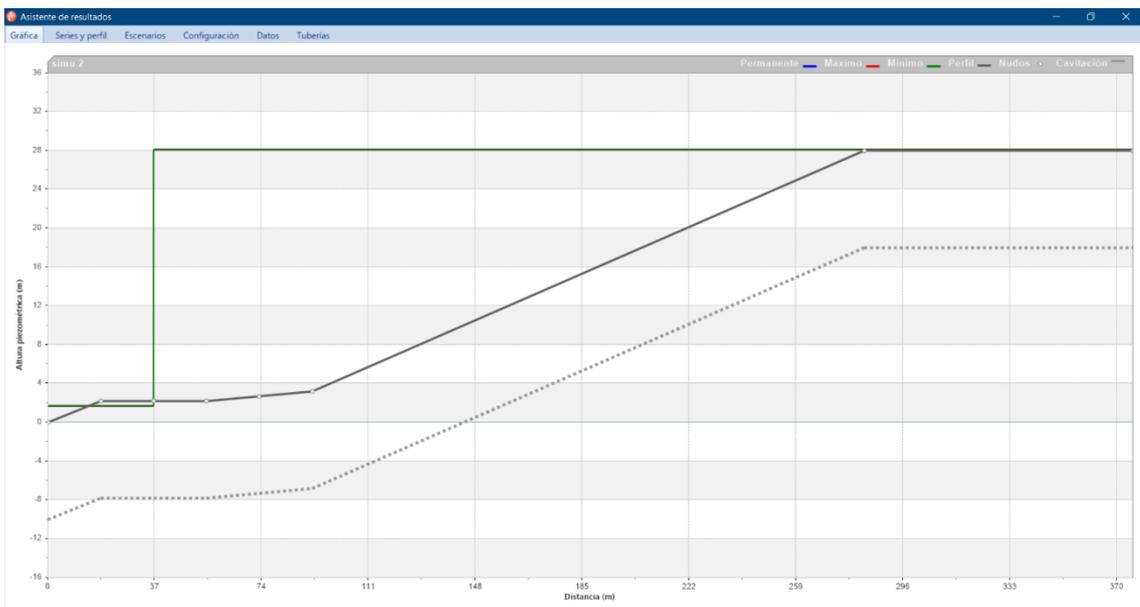


Gráfico 13- 3: Curvas de presión obtenidas mediante simulación

Fuente: Masson, C.; Pacheco, J. 2020

3.14 Manuales de Operación, Mantenimiento y Seguridad

Los manuales que aquí se describen, son manuales que orientan a los operarios, la manera correcta de proceder en el encendido y apagado del sistema, así como también saber dar mantenimiento a los equipos instalados, y cuáles son los equipos que más mantenimiento requieren. Siempre para

proceder en esto, es importante a tener en cuenta cuales son las medidas de seguridad que se deben ocupar tanto en operación como al dar mantenimiento al sistema de bombeo.

3.14.1 Manual de Operación

El manual de operación del sistema de bombeo es de gran importancia, este documento ofrece información entregada por el personal encargado de diseñar e implementar el sistema de bombeo en la comunidad sobre cómo operar el sistema, además de recomendaciones y procedimientos que el personal encargado tendrá que seguir para lograr que el sistema entre en funcionamiento correctamente, este documento puede ser encontrado en el Anexo E. Adicionalmente la información que se entrega al usuario en este documento contribuye con toda la información requerida por el personal encargado de operar el sistema.

3.14.2 Manual de Mantenimiento

El manual de mantenimiento del sistema de bombeo es otro documento indispensable que el personal encargado de operar el sistema debe tener a su disposición, debido al continuo uso que el sistema tendrá, este va a requerir diferentes tipos de mantenimiento para poder asegurar su integridad y su correcto funcionamiento, dentro de este manual se puede encontrar procedimientos y condiciones para realizar los mantenimientos necesarios tanto en instalaciones, equipos y accesorios que conforman el sistema de bombeo. Este está disponible para el personal encargado del mantenimiento del equipo y se lo puede encontrar en el Anexo F.

3.14.3 Manual de Seguridad

Dentro del manual de seguridad se analiza todos los aspectos que se deben considerar para mantener la integridad tanto del operador y personal encargado de mantenimiento, así como del equipo de bombeo, este manual contiene información indispensable que el operador del equipo debe tener siempre presente para poder realizar su trabajo de forma segura, rápida y eficiente. Este manual contiene la simbología necesaria para que toda persona pueda entenderla en especial quienes ingresan al lugar de operación del equipo. Toda esta información se la puede encontrar en el Anexo G.

CAPITULO IV

4 RESULTADOS

Al realizar el diseño e implementación del sistema de bombeo para la comunidad San Vicente de Lacas se realizan diferentes análisis que son de gran ayuda para conocer detalladamente los resultados obtenidos y así validarlos, para lo cual se procede con los siguientes análisis:

4.1 Análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del agua filtrada

El punto de análisis más importante es la calidad del agua que se filtra y se suministra por el sistema de bombeo hacia la comunidad San Vicente de Lacas, para que los habitantes de esta comunidad puedan contar con un servicio de agua de regadío constante y de calidad, es así que los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos son imprescindibles para poder constatar que el agua bombeada cumple con las propiedades físicas y químicas para las actividades agrícolas de la comunidad. Como constancia se encuentra el análisis de la calidad del agua en el ANEXO H.

Es así como las propiedades analizadas son: el color, olor, presencia de partículas sólidas, además de los constituyentes químicos entre otros.

4.2 Pruebas de Funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento del sistema de bombeo son de gran importancia para tener pleno conocimiento del estado de operación de este, dentro de estas pruebas se evalúan aspectos esenciales de funcionamiento como son: encendido de la motobomba, tiempos de vaciado y llenado del tanque reservorio, niveles máximo y mínimo dentro del tanque, caudal y altura de bombeo entregadas por el sistema, tiempo de respuesta del sistema de bombeo al dispositivo de control automático, pruebas del sistema de control, con los datos obtenidos dentro de estos análisis se realizarán futuros planes de mantenimiento, de revisión del sistema y de control de dispositivos y equipos que son vitales para el correcto funcionamiento del sistema de bombeo.

Una vez puesto en marcha el sistema de bombeo se puede verificar que el caudal medido mediante un flujómetro ultrasónico entregado por este es de 6 L/s que es el caudal por encima del requerido por la comunidad, además también se puede verificar mediante instrumentos de medición que la presión a la salida del sistema es de 33,74 mca. logrando así cumplir con los requerimientos de caudal y presión que tiene la comunidad San Vicente de Lacas.

4.3 Interpretación de la simulación en Epanet

El proceso de simulación de los resultados obtenidos mediante herramientas virtuales es de gran utilidad debido a que se pueden estudiar los resultados que se obtienen al entrar en funcionamiento el sistema de bombeo. Por medio de una simulación se pueden observar los puntos críticos existentes en el sistema. Dentro de las ventajas de realizar el análisis en el software Epanet están la facilidad con la que se pueden ingresar mapas digitales de la zona en estudio, además de que el software posee licencia de uso gratuito y puede ser utilizado en cualquier momento. Con la simulación del sistema de bombeo se verifica que la altura de bombeo simulada es similar a la altura obtenida mediante cálculos y a su vez esta es similar a la altura real obtenida bajo condiciones de funcionamiento.

Los datos y resultados que arroja la simulación realizada en Epanet pueden ser apreciados en el Capítulo III cuyos resultados se muestran en la Gráfica 10- 3, en donde se puede apreciar que el resultado de altura de bombeo simulada es muy similar a la altura de bombeo real. Estos datos se comparan y se estiman errores como los que se muestran la Tabla 11- 3.

4.4 Interpretación de la simulación en Allievi

La simulación del sistema de bombeo dentro del programa Allievi nos entrega una visión completa del sistema diseñado puesto en funcionamiento, dentro de estas simulaciones se pueden revisar curvas de datos para diferentes escenarios de análisis, en donde se pueden tener en consideración todos los accesorios necesarios para la instalación del sistema, finalmente se realiza un análisis del efecto transitorio generado a lo largo del sistema de bombeo, con esta simulación se tiene pleno conocimiento de los efectos que se pueden producir dentro del sistema de bombeo al realizar cualquier cambio dentro de este.

Al realizar la simulación del sistema en condiciones reales de operación, considerando la curva característica de la bomba fue obtenida con el uso de instrumentos de medición al momento de operación del sistema. Se logra determinar que la instalación cumple con las condiciones necesarias para el funcionamiento óptimo del sistema, es decir, no se generan sobrepresiones ni depresiones en este, asegurando así la integridad del sistema. Además, se puede verificar que el equipo de bombeo no sufre problemas de cavitación al entrar en funcionamiento. Los resultados obtenidos mediante la simulación en Allievi se presenta en el Gráfico 13- 3. Cabe recalcar que, si se llegara a presentar un transitorio hidráulico, por cualquier razón que esta sea, las tuberías tienen una presión de resistencia máxima de $1,25 \text{ MPa}$, haciéndolas super resistentes, a cualquier desperfecto que se podría presentar.

4.5 Análisis de Costos

En el siguiente punto se analizará el costo que tendrá la instalación del sistema de bombeo, mediante costos dados por proveedores de diferentes marcas como Plastigama, Rival, Tigre, entre otros, así como también la maquinaria utilizada y la mano de obra incluida para la operación e instalación del sistema.

4.5.1 Costos directos e indirectos

El costo directo son aquellos precios tienen que verse influenciados directamente con el sistema de bombeo, o que forma parte del como lo son materiales, maquinaria, mano de obra, transporte, entre otros.

4.5.1.1 Costo de materiales

Este tipo de costos tiene que verse relacionado con los materiales que se van a utilizar en la instalación del sistema de bombeo, tales materiales se muestran en la Tabla 1- 4:

Tabla 1- 4: Costos de materiales

Descripción	Unidad	Precio Unitario	Cantidad	Sub. Total (\$)
Tubería en PVC Ø 90 mm Biax	m	18,38	50	919
Codos a 90° Ø 90 mm	Unidad	5,54	5	27,7
Codos a 45° Ø 90 mm	Unidad	4	18	72
Universales en PVC Ø 90 mm	Unidad	14,96	4	59,84
Te en PVC Ø 90 mm	Unidad	5,6	1	5,6
Válvula de Pie Ø 90 mm	Unidad	105	1	105
Válvula de compuerta Ø 90 mm	Unidad	185	2	370
Válvula check Ø 90 mm	Unidad	90,1	2	180,2
Manómetro Rango: 300 psi	Unidad	15	1	15
Pegamento de tubería	Litro	3	6	18
Junta de expansión en H.G.	Kg	40	1	40
Uniones roscadas Ø 90 mm	Unidad	2,86	5	14,3
Moto bomba	Unidad	2100	1	2100
Tuberías en PVC Ø 16 mm x 3 m	m	3,5	1	3,5
Reductor de Ø90 mm a Ø16mm	Unidad	0,5	1	0,5
Collarin Ø 90 mm	Unidad	8	1	8
Valvula de globo Ø 16 mm	Unidad	4,05	1	4,05
Varillas corrugadas 12 mm x 12 m	Kg	15,03	30	450,9
Materiales varios	Unidad	50	1	50
Gasolina	Galón	1,85	16	29,8
Total				4473,19

Fuente: Masson C; Pacheco J; 2020

Realizado por: Masson C; Pacheco J; 2020

4.5.1.2 Mano de obra

Es el pago que se da a las personas incluidas en la instalación del sistema por el tiempo que toman en dedicar esfuerzo física y mental mente, esto se hace mediante el rol de pagos establecido por el ministerio de trabajo del Ecuador. Estos pagos se muestran en la Tabla 2- 4.

Tabla 2- 4: Costos de mano de obra

Descripción	Categoría	Salario Real/Hora	Días al mes	Subtotal
Jefe de obra	A+	28,33	30	850
Residente	B+	25	30	750
Maestro de obra	B+	17,33	30	520
Ayudante de obra	C+	15,33	30	460
Total				2580

Fuente: Masson C; Pacheco J; 2020

Realizado por: Masson C; Pacheco J; 2020

4.5.1.3 Equipos y Maquinaria

El costo directo de este tipo representa la maquinaria y equipos utilizados para elaborar o dar paso a la formación del sistema de bombeo, como se muestra en la Tabla 3- 4.

Tabla 3- 4: Costos de equipos y maquinaria

Descripción	Costo/Hora	Horas de equipo	Subtotal
Excavadora	40	16	640
Concreteira	30	8	240
Volqueta	80	1	80
Total			960

Fuente: Masson C; Pacheco J; 2020

Realizado por: Masson C; Pacheco J; 2020

4.5.1.4 Costo de transporte

Este punto habla sobre el transporte que se tuvo que realizar para llevar los materiales desde el punto de distribución hacia el lugar de construcción del sistema de transporte, para esto se realizaron tres contratos de camiones de la comunidad, los cuales accedieron a prestar sus servicios de transporte en diez dólares cada carrera, quedando un total de 30 dólares por el transporte.

4.5.1.5 Costos directos totales

Es la sumatoria de pagos o cuentas que tienen que ver para el correcto funcionamiento del sistema de bombeo como se ve en la Tabla 4- 4:

Tabla 4- 4: Costos directos

Descripción	Costo (\$)
Costo de materiales	4473,19
Costo de mano de obra	2580
Costo de equipos y maquinaria	960
Análisis de la calidad del agua	80
Transporte	30
Total de costos directos	8123,19

Fuente: Masson C; Pacheco J; 2020

Realizado por: Masson C; Pacheco J; 2020

4.5.2 Costos indirectos

Son aquellos costos que afectan en una forma externa a la construcción del sistema bombeo o también son gastos que deben proveerse para llevar a cabo la vigilancia y el buen desarrollo de este, como se ilustra en la Tabla 5- 4.

Tabla 5- 4: Costos indirectos

Dato	Descripción	Costo (\$)
Vigilancia de materiales	Residente encargado de cuidar a los materiales a quedar en el área de trabajo	0
Operador	Residente operando el encendido y apagado del sistema mientras este no se encuentre automatizado	300
Total		300

Fuente: Masson C; Pacheco J; 2020

Realizado por: Masson C; Pacheco J; 2020

4.5.3 Costos totales

Los costos totales son la suma de costos directos e indirectos que se mostraron anteriormente, cabe recalcar que todos estos precios incluyen el impuesto del 12% que es el IVA en el país (ECUADOR). Esto se resume en la siguiente tabla:

Tabla 6- 4: Costo total del proyecto

Costo total	Valor (\$)
Costos directos	8123,19
Costos indirectos	300
Total	8423,19

Fuente: Masson C; Pacheco J; 2020

Realizado por: Masson C; Pacheco J; 2020

El sistema de bombeo tendrá una inversión de \$9088,19 (Nueve mil ochenta y ocho dólares americanos con diecinueve centavos de dólar)

CONCLUSIONES

Las conclusiones que podemos obtener después de realizar el presente proyecto son las siguientes:

Se logró obtener un diseño adecuado del sistema de bombeo que se ajusta a las necesidades de la comunidad San Vicente de Lacas, logrando ser implementado en una planta de tratamiento de aguas residuales, obteniendo un funcionamiento adecuado de este que proporciona agua al sistema de riego de esta comunidad, mediante la selección adecuada del tamaño de la tubería y del equipo de bombeo para el sistema.

Con el análisis físico - químico y bacteriológico del agua procedente de la planta de tratamiento, se determinó que esta es apta para servir como agua de riego, y que sus partículas sólidas, no presentan dificultad alguna para ser ingresadas al sistema de bombeo.

Gracias al estudio realizado, se logró determinar los parámetros requeridos por la comunidad San Vicente de Lacas, los datos obtenidos son altura de bombeo de 33,74 *mca*, caudal de 6 *L/s*, con una potencia para el equipo de bombeo de 21 *HP*, diámetro nominal de tubería 90 *mm*, estos datos en conjunto con las disposiciones de SENAGUA son los que presentan un resultado óptimo logrando asegurar que las necesidades de la comunidad fueron cumplidas completamente.

La simulación en EPANET fue realizada con el fin de verificar la validez de la trayectoria topográfica seleccionada para la instalación de la tubería del sistema de bombeo, el resultado principal de este análisis demuestra que la metodología de diseño impuesta en este proyecto es la correcta, evaluando la altura de bombeo y mostrando valores de error estimados por debajo de lo permisible. Lo que nos indica que el análisis topográfico realizado también presentó resultados satisfactorios que benefician a la seguridad del sistema de bombeo implementado.

Con el análisis de la potencia requerida por la bomba y la eficiencia de esta se puede afirmar que el funcionamiento de la bomba será el deseado y que el sistema no presentará fallas que involucren pérdidas de presión, variaciones en el caudal a trasegar o un nivel excesivo de pérdidas. Con la potencia de 21 *HP* y bajo las condiciones previamente establecidas la eficiencia de este equipo es del 12,67%. Estos valores nos aseguran que el proceso de diseño del sistema y selección del equipo de bombeo fue realizado correctamente quedando así el sistema preparado para entrar en funcionamiento.

El sistema de bombeo en la actualidad queda operando mediante la intervención manual, por lo cual, para un futuro se deja planteado la automatización en el software CODESYS listo para ser cargado a un PLC, obteniendo conjuntamente con los demás accesorios para la conexión correcta y llevar a cabo mediante un diagrama P&ID (ANEXO I), el montaje del sistema de control.

RECOMENDACIONES

Una vez diseñado y puesto en funcionamiento el sistema de bombeo para la comunidad San Vicente de Lacas se pueden dar las siguientes recomendaciones:

Para una mejor gestión de arranques y paradas de la bomba, se recomienda la instalación de un sistema de control, la cual se ha impuesto en este trabajo, con el fin de prescindir de una persona que se encargue en realizar el encendido y apagado del sistema.

El elemento de medición como el manómetro debe ser calibrado y revisado de manera periódica debido al frecuente uso del sistema de bombeo, esto ayuda a que, al momento de la medición de la presión, no se vea afectado.

El mantenimiento del equipo de bombeo es fundamental debido a su uso continuo, por eso se recomienda que bajo parámetros establecidos por el fabricante el mantenimiento preventivo sea realizado frecuentemente para evitar daños en la motobomba.

Se recomienda también evaluar la calidad del agua y realizar la limpieza del reservorio y elementos que protejan a la tubería del ingreso de partículas que puedan provocar daños en esta, como también en el equipo de bombeo como puede ser la cavitación.

Es importante la correcta atención al motor del equipo, ya que pueden ocurrir ciertas fallas como en toda máquina y debe plantearse que, a las 2000 horas o 4000 horas de uso, se realice la limpieza, un análisis de funcionamiento, y verificación de vibraciones para que el equipo no se vea afectado por el desgaste de neopreno y se debe realizar un cambio de aceite cada 8000 horas y finalmente a las 12000 horas se realice una limpieza y cambio de repuestos.

GLOSARIO

Bomba centrífuga: Dispositivo mecánico encargado de transformar la energía de flujo en energía de presión en un fluido, mediante su mecanismo interno, funciona bajo la rotación de eje - rodete que es entregada por un motor eléctrico o un motor de combustión interna. (Mott, 2006)

Caudal: Magnitud conocida por la sigla “ Q ” o llamada también como flujo volumétrico es aquel volumen de fluido que transita por un medio cerrado (tubería, vertedero, entre otros) en un determinado intervalo de tiempo. (Çengel, 2006)

Flujo turbulento: Fluido donde las partículas se encuentran en un término llamado desorden, las partículas dentro de este fluido no siguen un orden uniforme, al contrario, cada partícula es dirigida por su propio camino, esto es más observable en efectos aerodinámicos, donde la intervención de un flujo turbulento provoca la disminución de velocidad en diferentes vehículos como en el caso del alerón de un carro automóvil. (Çengel, 2006)

Factor de fricción: Denotado por la sigla “ f ”, este factor de fricción es conocido por su valor adimensional por ser el encargado de aplicarse en la ecuación de balance de energía. Con el fin de poder observar el comportamiento de las pérdidas de energía en un sistema hidráulico a implementarse. (Çengel, 2006)

Motobomba: Dispositivo mecánico encargado de transformar la energía de flujo en energía de presión, siendo su mayor ventaja el poder ser transportable y poder succionar grandes cantidades de fluido con presencia de sólidos dentro de él. Su funcionamiento radica en el uso de un motor de combustión interna para poder dar movimiento al eje interno, este a su vez es adaptado a un sistema de impulsión como es una bomba. (Mott, 2006)

Rodete: Elemento mecánico o dispositivo mecánico encargado de entregar energía de presión a un fluido, mediante su configuración de alabes, su presión y caudal varían dado el diseño de todos los fabricantes; se pueden encontrar rodetes en funcionamiento radial, axial o tangencial. (Mott, 2006)

BIBLIOGRAFÍA

BALCELLS, Josep. *Autómatas Programables*. 2014. Barcelona.

BELTRÁN GAMBOA, et al. Instalaciones hidráulicas domiciliarias e instalación de aparatos sanitarios. 1984.

BORRERO RESTREPO, et al. *Bombas centrifugas*. S.l. : Universidad Autónoma de Occidente. 1995.

ÇENGEL, Yunus A. *MECÁNICA DE FLUIDOS*. 2006. Primera Ed. Mexico. ISBN 970-10-5612-4.

ÇENGEL, Yunus A, et al. *Termodinámica*. 2006. S.l. : McGraw-Hill São Paulo.

CRANE. *FLUJO DE FLUIDOS: EN VALVULAS, ACCESORIOS Y TUBERIAS/CRANE*. S.l. 1987.

DA CÁMARA, Lesly, et al. *Manual de diseño para plantas de tratamiento de aguas residuales alimenticias*. 2014. S.l. : sin editor.

ESPIRALMEX. DESIGN AND MANUFACTURE OF EXPANSION OF JOINS METALLIC. In : [en línea]. 2020. Disponible à l'adresse : <http://www.espiralmex.com/tipos-de-juntas-de-expansion-y-su-aplicacion>.

EVETT, Cheng Liu, et al. *MECÁNICA DE LOS FLUIDOS E HIDRÁULICA*. 1994. Tercera Ed. Madrid. ISBN 84-481-1898-7.

GANDHI, Mayur, GRAFCET. In : *¿Qué es GRAFCET y para qué sirve?* [en línea]. 2019. Disponible à l'adresse : <https://www.autycom.com/que-es-grafcet>.

GONZÁLEZ, Edmundo, et all. Historia del teorema de Bernoulli. In : *Acta Universitaria*. 2007. Vol. 17, n° 1, p. 39-45.

HAYWARD S.A. YS Series Y-Strainers. In : [en línea]. 2018. Disponible à l'adresse : <https://www.haywardflowcontrol.com/assets/documents/flowcontrol/pdf/YScut.pdf>.

HIDALGO, Universidad Autónoma del Estado de México. COMUNICACIÓN EN REDES. In : *Tipos de Señales (Analógica-Digital)* [en línea]. 2019. Disponible à l'adresse : http://cidecame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro27/133_tipos_de_seales_analogicadigit al.html.

INFOPLC. 8 Razones para aprender a programar CodeSYS. In : [en línea]. 2020. Disponible à l'adresse : <https://www.infopl.net/blogs-automatizacion/item/103031-razones-aprender-codesys>.

ITA UPV. Epanet. In : [en línea]. 2018. Disponible à l'adresse : <https://epanet.es/acercade>.

ITA UPV. Allievi. In : [en línea]. 2020. Disponible à l'adresse : <https://www.allievi.net/allievi-es.php>.

MEJÍA, Rosa. *Intervención integral para disminuir la discapacidad funcional en pacientes con osteoartritis en el barrio San Vicente de Lacas*. [en línea]. 2019. S.l. : ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO. Disponible à l'adresse : <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/12534>.

MOTT, Robert L. *Mecánica de fluidos aplicada*. 2006. Sexta Edic. S.l. : Pearson Educación.

MOYA, José María. NPSH. In : [en línea]. 2017. Disponible à l'adresse : <https://docplayer.es/51108731-Definicion-motobomba-bomba-cuya-energia-es-suministrada-por-un-motor-de-explosion.html>.

OROZCO, Lenin et CHAUCA, Alex, *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA DOSIFICACIÓN DE CLORO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA COMUNIDAD SAN VICENTE DE LACAS* [en línea]. 2012. S.l. : ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO. Disponible à l'adresse : <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1888/1/15T00500.pdf>.

PAVCO. In : [en línea]. 2020. Disponible à l'adresse : <https://www.linio.com.pe/p/tubo-pvc-sap-3-de-3m-jpvt91>.

PLASTIGAMA, Tubosistemas de Amanco, Catálogo de Construcción. In : *Ecuador*. <http://www.plastigama.com.ec/html/construccion.html>.

QUINGA, Alexander Cisneros, FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERIAS. In : .

REIF-ACHERMAN, Simón et MACHUCA-MARTINEZ, Fiderman. Eugene Bourdon y la evolución del manómetro. In : *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 2010. Vol. 32, n° 1, p. 1601-1610.

RIOBAMBA, MUNICIPIO DE. Una nueva planta de tratamiento de aguas servidas se construye en San Vicente de Lacas. In : . 2018.

RIVAL, Catálogo Rival. In : [en línea]. 2008. Disponible à l'adresse : <http://plasticosrival.com>.

ROSERO, Jhony. *Cálculo y diseño de planta piloto para la obtención de formiato de potasio como fluido de perforación*. 2015. S.l. : Quito: UCE.

TDOC-99, ISA-UMH ©. Programación de autómatas. In : [en línea]. S.l. Disponible à l'adresse : <https://electronicavm.files.wordpress.com/2012/02/introduccion3b3n-a-autc3b3matas-graficet.pdf>.

THOMAZINI, Daniel, *Sensores industriais: fundamentos e aplicações*. 2005. S.l. : Saraiva Educação SA.

TIGRE. In : [en línea]. 2018. Disponible à l'adresse : <https://www.tigre.com.ec>.

TVI, VALVE SOLUTIONS. PLASTIC VALVES. In : [en línea]. 2019. Disponible à l'adresse : <https://www.tvivalves.com/plastic-valves/>.

VANGUARD, In : [en línea]. Disponible à l'adresse : https://www.vanguardpower.com/eu/en_gb/product-catalog/engines/vtwin-horizontal-shaft/157-gross-kw.html.

WENDLING, Marcelo. Sensores. In : *Universidade Estadual Paulista. São Paulo*. 2010. p. 20.

ZUBICARAY, Manuel. *Bombas: teoria, diseño y aplicaciones*. 2005. S.l. : Editorial Limusa.