

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención de:
INGENIEROS MECÁNICOS**

**TEMA:
“DISEÑO DE UNA RED DE AGUA POTABLE DE 1,5KM PARA LA JUNTA
DE AGUAS, SAN VICENTE DE ANDOAS, CANTÓN PEDRO VICENTE
MALDONADO, PROVINCIA DE PICHINCHA.”**

**AUTORES:
DARÍO JAVIER NARVÁEZ LEIME
DAVID ANDRÉS PACHACAMA PACHACAMA**

**TUTOR:
MILTON SALOMÓN JAMI LEMA**

Quito, febrero del 2021

CESIÓN DE DERECHO DE AUTOR

Nosotros Darío Javier Narváez Leime, con documento de identificación N° 1715181754 y David Andrés Pachacama Pachacama, con documento de identificación N° 1716174337, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “DISEÑO DE UNA RED DE AGUA POTABLE DE 1,5KM PARA LA JUNTA DE AGUAS, SAN VICENTE DE ANDOAS, CANTÓN PEDRO VICENTE MALDONADO, PROVINCIA DE PICHINCHA.”, mismo que ha sido desarrollado para para optar por el título de Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

.....
Darío Javier Narváez Leime
C.I. 1715181754

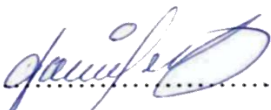
.....
David Andrés Pachacama Pachacama
C.I. 1716174337

Quito, febrero de 2021

DECLARACIÓN DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Milton Salomón Jami Lema, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación, “DISEÑO DE UNA RED DE AGUA POTABLE DE 1,5KM PARA LA JUNTA DE AGUAS, SAN VICENTE DE ANDOAS, CANTÓN PEDRO VICENTE MALDONADO, PROVINCIA DE PICHINCHA.”, realizado por Darío Javier Narváez Leime y David Andrés Pachacama Pachacama, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, febrero del 2021



.....

Milton Salomón Jami Lema

C.I. 1707254171

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis padres, especialmente, a mi madre Flerida Pachacama quien estuvo apoyándome, incondicionalmente, dándome aliento para afrontar cualquier adversidad; también a mis hermanos y tíos quienes de una u otra forma me ayudaron en el transcurso de la carrera universitaria.

David Pachacama

El presente proyecto quiero dedicar a mis padres queridos Gonzalo Narvárez y Cecilia Leime ya que gracias al apoyo incondicional que ellos me han brindado, supe valorar el sacrificio que depositaron en mi persona y poder llegar hasta el final de mi carrera profesional.

De una manera muy especial a mi amada esposa Ana María España y a mi pequeño motor Juan Diego que, con el apoyo y el empuje incondicional, cuando más los necesite, estuvieron presentes en mis alegrías, en mis tristezas y en el más importante logro: la culminación de un peldaño más en mi vida profesional.

Darío Narvárez

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana, a todos sus docentes que en sus aulas han compartido su sabiduría y consejos para formarnos como buenos ingenieros, y, más que nada como unas excelentes personas.

A nuestro tutor, el Ingeniero Milton Jami quien, con su ayuda y excelente dirección, fue un gran aporte para el rápido desarrollo de este proyecto.

Así como a la Comunidad de Andoas quienes nos dieron una gran acogida y han estado a las órdenes de nosotros para ejecutar de la mejor manera este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

CESIÓN DE DERECHO DE AUTOR	i
DECLARACIÓN DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
GLOSARIO DE TÉRMINOS	xv
NOMENCLATURA.....	xviii
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT	xxi
INTRODUCCIÓN.....	xxii
CAPÍTULO I.....	25
1.1 Historia de sistemas de bombeo de agua	25
1.2 Conceptos básicos sobre topografía.....	25
1.3 Levantamiento topográfico	25
1.4 Ubicación	26
1.5 Geografía	26
1.6 Concepto básico de captación de agua.....	27
1.6.1 Diferencia entre canales y tuberías	28
1.6.2 Ecuación de la continuidad	29
1.6.3 Teorema de Bernoulli	30
1.7 Regímenes de flujo de fluidos en tuberías	30
1.7.1 Velocidad media del flujo.....	31
1.7.2 Número de Reynolds	31
1.7.3 Radio hidráulico.....	33
1.8 Términos utilizados en sistemas de bombeo.....	33
1.8.1 Altura estática de succión	33

1.8.2	Altura estática de descarga.....	33
1.8.3	Altura manométrica total	34
1.8.4	Carga de succión neta positiva.....	34
1.8.5	Cavitación	34
1.8.6	Presión de vapor.....	35
1.8.7	Pérdidas de carga	35
1.8.8	Carga neta de succión positiva disponible (NPSHd).....	35
1.8.9	Carga neta de succión positiva requerida (NPSHr)	36
1.8.10	Cebado de la bomba.....	36
1.8.11	Golpe de ariete	37
1.8.12	Sistema de suministro	37
1.9	Sistema de bombeo	38
1.9.1	Partes del sistema de bombeo	38
1.9.2	Problemas de diseño y operación.....	39
1.10	Bombas	40
1.10.1	Bombas rotodinámicas.....	40
1.10.2	Bombas centrífugas.....	41
1.10.3	Bombas centrífugas horizontales	41
1.10.4	Bombas centrífugas verticales	42
1.10.5	Bombas sumergibles	43
1.10.6	Curva característica.....	43
1.10.7	Potencia hidráulica de la bomba	44
1.10.8	Cálculo de la eficiencia de la bomba	44
1.10.9	Evaluación de la eficiencia electromecánica	45
1.10.10	Carga total de bombeo.....	46
1.10.11	Carga de velocidad	46
1.11	Sistema de suministro de agua.....	47

1.11.1	Conducción por gravedad	47
1.11.2	Conducción por bombeo	48
1.12	Válvulas	48
1.12.1	Válvula de compuerta	49
1.12.2	Válvula de mariposa	50
1.12.3	Válvula de altitud	50
1.12.4	Válvula de alivio de aire	51
1.12.5	Válvula de admisión y expulsión de aire	52
1.12.6	Válvula de no retorno	52
1.12.7	Válvulas controladoras de presión	53
1.13	Modalidades de captación de agua	54
1.13.1	Aguas subterráneas	54
1.13.2	Aguas de río o canales de riego	54
1.13.3	Manantiales	55
1.14	Conceptos de hidráulica	55
1.14.1	Caudal	55
1.14.2	Presión	56
1.14.3	Presión Absoluta	56
1.15	Conductos o pases aéreos de agua	57
1.16	Tipos de pases aéreos	57
1.16.1	Colgantes	57
1.16.2	Atirantados	57
1.16.3	Viga	57
1.17	Métodos de diseño para las estructuras de pases aéreos de acero	58
1.17.1	Diseño por fuerzas de trabajo	58
1.17.2	Diseño por estados límites	58
1.17.3	Método de diseño por factores de carga y resistencia	58

1.17.4	Método de diseño por tensiones admisibles (ASD).....	58
1.18	Elementos necesarios para un pase aéreo de agua potable	59
1.18.1	Superestructura	59
1.18.2	Péndolas	59
1.18.3	Torres de sustentación	59
1.18.4	Cable principal	59
1.19	Cimentación	59
1.20	Materiales.....	59
1.20.1	Cables de acero	59
1.20.2	Concreto.....	60
1.20.3	Aceros de refuerzos	60
1.20.4	Péndolas	60
CAPÍTULO II.....		61
ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS		61
2.1	Selección de bombas.....	61
2.1.1	Selección a partir de los parámetros adimensionales.....	61
2.2	Bombas cinéticas de flujo radial	61
2.2.1	Alternativa 1: Bomba centrífuga multietapa modelo MF-25.....	61
2.2.2	Alternativa 2: Bomba centrífuga serie e-1535	63
2.2.3	Alternativa 3: Bomba centrífuga serie e-1532.....	64
2.2.4	Comparación para bombas centrífugas.....	65
2.3	Tuberías	66
2.3.1	Alternativa 1: Tubería de polivinilo de cloruro (PVC).....	66
2.3.2	Alternativa 2: Tuberías de polietileno de alta densidad.....	67
2.3.3	Alternativa 3: Tubería de hierro fundido	67
2.3.4	Tabla de comparación para tuberías	68
2.4	Válvulas de aire	69
2.4.1	Alternativa 1: Válvula BX-05-61 AVUSE -1	69

2.4.2	Alternativa 2: AV-10 PN10	71
2.4.3	Válvula DAV-P-A	72
2.4.4	Tabla de comparación para válvulas de aire	73
CAPÍTULO III		74
CÁLCULOS PARA DETERMINAR FLUJO HIDRÁULICO		74
3.1	Criterios para la línea de conducción.....	74
3.2	Cálculo para el diámetro nominal de la tubería	76
3.3	Cálculo de la succión negativa.....	77
3.4	Velocidad real de diseño	77
3.5	Cálculo del número de Reynolds	78
3.6	Cálculo de la carga mayor.....	78
3.7	Pérdidas por accesorios en la línea de descarga	79
3.8	Pérdidas por accesorios en la línea de succión	79
3.9	Pérdidas en la tubería de succión	80
3.10	Pérdidas en la tubería de 2 plg de Acero en línea de descarga	80
3.11	Ecuación general de la energía	82
3.12	NPSHA admisible.....	83
3.13	Obtención de la curva del sistema y verificación de cálculos mediante software especializado WATERCAD	84
3.14	Puente aéreo	90
3.14.1	Cargas muertas.....	91
3.14.2	Cargas del viento	92
3.14.3	Diseño del cable principal.....	96
CAPÍTULO IV		106
ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO.....		106
4.1	Costos.....	106
4.2	Costos directos	106
4.2.1	Costos por materiales.....	106

4.2.2	Costo por maquinaria y equipos	108
4.2.3	Costos por mano de obra	108
4.3	Costos indirectos.....	110
4.3.1	Costos por transporte	110
4.3.2	Costo georeferenciado	110
4.4	Costos totales	111
4.5	Vialidad del proyecto mediante VAN y TIR	112
4.5.1	Van.....	112
4.5.2	TIR.....	114
CONCLUSIONES.....		116
RECOMENDACIONES		117
REFERENCIAS		118
ANEXOS		

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de San Vicente de Andoas.	26
Figura 2. Geografía de San Vicente de Andoas.	27
Figura 3. Captación protegida.	28
Figura 4. Captación no protegida.	28
Figura 5. Diferencia entre un canal y una tubería	29
Figura 6. Balance de energía para dos puntos de un fluido.	30
Figura 7. Flujo turbulento.	31
Figura 8. Esquema altura de impulsión.	34
Figura 9. Variación del NPSHr con el caudal	36
Figura 10. Sistema de cebado.	37
Figura 11. Sistema de suministro de agua.	38
Figura 12. Partes del sistema de bombeo	39
Figura 13. Bomba axial	40
Figura 14. Bomba centrífuga.	40
Figura 15. Bomba mixta	41
Figura 16. Bomba centrífuga horizontal de dos etapas	42
Figura 17. Bomba centrífuga de eje vertical	43
Figura 18. Curva característica de una bomba centrífuga.	44
Figura 19. Curva característica de una bomba axial.	44
Figura 20. Diagramas esquemáticos de las eficiencias	45
Figura 21. Tubería en línea de conducción por gravedad.	48
Figura 22. Red general de distribución por gravedad.	48
Figura 23. Válvula de compuerta	49
Figura 24. Válvula de mariposa	50
Figura 25. Válvula de altitud en tanques elevados	51
Figura 26. Válvula de alivio de aire.	52
Figura 27. Válvula de admisión y expulsión de aire.	52
Figura 28. Válvula de no retorno.	53
Figura 29. Válvula de controladora de presión	54
Figura 30. Tanque de captación.	55
Figura 31. Bomba centrífuga multietapa horizontal.	62
Figura 32. Bomba serie e-1535.	63

Figura 33. Bomba centrífuga Bell & Gossett serie e-1532.	64
Figura 34. Tubo PVC.	66
Figura 35. Tubería HDPE.....	67
Figura 36. Tubo de hierro fundido.	68
Figura 37. Purgador polimérico para agua residual.....	70
Figura 38. Válvula de aire AV-10 PN10.	71
Figura 39. Válvula de aire DAV-P-A.....	72
Figura 40. Desviación de muestreo.	75
Figura 41. Grafica comparativa de resultados de simulación y cálculo.	84
Figura 42. Curva del sistema de bombeo.	85
Figura 43. Punto de operación de la bomba.	87
Figura 44. Simulación estática de operación.....	87
Figura 45. Caída de presión del sistema.....	88
Figura 46. Captación de agua.	89
Figura 47. Paso elevado.....	89
Figura 48. Salida a planta de tratamiento de agua.....	90
Figura 49. Toma satelital de la ubicación del puente aéreo de 110 m.....	91
Figura 50. Pase aéreo desde el centro.....	96
Figura 51. Diagrama de dimensionamiento del puente.....	100
Figura 52. Dimensiones de cámara de anclaje.....	101
Figura 58. Dimensiones de la zapata.....	105
Figura 54. Gráfica de viabilidad del proyecto según el método de VAN y TIR.....	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de ubicación de San Vicente de Andoas.....	26
Tabla 2. Unidades para garantizar que sean adimensionales.....	33
Tabla 3. Tamaño recomendado para válvulas de paso	50
Tabla 4. Datos técnico bomba centrífuga modelo MF-25.	62
Tabla 5. Bomba Bell & Gossett serie e-1535.	64
Tabla 6. Bomba centrífuga Bell & Gossett serie e-1532.	65
Tabla 7. Tabla comparativa para diferentes modelos de bombas.....	65
Tabla 8. Tabla de comparación de tuberías	69
Tabla 9. Datos técnicos válvula.	70
Tabla 10. Datos técnicos de válvula de aire C70.....	72
Tabla 11. Datos técnicos de válvula de aire DAV-P-A.	72
Tabla 12. Tabla de comparación de válvulas de aire.....	73
Tabla 13. Tomas de tiempo para 22 L.	74
Tabla 14. Cálculo de K para accesorios en línea de descarga	79
Tabla 15. Cálculo de K para accesorios en línea de succión	80
Tabla 16. Cálculo de K para accesorios en la sección de salida de caudal.....	81
Tabla 17. Cálculo de la cabeza de la bomba para diferentes caudales	85
Tabla 18. Tabla de operación de la bomba.	86
Tabla 19. Multicable del ecuador especificaciones técnicas de cables tipo boa.	95
Tabla 20. Datos de la cámara de anclaje.....	100
Tabla 21. Datos obtenidos según norma ecuatoriana de construcción NEC.	102
Tabla 22. Datos según norma de la construcción	102
Tabla 23. Dimensionamiento de la zapata.....	104
Tabla 24. Tabla de costos por materiales.....	106
Tabla 25. Costos por maquinaria y equipos	108
Tabla 26. Costos de mano de obra.....	109
Tabla 27. Costos Directos Total	109
Tabla 28. Costos por transporte	110
Tabla 29. Costos georeferenciales	111
Tabla 30. Costos indirectos totales	111
Tabla 31. Costos totales.....	112
Tabla 32. Tabla de ingresos menos gastos	113

Tabla 33. Tabla de valor actual neto (VAN)	113
Tabla 34. Tasa Interna de Retorno.....	114
Tabla 28. Mantenimiento de bomba centrífuga.	40
Tabla 40. Mantenimiento correctivo de la bomba.	42
Tabla 41 Mantenimiento de la red de tubería.	44

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Altura de bombeo:	Medida lineal vertical de la altura máxima de agua que puede elevar una bomba en concreto respecto a su punto de salida.
Agua:	Sustancia formada por la combinación de oxígeno e hidrógeno y que, más o menos pura, forma la lluvia, las fuentes, los ríos y los mares y es parte constituyente de los seres vivos y, entre ellos, de los vegetales.
Agua superficial:	Agua continental con una parte diferenciada y significativa de agua superficial, como un lago, un embalse, una corriente, un río o un canal.
Agua potable:	Líquido incoloro, insípido e inodoro que se puede encontrar en estado natural o ser producido a través de un proceso de purificación. Sirve para el consumo humano y animal.
Bomba:	Maquina hidráulica que convierte la energía mecánica en energía de presión, transferida al agua.
Bomba centrífuga:	Bomba en la que la impulsión se produce en un plano perpendicular al eje, cuya rotación imprime al agua.
Bomba hidráulica:	Máquina que se usa para extraer, elevar o impulsar líquidos y gases de un lugar a otro.
Carga total de Bombeo:	La suma algebraica de la carga de presión en la descarga, más el nivel de succión, más el nivel al centro del manómetro, más las pérdidas de fricción y singulares en la conducción, más la carga de velocidad.
Caudal:	Cantidad de agua que lleva una corriente.
Cavitación:	Condición que producen los gases encerrados dentro de un líquido cuando la presión se reduce a la presión del vapor.
Depósito:	Recipiente para mantener un suministro de fluido de trabajo de

un sistema hidráulico.

Eficiencia:	Es la relación entre la salida y la entrada, esta puede ser volumen, potencia, energía y se mide en porcentaje.
Energía:	Capacidad que tiene la materia de producir trabajo en forma de movimiento, luz, calor, entre otros.
Factor de potencia:	Es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente, y describe la relación entre la potencia convertida en trabajo útil y real y la potencia total consumida.
Fuente de abastecimiento:	Sitio del cual se toma el agua para suministro en el sistema de distribución.
Fuga:	Escape físico de agua en una red de tuberías de agua potable.
Fluido:	Líquido que es específicamente compuesto para usarlo como medio de transmitir potencia en un sistema hidráulico.
Flujo:	Es producido por la bomba que suministra el fluido.
Gravedad:	Fuerza de atracción que la Tierra u otro cuerpo celeste ejerce sobre los cuerpos que están cerca o sobre él.
Hidráulica:	Parte de la mecánica que estudia el equilibrio y el movimiento de los fluidos.
Línea de succión:	Línea que conecta el reservorio con la bomba.
Nivel de referencia:	Es el nivel seleccionado como referencia para todas las mediciones hidráulicas, normalmente el plano inferior de la placa base de montaje del equipo de bombeo.
Potencia:	Capacidad para producir trabajo, que se mide por la cantidad de trabajo realizado por una fuerza en una unidad de tiempo.
Presión:	Fuerza por unidad de área. Se expresa en kPa. Es creada por la restricción al flujo. La presión ejercida en un recipiente es la misma en todas direcciones.

- Presión absoluta:** Escala de presiones en la cual a la presión del manómetro se le suma la presión atmosférica.
- Presión atmosférica:** Es la presión que soporta todo objeto, debido al peso del aire que le rodea. El valor de la presión atmosférica normal es 101.35 kPa (a nivel del mar).
- Topografía:** Técnica que consiste en describir y representar en un plano la superficie o el relieve de un terreno.
- Válvula:** Dispositivo que cierra o restringe temporalmente un conducto. Estas controlan la dirección de un flujo, controlan el volumen o caudal de un flujo y controlan la presión del sistema.
- Velocidad:** Es la rapidez de movimiento del flujo en la línea.
- Viscosidad:** Es una medida de la fricción interna o de la resistencia que presenta el fluido al pasar por un conducto.
- Volumen:** Espacio que ocupa un cuerpo.

NOMENCLATURA

h	Altura, [m]
p	Presión, [N/m ²]
γ	Peso específico del fluido, [N/m ³]
Q	Caudal, [m ³ /s]
V	Velocidad, [m/s]
A	Área de la sección transversa, [m ²].
Z	Elevación, [m]
ρ	Densidad del agua, [kg/m ³]
h_f	Pérdida por fricción, [m]
g	Aceleración de la gravedad, [9,8 m/s ²]
Re	Número de Reynolds
D	Diámetro tubería, [mm]
ν	Viscosidad cinemática, [m ² /s]
μ	Viscosidad Absoluta, [kg/m·s]
Di	Diámetro interior de la tubería, [mm]
R_H	Radio hidráulico, [mm]
P	Perímetro, [m]
f	Factor de fricción
H_g	Suma de altura de succión y descarga, [m]
L	Longitud tubería, [m]
NPSH_d	Carga de succión positiva disponible, [m]
Pot_H	Potencia hidráulica
η_b	Eficiencia de la bomba
P_s	Potencia de salida, [kg/cm ²]
P_m	Potencia mecánica absorbida por la bomba, [HP]

P_h	Potencia manométrica, [kW]
P_d	Presión de descarga, [kg/cm ²]
$P_{r.abs}$	Presión absoluta, [kPa]
$P_{r.man}$	Presión manométrica, [kPa]
$P_{r.atm}$	Presión atmosférica, [kPa]
ϵ	Rugosidad absoluta, [m]
F_s	Factor de seguridad
h_{vp}	Presión de vapor del fluido, [m·c·a]
$HP_{nominal}$	Potencia nominal en el eje del motor (la real verificada en campo), [kW]
h_a	Altura manométrica total, [m]
H_b	Carga hidráulica de bombeo, [m]
h_L	Pérdidas de energía, [m]
H_{Is}	Pérdidas tuberías de succión, [m]
K	Coefficiente de resistencia
L_t	Longitud total del conductor, [m]
L_d	Longitud de descarga, [m]
L_s	Longitud de succión, [m]
D_n	Diámetro nominal, [m]
h_{sp}	Cabeza de presión estática, [m]
h_{vp}	Presión de vapor del fluido, [m]

RESUMEN

Se diseñó una red de agua potable para la junta de aguas de San Vicente de Andoas, Cantón Pedro Vicente Maldonado, Provincia de Pichincha, realizando previamente un estudio topográfico georeferenciado y rediseñando la trayectoria de la línea de suministro para evitar que interfiera en futuras edificaciones. Con un muestreo de caudal en la línea antigua de suministro de agua, se llegó a obtener de 17 muestras un caudal promedio de $0.00378 \text{ m}^3/\text{s}$, dicho valor se tomó como referencia para definir el caudal de diseño de $0.005 \text{ m}^3/\text{s}$ y un diámetro para la tubería de 75 mm, donde se obtuvo una pérdida en la línea de descarga de 118.16 m. Para vencer las pérdidas generadas en la línea de descarga se seleccionó una bomba multietapa de 20 HP con una altura manométrica de 120 m, mediante la bomba escogida se tiene un punto de operación de $0.00576 \text{ m}^3/\text{s}$, este dato se obtuvo mediante la simulación del sistema hidráulico con un software especializado garantizando así la viabilidad técnica del proyecto. Mediante el análisis económico se estimó un valor de \$ 41,432 USD para la ejecución de este proyecto, con una tasa interna de retorno (TIR) del 9.47 %, siendo de esta manera rentable.

Palabras claves: caudal, bomba, hidráulica, diseño, descarga.

ABSTRACT

A drinking water network was designed for the water board of San Vicente de Andoas, Pedro Vicente Maldonado Canton, Pichincha Province, previously carrying out a georeferenced topographic study and redesigning the trajectory of the supply line to prevent it from interfering in future buildings. With a flow sampling in the old water supply line, resulting in an average flow of $0.00378 \text{ m}^3 / \text{s}$, this value was taken as a reference to define the design flow of $0.005 \text{ m}^3 / \text{s}$ and a diameter of 75 mm, where a loss was obtained in the discharge line of 118.16 m. To overcome the losses generated in the discharge line, a 20 HP multistage pump with a manometric height of 120 m was selected, using the chosen pump an operating point of $0.00576 \text{ m}^3 / \text{s}$ was obtained, this data was obtained by simulating the hydraulic system with specialized software thus guaranteeing the technical viability of the project. Through the economic analysis, a value of \$ 41,432 USD is estimated for the execution of this project, with an internal rate of return (TIR) of 9.47 %, thus being profitable.

Keywords: flow, pump, hydraulic, design, discharge.

INTRODUCCIÓN

La Junta de agua potable de San Vicente de Andoas perteneciente al Cantón Pedro Vicente Maldonado, Provincia de Pichincha, cuenta con una red de suministro de agua de 1.5 km desde la toma hasta la planta de tratamiento. El problema surge debido al escaso caudal en el sistema, actualmente, instalado, lo cual no satisface la demanda de la comunidad.

Debido a que la planta de tratamiento de agua no funciona a la totalidad de su capacidad por las fugas de agua que en la mayoría no se pueden identificar por la irregularidad del terreno y esta produce aproximadamente de 3.78 L/s, se ve en la necesidad de diseñar un nuevo sistema de alimentación de agua el cual será para abastecer la demanda y generar de esta manera el mejor aprovechamiento de la planta de tratamiento de agua con un incremento de 5 L/s que se va a producir, con la ayuda de un levantamiento georeferenciado del terreno y del diseño del sistema de transporte de agua, se logrará definir un dispositivo de bombeo, el cual cumpla con el caudal de salida deseado.

Los sistemas de bombeo son un método por el cual un fluido es transportado a lo largo de una red de tuberías hacia un centro de almacenamiento, considerando un gran campo de aplicación en el área de riegos y distribución de agua en lugares de difícil acceso.

En la Junta de agua potable de San Vicente de Andoas, del Cantón Pedro Vicente Maldonado, mientras existe un escaso caudal de salida se ve en la necesidad de realizar el siguiente proyecto debido a que el sistema de bombeo de agua de la toma hasta la planta de tratamiento fue diseñado, antiguamente, para 80 familias, teniendo en la actualidad 280 familias las cuales son aproximadamente 1.120 personas las que se beneficiarán del proyecto satisfaciendo de esta forma la demanda para todas las familias de Andoas.

El proyecto que se realizará tendrá un impacto positivo hacia la comunidad de Andoas, debido a que presenta una limitante para la distribución de agua potable hacia los distintos rincones de Andoas; por lo tanto, con el renovado diseño, la comunidad se beneficiará de este servicio tan importante como es el servicio de agua potable.

El presente estudio de un sistema de bombeo de agua contempla un alcance de:

- Levantamiento georeferenciado de la red de conducción de agua.
- Lista de accesorios, tuberías, válvulas y tipo de bomba.
- Proporcionar una cotización de los equipos y accesorios utilizados para la implementación del sistema.
- Plan de mantenimiento preventivo para el correcto funcionamiento de bombas y accesorios.
- Costos directos e indirectos dentro de la construcción del sistema.

El siguiente proyecto sobre el “Diseño de una red de agua potable de 1,5 km para la Junta de Aguas San Vicente de Andoas, Cantón Pedro Vicente Maldonado, Provincia de Pichincha” fue socializado con las autoridades de la comunidad, tomando en consideración que el proyecto traerá muchos beneficios para los pobladores debido a que el sistema de bombeo ofrecerá un mayor caudal y así no tendrá la población un desabastecimiento de agua.

En el primer capítulo se realiza una recopilación sobre los términos fundamentales que abarcará el proyecto como sistema de bombeo, captación de agua, fluido en las tuberías, bombas, suministro de agua, válvulas, hidráulica, elementos de pase aéreo, materiales para cimentación.

En el segundo capítulo se ejecuta un análisis de alternativa en el cual se determina cuál será la mejor opción para implementar una bomba centrífuga, así como también cuál será la válvula de aire más adecuada para el sistema, y la tubería más apropiada para la ejecución del proyecto, esto se realizará mediante un estudio sobre las ventajas y desventajas de cada elemento.

Para el tercer capítulo se diseñará una red de agua potable de 1.5 km para la junta de aguas San Vicente de Andoas, Cantón Pedro Vicente Maldonado, Provincia de Pichincha, mediante un análisis hidráulico, optando de esta manera por una bomba multietapa de 20 Hp, con una tubería de 3 plg para la línea de succión y descarga.

Por último, se validará financieramente la viabilidad del proyector mediante métodos de VAN y TIR, así como también el costo que tendría la ejecución de este proyecto.

El objetivo general consiste en diseñar una red de agua potable de 1.5 km para la junta de aguas San Vicente de Andoas, Cantón Pedro Vicente Maldonado, Provincia de Pichincha.

Los objetivos específicos son:

- Definir la situación actual del sistema de suministro de agua ubicado en San Vicente de Andoas, y la demanda con la que esta funciona.
- Proponer la alternativa viable a la situación actual de la red de suministro de agua.
- Diseñar un sistema de bombeo de agua de 1.5 km tomando en cuenta el caudal de salida a la planta de tratamiento de agua.
- Validar el diseño mediante software especializado, WaterCAD, para garantizar la viabilidad técnica del proyecto.
- Determinar la rentabilidad del proyecto e indicadores financieros de desempeño.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Historia de sistemas de bombeo de agua

El primer mecanismo de bombeo fue descrito por Arquímedes, el cual tiene el nombre de tornillo de Arquímedes, expuesto en el siglo III a.C, y utilizado por el rey de Asiria en el siglo IV a.C, para el riego de los jardines colgantes de Babilonia [1].

Al Jazari en el siglo XII, diseñó varios tipos de bombas, entre ellas están, bombas reversibles, de doble acción, de vacío, de agua y de desplazamiento positivo. En el año de 1738 se inauguraron las primeras bombas fabricadas en serie realizadas por URAl en Rusia, ya que hasta ese momento todas las bombas eran construidas por los propios inventores [1].

1.2 Conceptos básicos sobre topografía

Se define a la topografía como la ciencia y técnica de medición angular y extensión de terrenos, superficialmente escalados para dar de esta manera la curvatura terrestre, y determinar las coordenadas de puntos que definen la dirección, elevación, áreas de forma gráfica y numérica [2].

La topografía tiene varias aplicaciones en el campo de la ingeniería, como puede ser agrícola, eléctrica e industrial, como instalaciones exactas de máquinas y equipos, e ingeniería de minas para el trazado de túneles y galerías [3].

1.3 Levantamiento topográfico

Es la unión de procedimientos fundamentales para establecer enfoques sobre la superficie terrestre, con características naturales o artificiales de un determinado lugar para determinar la configuración del terreno. En su mayoría, los levantamientos topográficos tienen como objetivo el cálculo de superficies, volúmenes y la representación mediante perfiles y planos, por lo cual estos trabajos son parte de la topografía, donde recibe el nombre de topometría [2].

1.4 Ubicación

El área de estudio se localiza en la Provincia de Pichincha, Cantón Pedro Vicente Maldonado en la comunidad de Andoas en Ecuador, situada a 107 km al Noroccidente de la Ciudad de Quito, tal y como se puede observar en la Figura 1.



Figura 1. Ubicación de San Vicente de Andoas [4].

1.5 Geografía

Las coordenadas geográficas del Cantón Pedro Vicente Maldonado se las obtuvo de Google Maps, localizando la comunidad de Andoas, obteniendo los datos delimitantes que se observan en la Figura 2.

Tabla 1. Tabla de ubicación de San Vicente de Andoas [4].

Latitud	Longitud
0° 4'34.86"N	78°59'48.19"O



Figura 2. Geografía de San Vicente de Andoas [4].

1.6 Concepto básico de captación de agua

Los ríos, lagos y embalses se los denomina captación superficial, se caracterizan por tener la estructura a nivel del terreno teniendo un aprovechamiento del agua del punto de captación al que corresponda, puede ser por gravedad o más frecuentemente por bombeo, garantizando de esta manera la repartición a una población. La configuración del sistema dependerá del caudal y la demanda que se requiera [5].

Es importante el correcto diseño del sistema para obtener un rendimiento y operatividad óptimos. Existen cuatro puntos a considerar en embalses, lagunas y lagos para su diseño [5]:

- Identificar adecuadamente el punto de captación.
- Determinar el diámetro, longitud y tipo de tubería.
- Definir el tipo de toma de agua.
- Delinear flotadores y soportes para la tubería y toma de agua.

El sistema de admisión de agua en ríos, lagos o embalses puede ser de dos tipos: captación protegida (Figura 3) y no protegida (Figura 4).

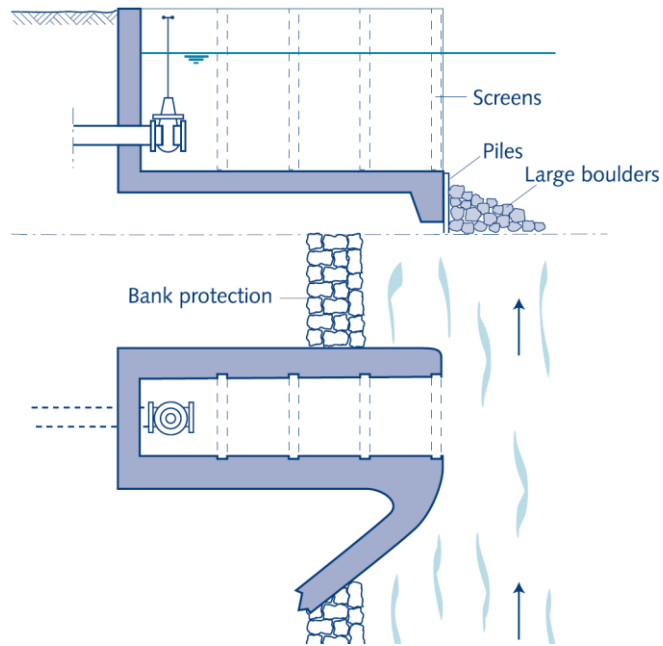


Figura 3. Captación protegida [5].

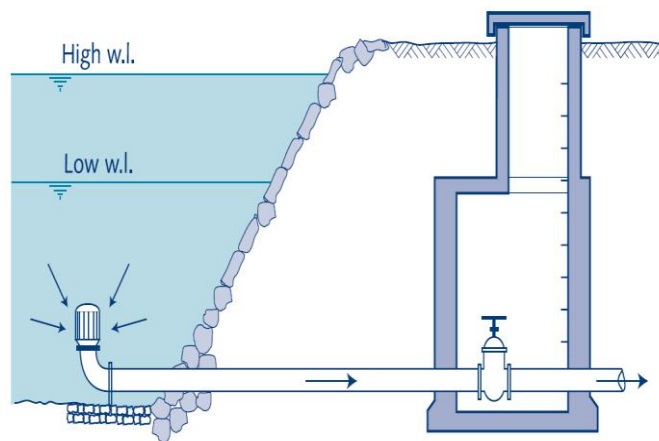


Figura 4. Captación no protegida [5].

1.6.1 Diferencia entre canales y tuberías

Existen algunas diferencias que se pueden establecer entre la tubería y el flujo de algún canal. Se establece que dentro de la tubería el líquido está confinado y en el canal el fluido está en una superficie libre y en contacto con la atmósfera. La diferencia se diría que está en el comportamiento hidráulico de ambas secciones [6].

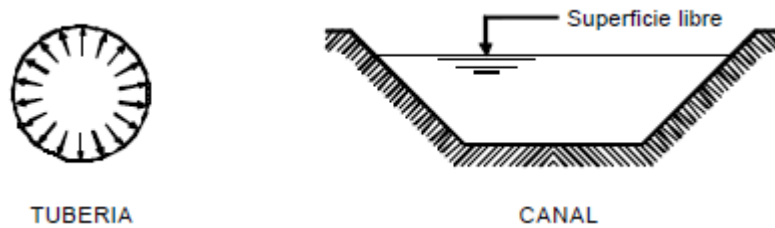


Figura 5. Diferencia entre un canal y una tubería [6]

Dentro de la tubería, la presión que realiza el fluido en cada punto se representa gráficamente por la altura que llega a tener el líquido en un pequeño tubo (piezométrico) unido a la tubería. La altura que alcanza el fluido en el piezométrico, con respecto a un plano horizontal se denomina cota piezométrica [6].

$$h = \frac{P}{\gamma} \quad (1)$$

1.6.2 Ecuación de la continuidad

Para flujos en conductos, con frecuencia se aprecia que el flujo es estacionario y muchas veces la velocidad en una sección transversal es uniforme. En estos casos se considera la velocidad media en cada sección en dirección al eje del conducto y perpendicular. Por lo que la Ecuación de continuidad de un conducto entre dos secciones se define de la siguiente manera [7].

$$S_1 \cdot V_1 = S_2 \cdot V_2 \quad (2)$$

Para el caso donde el flujo puede ser incomprensible, la Ecuación de la continuidad se determina de la siguiente manera:

$$Q = V \cdot A \quad (3)$$

1.6.3 Teorema de Bernoulli

Al tratarse del teorema de Bernoulli, se considera a la Ley de la Conservación de la Energía al flujo de un fluido dentro de un recinto cerrado; la energía total de un punto cualesquiera que esté ubicado por encima de la horizontal previamente definida como referencia, es igual a la suma de la altura geométrica y alturas dependientes de la presión y la velocidad [8].

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} + \frac{P}{\gamma} + Z = \text{constante} \quad (4)$$

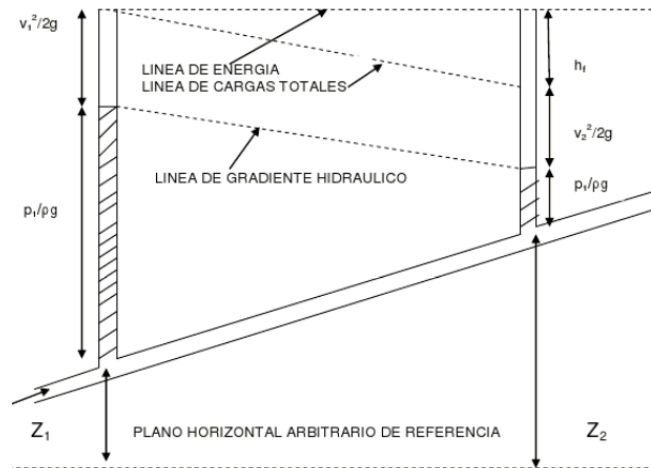


Figura 6. Balance de energía para dos puntos de un fluido [9].

Si se desprecian las pérdidas por rozamiento o la energía en la red de tuberías como pueden ser las bombas o turbinas, la altura total sería constante en cualquier punto del fluido. Por otro lado, en el campo de aplicación esto no se cumple ya que existen varias pérdidas o incrementos que deben considerarse en la Ecuación de Bernoulli [10].

$$\frac{v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho_2 \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 + h_{f_{1-2}} \quad (5)$$

1.7 Regímenes de flujo de fluidos en tuberías

Si la velocidad media o la descarga es pequeña, la lámina del fluido se desplaza en línea recta; sin embargo, según el caudal va aumentando, estas láminas continúan moviéndose

en línea recta hasta una determinada velocidad donde las láminas empiezan a ondularse y romperse en forma difusa y brusca, esto se lo denomina flujo transicional. Por consiguiente, a velocidades mayores a la velocidad crítica, los filamentos se dispersan de manera indeterminada a través de toda la corriente, como se observa en la Figura 7 [8].

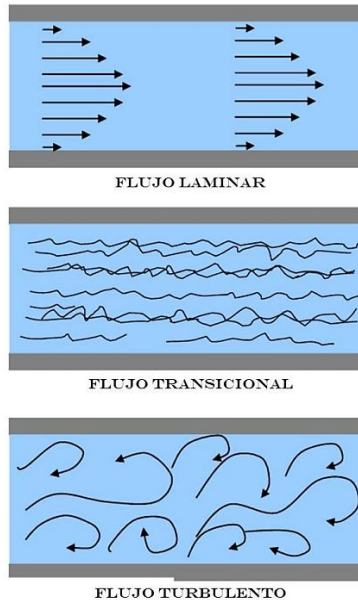


Figura 7. Flujo turbulento [10].

El fluido que permanece a una velocidad por debajo de la crítica se lo conoce como régimen laminar o viscoso; sin embargo, se caracteriza por el desplazamiento de capas concéntricas de forma ordenada. Las velocidades superiores a la velocidad crítica se la denomina turbulenta, donde existe un movimiento irregular e indeterminado de las partículas del fluido en direcciones transversales a la dirección principal del fluido [8].

1.7.1 Velocidad media del flujo

Esta velocidad se refiere a la velocidad media o promedio de cierta sección transversal dada por la Ecuación de la continuidad para un flujo estacionario.

$$V = \frac{q}{A} = \frac{w}{A \cdot \rho} \quad (6)$$

1.7.2 Número de Reynolds

Los estudios de Osborne Reynolds han demostrado que el régimen de flujos en las tuberías, depende de la densidad, viscosidad del fluido, diámetro de la tubería y viscosidad

del fluido. La cuantificación numérica adimensional de estas variables se puede considerar como la relación de fuerzas dinámicas de la masa de un fluido con respecto a la deformación generada por la viscosidad [8].

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

O para la forma más simplificada el número de Reynolds se puede obtener mediante.

$$\text{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (7)$$

En las aplicaciones prácticas del flujo en las tuberías se determina que, si el número de Reynolds es menor que 2.000 para el flujo, éste se señalará como laminar. Consecuentemente si el número de Reynolds es mayor que 4.000 para el flujo se nombrará como turbulento. En el rango del número de Reynolds comprendido entre 2.000 y 4.000 se establece que es imposible predecir a que flujo pertenece, por lo tanto, se le denomina región crítica. Entonces si el flujo se encuentra en la sección crítica, lo recomendable es cambiar de tasa del flujo o diámetro del tubo para que se pueda determinar si el flujo es laminar o turbulento [11].

$\text{Re} < 2100$	Flujo laminar
$2100 \leq \text{Re} < 4000$	Flujo de transición
$\text{Re} \geq 4000$	Flujo turbulento

Debido a que el número de Reynolds es adimensional y todas sus unidades se eliminan, se debe emplear análisis adimensionales para determinar números adimensionales y esto se puede ver en la siguiente Tabla [11].

Tabla 2. Unidades para garantizar que sean adimensionales [10].

Cantidad	Unidades del SI
Velocidad	m/s
Diámetro	m
Densidad	kg / m ³
Viscosidad dinámica	N·s /m ² o Pa·s o kg/m·s
Viscosidad cinemática	m ² /s

1.7.3 Radio hidráulico

Se dice que el radio hidráulico es un parámetro verdaderamente importante para el dimensionamiento de tubos y canales. Sin embargo, es la relación que hay entre el área de la sección transversal y el perímetro mojado de un conducto hidráulico [6].

$$R_H = \frac{A}{P}$$

$$R_H = r \cdot 0.50 \quad (8)$$

1.8 Términos utilizados en sistemas de bombeo

1.8.1 Altura estática de succión

Se determina que la altura estática de succión es la distancia entre la superficie del líquido a impulsar y el eje de la bomba.

1.8.2 Altura estática de descarga

Es la distancia del punto más alto de la instalación que existe debido a los desniveles entre la altura del eje de la bomba y la cota piezométrica superior.

1.8.3 Altura manométrica total

Se define a la altura que la bomba debe vencer, para elevar un caudal de un fluido determinado por medio de una tubería desde un nivel inferior a otro superior, expresado en metros de columna de agua (m·c·a). Se determina mediante la siguiente Ecuación [12].

$$h_A = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + H_g + h_L \quad (9)$$

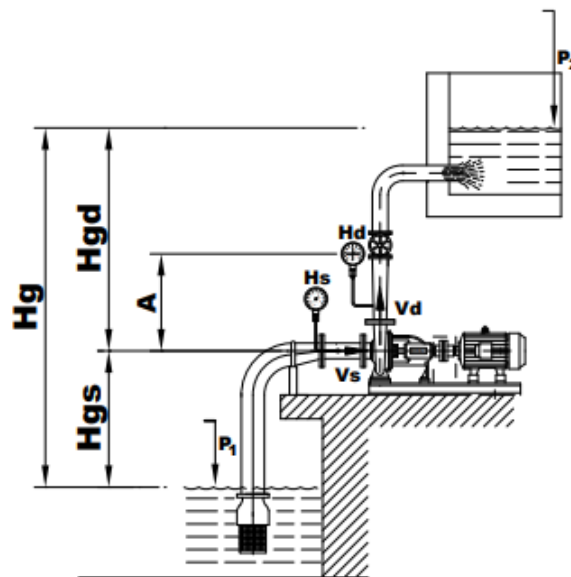


Figura 8. Esquema altura de impulsión [5].

1.8.4 Carga de succión neta positiva

Es importante para el diseño y selección de bombas garantizar que las condiciones de flujo en la entrada de la bomba sean apropiadas para un flujo constante del fluido. Para ello la presión en la entrada del fluido denominado punto de succión es de vital importancia.

El sistema de succión debe diseñarse de tal forma que proporcione una presión, suficiente como para que no exista cavitación. La directriz en la formación de burbujas de vapor depende de la naturaleza del fluido, temperatura y presión de succión [11].

1.8.5 Cavitación

Este fenómeno se debe a bajas presiones en la entrada de la bomba, provocando la formación de burbujas de vapor. Cuando existe cavitación, el rendimiento de la bomba se

degrada notablemente conforme el flujo volumétrico desciende, generando un sonido fuerte e intermitente, provocando la destrucción de los alabes de la bomba [11].

También se dirá que la cavitación está asociada con las estructuras verticales turbulentas de las zonas de separación. La combinación de bajas presiones y la depresión de separación, ocasionan burbujas de vapor [7].

1.8.6 Presión de vapor

Es una propiedad la cual determina las condiciones en donde se puede formar burbujas de vapor. En una sustancia en equilibrio agua-vapor, existe un balance del vapor donde sale del líquido provocado por la energía térmica. Debido a dichas condiciones la presión del fluido se denomina como presión de vapor. Un fluido se lo considera volátil cuando tiene una presión de vapor alta [11].

1.8.7 Pérdidas de carga

Una relación básica utilizada en el diseño hidráulico de un sistema de tuberías es la dependencia del caudal Q sobre la pérdida de carga h_f (m) producida por la fricción del fluido y las paredes de la tubería [13].

La Ecuación de Darcy Weisbach se usa para describir las pérdidas de carga resultante del flujo en tuberías para gran variedad de aplicaciones, y se describe como:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} = 0.0826 \cdot \frac{Q^2}{D^5} \cdot L \cdot f \quad (10)$$

Las pérdidas de carga también se generan cuando hay un cambio de velocidad de flujo, por ejemplo, cambios en la dirección de conducto como curvas, cambios de sección, aperturas de válvulas y aforos [13].

1.8.8 Carga neta de succión positiva disponible (NPSHd)

La carga neta de aspiración positiva disponible es la altura absoluta total de aspiración del líquido, determinado en el plano de referencia del rodete de la primera etapa menos la presión de vapor de líquido a la capacidad específica. Debido a las incertidumbres para

calcular el $NPSH_d$, se recomienda que la $NPSH_d$ tenga al menos 5 pies (1.5 m) más que el $NPSH_R$ o 1.35 veces la $NPSH_R$ como factor de seguridad [11, 13].

Para calcular el $NPSH_d$ de una bomba conectada a un depósito es la siguiente: [7].

$$NPSH_d = \frac{P_{at}}{\rho \cdot g} - \frac{P_v}{\rho \cdot g} - Z - h_f \quad (11)$$

1.8.9 Carga neta de succión positiva requerida (NPSHr)

Esta es la cantidad de altura de aspiración, sobre la presión de vapor, requerida para evitar más del 3 % de pérdida en el total de la altura desde la primera etapa de la bomba, evitando cavitación, este valor se lo proporcionan los fabricantes de la bomba [13]. También hay que tomar en consideración otro factor como la variación del NPSHr con el caudal. Mientras mayor sea la velocidad en la bomba tiene más probabilidad de que exista cavitación. La curva de NPSHr normalmente está dado por los fabricantes de cada bomba junto a la curva de la altura [7].

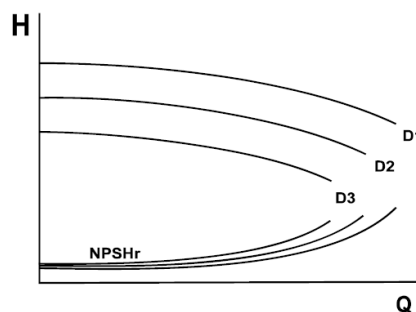


Figura 9. Variación del NPSHr con el caudal [7]

1.8.10 Cebado de la bomba

Se denomina cebado de la bomba a la acción que consiste en llenar de fluido a la cámara de la bomba y tuberías de aspiración eliminando de esta manera las burbujas de aire las cuales pueden provocar cavitación, se lo puede hacer de dos formas, una de ellas es por medio de una bomba de vacío o mediante un By-Pass para llenar la tubería de impulsión [14].

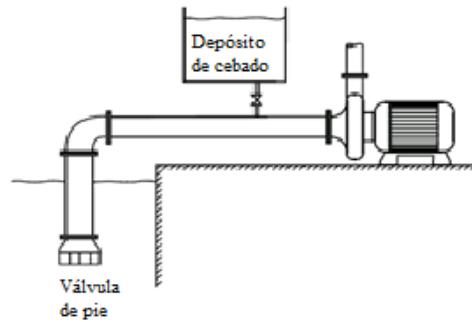


Figura 10. Sistema de cebado [7]

1.8.11 Golpe de ariete

Este fenómeno ocurre cuando el caudal varía rápidamente, como cuando se cierra una válvula o se detiene la bomba, tales perturbaciones crean ondas de presión y velocidad, que se desplazan y pueden ser de gran magnitud. Una de las formas de prever este fenómeno es colocando válvulas de retención, protegiendo de esta manera las tuberías y bombas.

1.8.12 Sistema de suministro

Los sistemas municipales cuentan con uno o más fuentes de suministro, instalaciones y tratamiento adecuado, y un sistema de distribución. Las fuentes de suministro incluyen agua superficial, como la de los ríos o lagos, agua subterránea y en algunos casos agua de mar. El sistema de distribución de agua consiste en una red de tuberías interconectadas para transportar agua al consumidor, depósito de almacenaje para compensar las fluctuaciones de la demanda, e instalaciones de bombeo.

La mayoría de los sistemas requieren bombas para suministrar presión y vencer las diferencias de altura y pérdidas de energía causadas por el rozamiento, almacenaje y red de tuberías como se lo aprecia en la Figura 11.

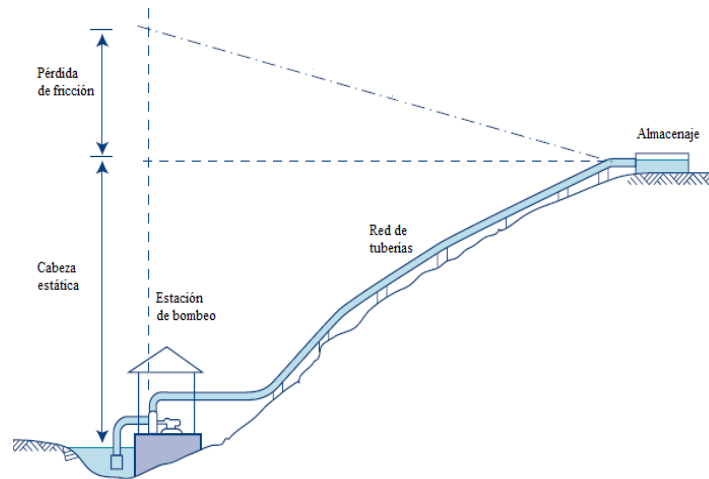


Figura 11. Sistema de suministro de agua [5].

1.9 Sistema de bombeo

Es la operación en conjunto de elementos que tienen como objetivo transportar fluido a través de cañerías para almacenarla, temporalmente, de forma que cumplan con las especificaciones de caudal y presiones óptimas para los diferentes procesos [7].

1.9.1 Partes del sistema de bombeo

Dentro de un sistema típico de bombeo, a más de las tuberías que conectan los puntos de captación y almacenamiento son necesarios otros elementos. Algunos de estos elementos se encargan de proporcionar energía al fluido y almacenarlo en depósitos y otros son elementos de regulación y control como, por ejemplo: válvulas y equipos de medida. La Figura 12 muestra algunos ejemplos típicos de sistemas utilizados [7].

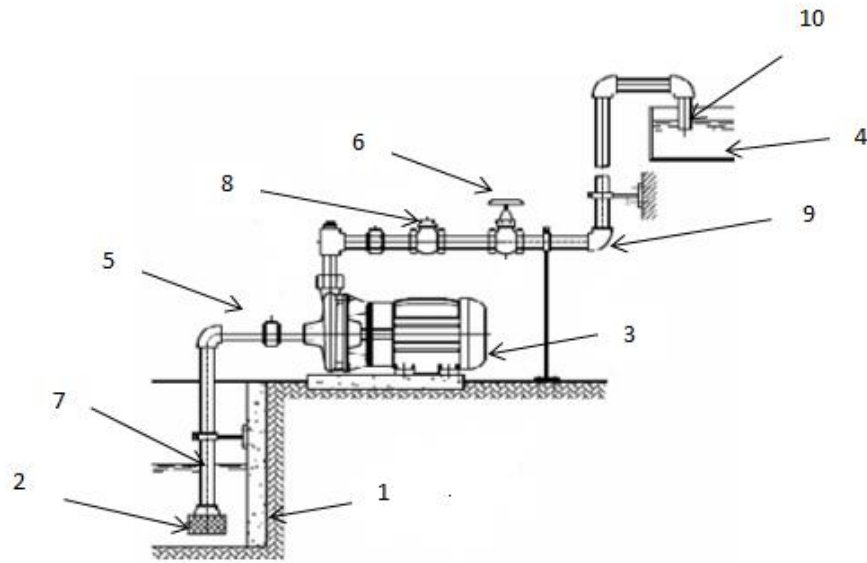


Figura 12. Partes del sistema de bombeo [15]

1. Tanque de captación de agua
2. Válvula de pie
3. Bomba centrífuga, motor, succión, descarga
4. Tanque de depósito de agua
5. Cono difusor
6. Válvula de compuerta
7. Tubería de succión
8. Válvula de retención
9. Codo
10. Tubería de descarga

1.9.2 Problemas de diseño y operación

La exactitud que debe cumplir el sistema de bombeo es que el traslado del fluido de un lugar a otro se dé a un caudal determinado, siendo necesario que el fluido llegue a su lugar de almacenamiento a una determinada presión y con la posibilidad que se pueda variar tanto el caudal como la presión.

El diseño de un sistema de bombeo trata de determinar y calcular tuberías, bombas entre otros de tal forma que permita satisfacer las especificaciones de la manera más económica

y segura posible, tomando en cuenta aspectos de fiabilidad, mantenimiento y facilidad de montaje entre otros factores humanos [7].

1.10 Bombas

1.10.1 Bombas rotodinámicas

Este tipo de bombas se encargan de agregar energía al fluido mediante el efecto centrífugo provocado por alabes montados en un rodete recuperando de esta manera la energía en forma de presión.

Se puede clasificar a las bombas rotodinámicas como, bombas axiales, bombas mixtas y bombas radiales, tomando en cuenta la dirección de salida del flujo con respecto al eje. Las bombas radiales se las conocen con el nombre de bombas centrífugas [7].

Para la utilización de las bombas axiales se tiene que considerar que se necesitan para grandes caudales con pequeñas alturas de elevación [7].

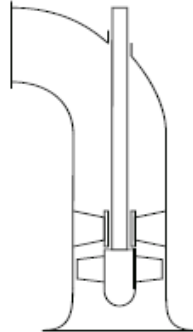


Figura 13. Bomba axial [7]

Las bombas radiales o comúnmente llamadas centrífugas se utilizan para grandes alturas, con pequeños caudales.

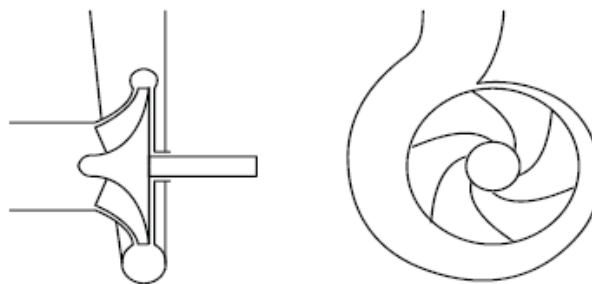


Figura 14. Bomba centrífuga [7]

Al momento de tratar de las bombas mixtas se dirá que es la intermedia entre la bomba axial y la bomba centrífuga.

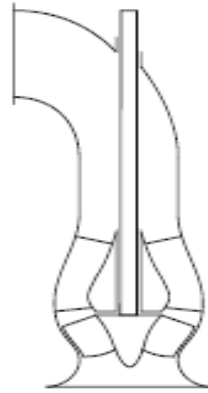


Figura 15. Bomba mixta [7]

1.10.2 Bombas centrífugas

Las bombas centrífugas se utilizan para bombear agua desde depósitos, lagos, arroyos y pozos poco profundos. También se utilizan como bombas de refuerzo en tuberías de riego. Una bomba centrífuga se puede definir como aquella en la que un impulsor que gira dentro de una caja ajustada atrae el líquido en el centro y, en virtud de la fuerza centrífuga, lo expulsa a través de una abertura o aberturas en el costado de la carcasa [16].

1.10.3 Bombas centrífugas horizontales

Se puede describir que las bombas centrífugas horizontales tienen un impulsor vertical sobre un eje horizontal. Las bombas centrífugas horizontales se usan comúnmente en el riego, cisternas, fuentes superficiales y embalses. Cuesta menos, es más fácil de instalar y más accesible para inspección y mantenimiento. Su principal limitación es que la bomba se encuentra por encima de la superficie del agua y la altura de succión está limitada a unos 6.5 m [16]. Por su facilidad de operación y mantenimiento es apropiado para el medio rural. Se clasifican, según la posición del eje de la bomba con respecto al nivel del agua en la cisterna, en bombas de succión positiva y succión negativa. Si la ubicación del eje se encuentra sobre la superficie del agua, la succión es positiva en caso contrario la succión es negativa. La principal desventaja de estas bombas es la limitación en la carga de succión, debido a que su valor máximo teórico que puede operar es el de la presión atmosférica de la zona donde está ubicado [17].



Figura 16. Bomba centrífuga horizontal de dos etapas [17]

1.10.4 Bombas centrífugas verticales

Una bomba centrífuga vertical tiene un impulsor horizontal sobre un eje vertical, teniendo la ventaja de que se puede bajar al pozo, superando de esta manera el problema de la elevación de succión limitada, como en el caso de una bomba centrífuga horizontal. Además, el eje vertical se extiende hasta la parte superior del pozo donde se encuentra la unidad de potencia. Las bombas centrífugas verticales de tipo voluta pueden estar sumergidas o expuestas. El cuerpo de una bomba expuesta, generalmente, se coloca en un sumidero, a un nivel que acomodará el elevador de succión. En una bomba sumergida, el impulsor y la entrada de succión permanecen sumergidos por debajo del nivel del agua. Por lo tanto, la bomba no requiere cebado. Las bombas centrífugas verticales de tipo voluta generalmente se limitan al bombeo desde sumideros o pozos.

Por lo tanto, a menudo se les conoce como bombas de sumidero [16]. Su instalación es directa sobre el punto de captación, por lo cual limita su uso a pozos profundos. Dicha bomba se construye de diámetros pequeños, con el fin de poder introducirlas en las perforaciones de los pozos, los cuales exigen diámetros pequeños por razones de costo. Sus desventajas son la estricta verticalidad de los pozos para su instalación y su ruidosa funcionalidad. El costo de instalación para este tipo de bombas es mucho menor a la de bombas de eje horizontal con el inconveniente de que su operación y mantenimiento requiere de más cuidado y por ende mayores costos [17].

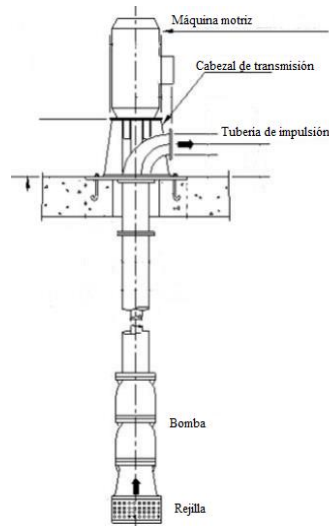


Figura 17. Bomba centrífuga de eje vertical [17]

1.10.5 Bombas sumergibles

Su principal carácter es que el motor y la bomba están acoplados de forma compacta con el fin de poder sumergirla en el punto de captación, su principal aplicación es para pozos profundos donde es más eficiente que una bomba de eje vertical. Su desventaja es de poseer eficiencias relativamente bajas, por ende, aunque su costo es bajo los costos de operación son mayores debido al consumo de energía. Los motores sumergibles son fabricados para operar a velocidades altas sin la oportunidad de modificar su velocidad [17].

1.10.6 Curva característica

La altura de elevación de una bomba está relacionada con el caudal circulante en la bomba, lo cual significa que esto depende del acoplamiento con el sistema. Si se analiza de forma aislada a la bomba, la curva que define la altura entregada por la bomba, con respecto al caudal se lo denomina curva característica [7].

En la Figura 18 se puede observar una curva característica de una bomba centrífuga, mientras que la Figura 19 determina la curva característica de una bomba axial. La pendiente de las dos curvas características es negativa; por lo tanto se puede determinar que mientras mayor sea la altura que exija el sistema, menor será el caudal que la bomba pueda proporcionar [7].

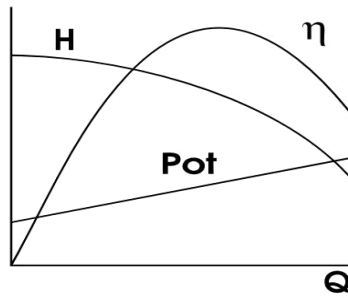


Figura 18. Curva característica de una bomba centrífuga [7].

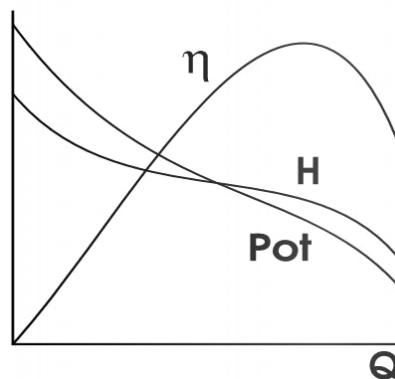


Figura 19. Curva característica de una bomba axial [7].

1.10.7 Potencia hidráulica de la bomba

La bomba para su potencia requerida depende del caudal, éstas tienden a incrementar con el caudal en bombas centrífugas y a disminuir en las bombas axiales.

Para el cálculo de la potencia hidráulica, es decir la que se suministra por la bomba al fluido es:

$$Pot_H = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (12)$$

1.10.8 Cálculo de la eficiencia de la bomba

La eficiencia global de la bomba a la que opera se calcula como el cociente entre la potencia manométrica de salida (P_s) y la potencia mecánica absorbida (P_m), y se designa en el diagrama como potencia externa [18].

Para el rendimiento de la bomba se puede definir mediante la siguiente Ecuación:

$$\eta_B = \frac{\text{Potencia de salida (Ps)}}{\text{Potencia absorbida (Pm)}} \times 100$$

$$\eta_B = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{Pot_B} \quad (13)$$

El rendimiento es máximo cuando llega al punto llamado de diseño de la bomba, y disminuye tanto para caudales superiores como inferiores. Se determina que la potencia como el rendimiento se refiere únicamente a la bomba, sin tener en cuenta el motor que se utiliza para accionarla. Los valores máximos de rendimiento se encuentran entre el 85 y 90 % [7].

Como medir la potencia mecánica por separado y después medir la eficiencia de la bomba, es dificultoso, se recomienda valorar la eficiencia electromecánica del conjunto bomba con el motor [18].

1.10.9 Evaluación de la eficiencia electromecánica

La eficiencia electromecánica pertenece a la eficiencia del conjunto motor-bomba, que se representa gráficamente en la Figura 20.

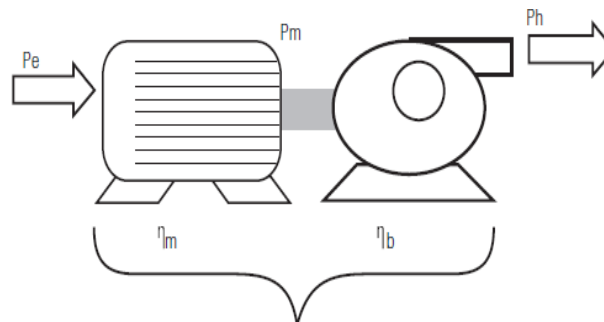


Figura 20. Diagramas esquemáticos de las eficiencias

$$\eta_{em} = \frac{P_h}{P_e} \quad (14)$$

Se debe calcular la potencia manométrica a través de la siguiente fórmula mediante los valores de Q es el dato obtenido en las mediciones de campo, mientras que Y y g son los datos que se obtienen en las tablas de temperaturas del agua.

$$P_h = \frac{H_t \cdot Q \cdot \gamma \cdot g}{100} \quad (15)$$

1.10.10 Carga total de bombeo

Para la carga total de bombeo se obtiene de la siguiente fórmula, según el tipo de mediciones efectuadas.

$$H_t = (p_d - p_s) \cdot 10.3 \quad (16)$$

En el caso de un sistema de bombeo, donde no se puede medir la presión de succión, se puede obtener de la siguiente fórmula [18].

$$H_t = (p_d \cdot 10.3) + N_s + D_{r-m} + h_v + h_{fs} \quad (17)$$

1.10.11 Carga de velocidad

Para la carga de velocidad que está en función del diámetro de la tubería se determina de la siguiente fórmula:

$$h_v = \frac{V^2}{(2 \cdot g)} \quad (18)$$

Pero esto es necesario calcular el área (A), de la sección transversal de la tubería de descarga de la siguiente forma:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (19)$$

Para este cálculo se establece también la velocidad del fluido despejando la velocidad (V) de la ecuación 3 con la siguiente fórmula:

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

1.11 Sistema de suministro de agua

Dentro de un sistema de suministro de agua existe una colección interconectada de fuentes, tuberías y elementos de control hidráulico (por ejemplo, bombas, válvulas, reguladores, tanques) que suministra a los consumidores cantidades de agua a presiones y calidades de agua deseadas. Los sistemas mencionados, con frecuencia se describen en forma gráfica con enlaces que representan las líneas de conducción, nodos que representan las conexiones entre cañerías, dispositivos de control y fuentes de energía.

El comportamiento de un sistema se rige por tres puntos importantes:

- Leyes físicas que definen el comportamiento del flujo dentro de las tuberías y los distintos elementos de control de flujo.
- Las demandas del consumidor.
- La disposición del sistema.

Los problemas de gestión asociados con los sistemas de suministro de agua se pueden clasificar en:

- Diseño (conectividad / topología del sistema).
- Diseño (dimensionamiento del sistema dado un diseño).
- Operación (operación del sistema dada un diseño) [19].

1.11.1 Conducción por gravedad

Este tipo de sistema permite transportar un fluido desde la captación hasta un punto de almacenamiento sin la necesidad de un equipo de bombeo, para esto la fuente debe estar por encima de la comunidad a la que se va a abastecer, manteniendo unas condiciones higiénicas y seguras del agua, aunque en algunos casos no se cumple esto, es necesario instalar una planta de tratamiento de agua para garantizar los requerimientos de la calidad del agua [20]. En gran mayoría de las obras para agua potable, se utiliza tuberías para la conducción del agua. En los sistemas de conducción por gravedad, existen dos tipos de configuración de la línea de conducción, que puede ser libre o a presión, las cuales son las más consideradas en obras de transporte de agua [21].



Figura 21. Tubería en línea de conducción por gravedad [20].

Una de las consideraciones a tener en cuenta es que dentro de un sistema por gravedad la diferencia de alturas, donde, la fuente productora de energía permanece constante. Lo cual es un elemento del cual no se pueda modificar por ello es necesaria diseñar el sistema con un sobredimensionamiento de caudal para que en caso de que la demanda aumente el sistema no quede ineficiente [7].

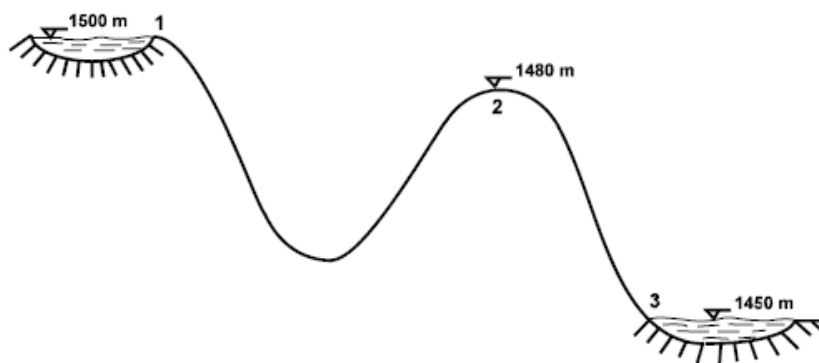


Figura 22. Red general de distribución por gravedad [7].

1.11.2 Conducción por bombeo

El transporte por bombeo de un fluido, consiste en incrementar súbitamente el gradiente hidráulico con el objetivo de vencer todas las pérdidas de energía generadas en las tuberías y accesorios en la línea de conducción [21].

1.12 Válvulas

Las válvulas son elementos mecánicos que se utilizan para modificar el caudal o la presión en un sistema, su accionamiento puede ser automático, manual o semiautomático dependiendo de la función que va a cumplir en el sistema y la frecuencia de apertura de la válvula. Las válvulas de accionamiento manual son usualmente utilizadas en redes de

distribución ya que su apertura no es muy frecuente. En casos de reparación o mantenimiento de las líneas de conducción, las válvulas son muy útiles debido a que pueden aislar ciertos tramos, así como evitar contraflujos y cambiar la dirección del fluido, también son utilizadas para purgar, vaciar, controlar el consumo y regular los niveles en tanques de almacenamiento, en puesta en marcha del sistema sirven para evitar o disminuir golpes de ariete y liberar o ingresar aire para evitar presiones negativas [22].

1.12.1 Válvula de compuerta

Su funcionamiento consiste de una palanca con un movimiento vertical a través del cuerpo de la válvula la cual es perpendicular al flujo. La válvula de compuerta más utilizada es la de vástago saliente. Una de las ventajas de este tipo de válvula es que permite al operador saber con facilidad si una válvula está abierta o cerrada, hay que considerar que la válvula de compuerta debe ser utilizada específicamente en sistemas donde se requiera una apertura y cierre total, ya que si se lo utiliza como reguladora de caudal esta provoca altas pérdidas de carga y cavitaciones. Para válvulas de diámetros mayores a 400mm es recomendable usar una válvula de paso para igualar las presiones en los lados de la válvula y así tener una apertura más suave. Los diámetros recomendados para válvulas de paso se pueden observar en la tabla 3 a continuación [21].

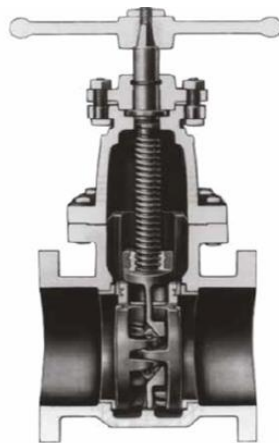


Figura 23. Válvula de compuerta [22]

Tabla 3. Tamaño recomendado para válvulas de paso [22]

Diámetro de la válvula	Diámetro de la válvula de paso
400-500 mm (16-20")	75 mm (3")
600-750 mm (24-30")	100 mm (4")
900- 1050 mm (36 -42")	150 mm (6")
1200 mm (48")	200 mm (8")

1.12.2 Válvula de mariposa

La válvula de mariposa consiste en un disco de 0.25 de vuelta al interior de la tubería esta tiene un grado de apertura de 90° para abrir y cerrar. Se considera que el eje de giro puede ser central o excéntrico, esto es para que la presión de lo que va el fluido favorezca el cierre [7].

El uso de estas válvulas se ha incrementado debido al poco espacio que ésta ocupa, la facilidad de su funcionamiento satisfactorio y, sobre todo, su costo es muy bajo. Al tenerla totalmente abierta, esta produce una pérdida de carga muy pequeña, lo cual es efectiva para válvulas de cierre y en ocasiones se utiliza como válvula reguladora [7].



Figura 24. Válvula de mariposa [7]

1.12.3 Válvula de altitud

Este tipo de válvulas son utilizadas para controlar el nivel de agua en tanques de almacenamiento, se los puede encontrar de doble acción o simple acción, también conocidos como de un sentido o doble sentido de flujo. Las válvulas de acción simple o de

un sentido permite el llenado de un tanque hasta un nivel determinado con la ayuda de una válvula de retención que permite el paso del fluido cuando la presión en la tubería de distribución baja. La válvula de doble acción tiene el mismo funcionamiento con la diferencia que no necesita una válvula de retención. También se los denomina válvulas de altitud a las que tienen un flotador el cual le permite abrir o cerrar el paso, ajustando el suministro [22].

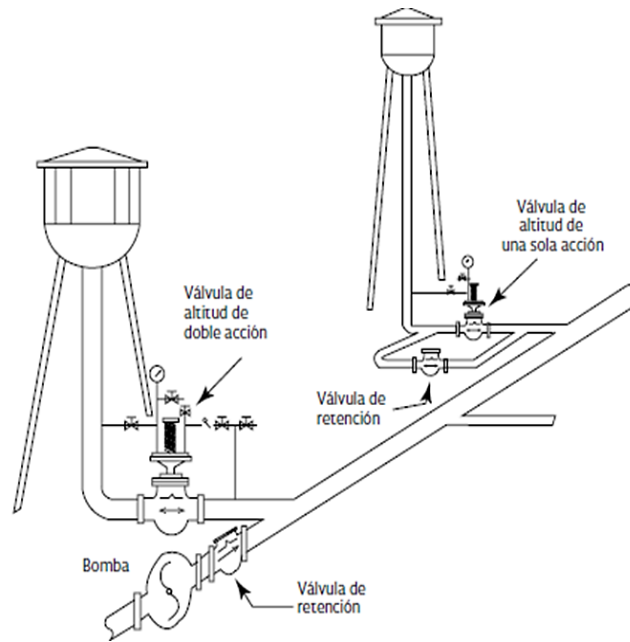


Figura 25. Válvula de altitud en tanques elevados [22]

1.12.4 Válvula de alivio de aire

La válvula de alivio de presión es un dispositivo de seguridad que evita presiones excesivas, y garantizar que no sobrepase la presión de trabajo máxima admisible [23].

Este tipo de válvula es totalmente automática y está diseñada para eliminar la aglomeración de aire en zonas altas del sistema de conducción. La válvula se encuentra normalmente abierta y gradualmente libera aire mediante un orificio el cual es sellado por un flotador que sube y sella totalmente el orificio con gran fuerza, gracias a un mecanismo de palanca que maximiza el peso del flotador cuando existe altas presiones, adicionalmente la válvula tiene puertos de drenaje lavado y pruebas [22].

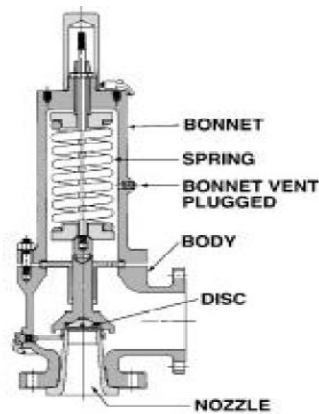


Figura 26. Válvula de alivio de aire [23].

1.12.5 Válvula de admisión y expulsión de aire

Como su nombre lo dice son válvulas que permiten la admisión y expulsión de aire, son muy utilizadas en tramos largos de tubería y en puntos altos donde tiende a acumularse aire provocando una reducción de la capacidad de conducción. Además, de evitar la aparición presiones negativas durante el vaciado de las líneas de conducción los cuales podrían causar daños en las tuberías. El mecanismo de apertura consiste en un flotador dentro de la válvula que cuando acumula aire abre el orificio y cuando no existe aire lo mantiene cerrado, es recomendado para grandes tramos de tubería y donde existan pendiente pronunciadas [22].

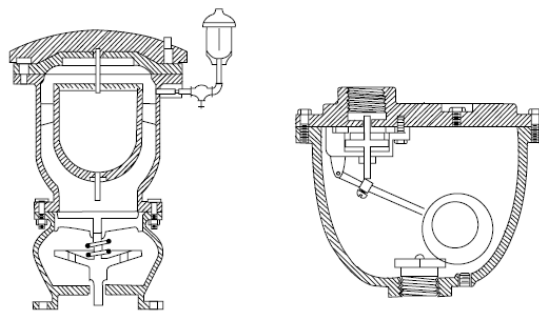


Figura 27. Válvula de admisión y expulsión de aire [21].

1.12.6 Válvula de no retorno

Las válvulas de no retorno permiten que los fluidos fluyan en un único sentido y evitar inundaciones, malos olores, crecidas de ríos, entre otros. La válvula anti retorno está diseñada y construida específicamente para redes de saneamiento. Su principal aplicación

es en casos donde, bajo ciertas condiciones las presiones pudieran invertir el sentido de flujo [22].

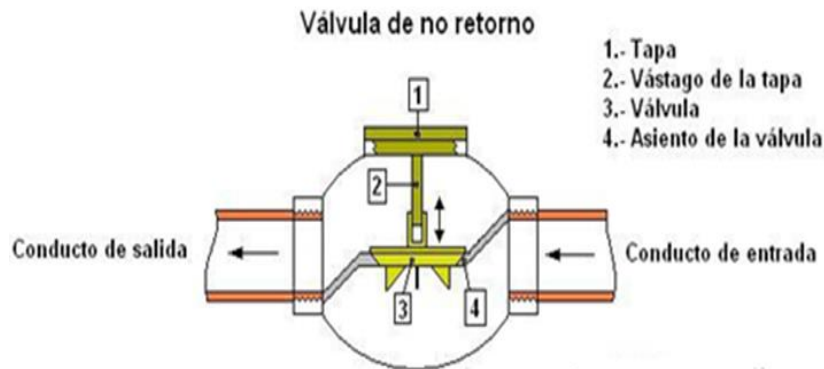


Figura 28. Válvula de no retorno [24].

1.12.7 Válvulas controladoras de presión

Hay gran variedad de válvulas para control de presión como puede ser: reductoras, sostenedoras, anticipadoras de onda y para el control de bombas, teniendo la posibilidad de combinarse entre sí o agregarles la función de válvula de retención.

La válvula reductora de presión evita y disminuye presiones mayores a la establecida, independientemente de los cambios de presión.

La válvula sostenedora de presión mantiene una presión establecida y cuando la presión aguas arriba disminuye esta se cierra gradualmente.

Las válvulas reductoras de presión tienen la ventaja de adaptarse a las condiciones de la cañería siendo variable o no. Es por ello que son más recomendables para redes de distribución en donde las presiones cambian dependiendo a la demanda.

Las válvulas anticipadoras de onda son los dispositivos de seguridad para el conjunto de bombeo la onda es ocasionado por el paro y falla eléctrica de las bombas. Su accionamiento de apertura es inmediato cuando presenta una onda de presión negativa y su evacuación a la atmosfera cuando existe una onda de presión positiva [25].

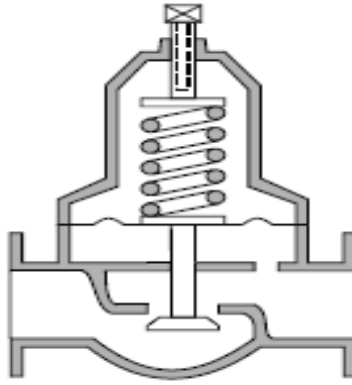


Figura 29. Válvula de controladora de presión [25]

1.13 Modalidades de captación de agua

1.13.1 Aguas subterráneas

La estimación de manantiales subterráneos se efectúa tomando en cuenta la situación actual de la fuente para estimar su caudal esto solo se efectúa cuando una población tenga un problema de sobre explotación o mala calidad de los mantos acuíferos que generan limitaciones para su explotación [26].

1.13.2 Aguas de río o canales de riego

Cuando se carece de manantiales se recurre a la captación directa o indirecta de ríos por medio de algún canal. Las desventajas de captar agua de ríos y canales es que es necesario de incorporar en la línea una planta de tratamiento de agua para garantizar la calidad del agua, la construcción de la captación lo cual conlleva una obra significativa [27].

Las captaciones dentro de canales tienen que garantizar una disponibilidad del agua durante todo el año, debido a que puede tener un servicio estacional, o si es un canal lateral, puede tener períodos sin agua por turnos de riego [27].



Figura 30. Tanque de captación.

Foto tomada por: David Pachacama y Darío Narváez

1.13.3 Manantiales

Es la fuente mayormente utilizada para proveer agua potable a poblados pequeños en donde la demanda no sobrepasa los 5 L/s. Su ventaja es que al ser agua limpia sin sedimentos solo se requiere de una caja contenedora que lo proteja contra contaminantes externos. Una desventaja es que las fluctuaciones del manantial desaparezcan con el tiempo [27].

1.14 Conceptos de hidráulica

1.14.1 Caudal

El caudal denominado con la letra Q, es el volumen de líquido transportado en la unidad de tiempo. Su unidad de medida según el sistema internacional es el m³/hora, L/min y L/s. Por otro lado, en el sistema inglés lo podemos encontrar expresado tanto en galones Igpm o USgpm. La equivalencia entre los dos sistemas de unidades es la siguiente [12]:

$$1 \frac{L}{s} = 60 \frac{L}{m} = 3.6 \frac{m^3}{h} = 13.148 \text{Igpm} = 15.839 \text{USgpm}$$

El caudal volumétrico circundante en un determinado sistema se obtiene multiplicando la velocidad del fluido (v) por el área transversal como se determinó anteriormente en la ecuación 3 [12]:

$$Q = V \cdot A$$

Por otro lado, el caudal masico designado como Q_m , es la cantidad de masa de fluido que circula en la unidad de tiempo. Se determina multiplicando la densidad por el caudal volumétrico del fluido:

$$Q_m = \rho \cdot Q \quad (20)$$

Para el caso del agua la densidad es 1000 Kg/m^3 .

1.14.2 Presión

Es la fuerza que aplica un fluido por unidad de superficie. En el sistema internacional su unidad de medida puede estar expresado en Pascal (Pa): $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$. Al ser una unidad demasiado pequeña se emplea normalmente múltiplos de la misma, kPa, MPa o también el Bar, $1 \text{ Bar} = 100000 \text{ Pa}$ [13].

En el caso de la altura de impulsión, esta se expresa en metros de columna de líquido (mcl), obteniendo una la siguiente ampliación:

$$1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = \frac{10}{\gamma} (m \cdot c \cdot l)$$

1.14.3 Presión Absoluta

Se llama presión absoluta a la medida a partir del cero absoluto (valores positivos).

Presión manométrica es la que se mide a partir de la presión atmosférica en una localización determinada. Cualquier presión por debajo de la atmosférica será una presión manométrica negativa, llamándose entonces depresión [5, 12]:

Con respecto a lo anunciado anteriormente se puede determinar la siguiente equivalencia:

$$\text{Pr.}_{abs} = \text{Pr.}_{man} + \text{Pr.}_{atm} \quad (21)$$

1.15 Conductos o pases aéreos de agua

Son estructuras o conductos donde permite el paso de una distancia considerable de la tubería a través de un accidente topográfico natural o artificial, compuesta por medio de elementos de acero o por columnas de concreto armado en cada extremo. Por medio de los extremos de las columnas pasa un cable de acero que tiene por objetivo sostener la tubería mediante péndolas distribuidas equitativamente a lo largo de todo el tramo.

Estos cables se encuentran apoyándose a cada columna y sostenidos mediante anclajes de concreto [28].

1.16 Tipos de pases aéreos

Se clasifican según la finalidad, según el tipo de sistema estructural o material principal, por lo tanto, se va a clasificar mediante el tipo de sistema estructural en donde se tiene: [28].

1.16.1 Colgantes

Estructura constituida básicamente de cables curvos, donde soporta la carga transmitida por las péndolas sosteniendo a la tubería y armadura.

1.16.2 Atirantados

Constituido por una armadura donde soporta la tubería suspendida por los cables inclinados que se fijan en las torres. Las torres tienen formas variables como de haz o abanico o como arpa.

1.16.3 Viga

Esta estructura es la más simple para su construcción, determinado mediante vigas que soportan las cargas del conducto aéreo. Este tipo de pases se utiliza para luces de poca longitud.

1.17 Métodos de diseño para las estructuras de pases aéreos de acero

1.17.1 Diseño por fuerzas de trabajo

Trata de que los elementos estructurales se diseñen a modo de que las fuerzas unitarias no se excedan a las fuerzas predefinidas. Está definida por una fuerza dividida por el factor de seguridad.

$$\text{Fuerza actual} \leq \text{Fuerza admisible} \quad (22)$$

1.17.2 Diseño por estados límites

Elaborado para mejorar del método de las fuerzas de trabajo, este enfoque hace uso del rango plástico para los diferentes miembros estructurales. Una ventaja es que considera esta variación mediante la definición de límite de resistencia [28].

$$\text{Resistencia proporcionada} \geq \text{Resistencia requerida} \quad (23)$$

1.17.3 Método de diseño por factores de carga y resistencia

Se basa en la aplicación de cargas combinadas para un solo elemento sin estado limite, lo cual se entiende que dicho método satisface que la resistencia de diseño es mayor o igual a la requerida, de acuerdo a las combinaciones establecidas por el diseño por factor de carga y resistencia [28].

$$\sum \lambda_i Q_i \leq \phi R_n \quad (24)$$

1.17.4 Método de diseño por tensiones admisibles (ASD)

Este método se basa en que la resistencia debe ser mayor o igual a la resistencia requerida, la diferencia radica en que para este método se utiliza un factor de reducción llamado factor de seguridad.

$$\frac{\phi R_n}{\gamma} \geq \sum Q_i \quad (25)$$

1.18 Elementos necesarios para un pase aéreo de agua potable

Los elementos necesarios para la estructura del conducto aéreo en el siguiente proyecto están basados en la superestructura y la cimentación.

1.18.1 Superestructura

Es la parte del conducto aéreo donde permite la continuidad del tubo de PVC proyectado. Este soporta las cargas que son transmitidas al terreno mediante la cimentación. Estas superestructuras están compuestas de algunos elementos como se describe a continuación.

1.18.2 Péndolas

Las cuales transmiten la carga de la tubería de PVC hacia el cable principal.

1.18.3 Torres de sustentación

Éstas transmiten la tensión del cable principal a la cimentación.

1.18.4 Cable principal

Este cable distribuye las cargas longitudinalmente y son diseñados para resistir la tensión.

1.19 Cimentación

Elementos estructurales que se encargan de transmitir las cargas de las superestructuras al suelo. Su diseño depende de las condiciones de carga que se especifica en el análisis estructural [28].

1.20 Materiales

Para la construcción de los conductos aéreos se necesita algunos materiales necesarios para su construcción como: cables de acero, péndolas, abrazaderas, pernos de sujeción, barras de anclaje, acero de refuerzo [28].

1.20.1 Cables de acero

Son elementos flexibles a tensión que están constituido por uno o más grupos de cables, cordeles o barras. Siendo estos de vital importancia para resistir las cargas externas en la estructura [28].

1.20.2 Concreto

Es la mezcla del cemento, arena gruesa, agua y piedra. La cantidad de cada uno de estos elementos dependerá de la resistencia que se quiera obtener.

1.20.3 Aceros de refuerzos

Estos se colocan para absorber las fuerzas provocadas por las cargas y cambios volumétricos por temperatura, este se encuentra en el interior del elemento de concreto [28].

1.20.4 Péndolas

Las péndolas son elementos que transmiten la carga de las vigas de rigidez a los cables que están formados por uno o más nudos, se colocan verticalmente para aumentar la variación de esfuerzos debido a la sobrecarga [28].

CAPÍTULO II

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

2.1 Selección de bombas

2.1.1 Selección a partir de los parámetros adimensionales

Se debe considerar que la selección de las bombas se debe partir mediante el NPSH, caudal y altura de elevación. Para el NPSH y caudal se determina la velocidad de giro y el diámetro de entrada, estos valores deben estar limitada a valores prácticos. Los posibles motores a emplear. Una vez hecho esto, y dependiendo de la velocidad específica, se elige un tipo de máquina axial, mixta o radial [7].

2.2 Bombas cinéticas de flujo radial

Una de las bombas cinéticas más conocidas y utilizadas en las industrias es la bomba centrífuga de flujo radial, la cual su objetivo principal es agregar energía al fluido cuando es acelerado con la rotación de un impulsor, donde el fluido es llevado hasta el centro del impulsor y lanzado hacia afuera por las aspas. Al salir del impulsor el fluido pasa por unas aspas en forma de espiral, donde baja en forma gradual y ocasiona que parte de la energía cinética se convierta en presión de fluido [11].

2.2.1 Alternativa 1: Bomba centrífuga multietapa modelo MF-25

- Descripción:

Las bombas modelo MF-25 están disponibles hasta 4 etapas, permitiendo 15 opciones de montaje, con potencias de 12.5 a 40 Hp. Alcanzan presiones de hasta 240 (m·c·a), con caudal de 40 m³/h. El sellado en el eje está asegurado por un sello mecánico, puede soportar una temperatura máxima del líquido de 80 °C, diseñada para servicio continuo y pesado [29].



Figura 31. Bomba centrífuga multietapa horizontal [29].

- Ventajas:

- a) Bomba de bajo costo y fácil accesibilidad en el país.
- b) Menor consumo de energía.
- c) Amplio rango de presión de 60 a 220 (m·c·a), sirviendo así a numerosas aplicaciones.
- d) Buena relación tamaño potencia.

- Desventajas:

- a) El fluido debe estar libre de impurezas para su operación.
- b) Debe tener una fuente de energía de 220 V para su correcto funcionamiento.

La característica técnica de bomba modelo MF-25 se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4. Datos técnico bomba centrífuga modelo MF-25 [29].

Bombas serie e-1531	
Caudal	39 m ³ /h
Altura manométrica de trabajo	220 m
Potencia	12.5 – 40 Hp (3500 RPM)
Máxima temperatura de trabajo	80 °C
Voltaje	Trifásico 220/ 380/ 440 V

2.2.2 Alternativa 2: Bomba centrífuga serie e-1535

Bomba de acoplamiento cerrado, esta bomba retráctil ofrece facilidad de servicio además que se puede montar vertical u horizontalmente, su diseño de rodamientos de bolas y sello mecánico con enjuague interno proporciona un servicio largo y confiable, y el tamaño de succión final está disponible de 1 plg a 1.5 plg.



Figura 32. Bomba serie e-1535 [30].

- Ventajas:
 - a) Facilidad de servicio y seguridad al operario por su acoplamiento cerrado.
 - b) Disponibilidad de montaje en vertical u horizontal.
 - c) Tamaño compacto y fácil instalación.
 - d) Flexibilidad de voltaje 110/220 V monofásico.

- Desventajas:
 - a) Bajo rango de altura manométrica.
 - b) El fluido de trabajo debe estar libre de impurezas para evitar fallos de la bomba.
 - c) Sello susceptible a desgaste por fluidos abrasivos.

Las bombas de la serie e-1535 presentan las siguientes características técnicas.

Tabla 5. Bomba Bell & Gossett serie e-1535 [30].

Bombas serie e-1535	
Caudal	54.51 m ³ /h
Altura manométrica de trabajo	35 m
Presión máxima de trabajo	1206.58 kPa
Potencia	1/3 – 5 Hp (3500 RPM)
Máxima temperatura de trabajo	107 °C
Voltaje	Monofásico 110 / 220 V

2.2.3 Alternativa 3: Bomba centrífuga serie e-1532

Bomba de voluta con patas, reduce el consumo de electricidad, mejora el rendimiento general del sistema, la serie e-1532 está disponible en 26 tamaños y una amplia opción de configuraciones que permite la personalización y flexibilidad para adaptarse a una amplia gama de operación su campo de aplicación es en sistemas de calefacción y refrigeración hidráulicos, servicio general. Torres de refrigeración y usos industriales.

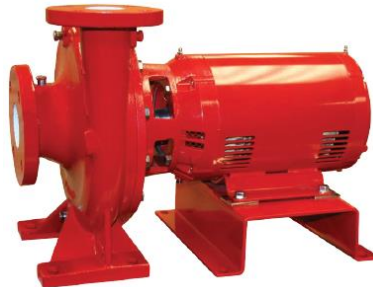


Figura 33. Bomba centrífuga Bell & Gossett serie e-1532 [31].

- Ventajas:
 - a) Impulsores de acero inoxidable equilibrados
 - b) Diseño de atracción posterior para facilitar el mantenimiento
 - c) Amplio rango de operación.
 - d) Tamaño configurable según requerimientos.

- Desventajas:
 - a) De mayor tamaño a diferencia de las dos anteriores
 - b) Costo censurablemente más alto.

- c) Requerimiento de una central de energía trifásica de 220/440 V para su funcionamiento.

Tabla 6. Bomba centrífuga Bell & Gossett serie e-1532 [31].

Bombas serie e-1532	
Caudal	567.81 m ³ /h
Altura manométrica de trabajo	123 m
Presión máxima de trabajo	1206.58 kPa
Potencia	3/4 – 50 Hp (3500 RPM)
Máxima temperatura de trabajo	107 °C
Voltaje	Monofásico 220/440 V

2.2.4 Comparación para bombas centrífugas

Para generar un intervalo de valorización que permita comparar los detalles que genera la instalación de la bomba, se define numéricamente de 1 a 10 siendo 1 muy malo y 10 muy bueno.

Tabla 7. Tabla comparativa para diferentes modelos de bombas

		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
ITEM	DETALLE	MF-25	Serie e-1535	Serie e-1532
1	Costo	6	5	7
2	Mantenimiento	8	8	7
3	Accesibilidad de repuestos	8	9	7
4	Caudal de funcionamiento	8	5	8
5	Potencia	8	5	7
6	Altura manométrica	9	5	9
Total		47	37	45

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

Con los parámetros de comparación y valoración de las diferentes bombas se procede a seleccionar la bomba centrífuga multietapa modelo MF-25, debido a su costo, mantenimiento y a su relación tamaño-potencia que permite un mejor rango de operación.

2.3 Tuberías

2.3.1 Alternativa 1: Tubería de polivinilo de cloruro (PVC)

Las tuberías de PVC son de bajo precio y accesibilidad, principalmente se utilizan en sistemas de abastecimiento, captación, tratamiento, conducción y distribución de agua. Tuberías con una gama apropiada de presiones, lo que permite diseñar redes de alta eficiencia hidráulica [32].



Figura 34. Tubo PVC [32].

- Ventajas:
 - a) Resistente a soluciones acidas, salinas y residuos industriales.
 - b) Menor coeficiente de fricción.
 - c) Facilidad de instalación.
 - d) Resistente a la corrosión.
 - e) Bajo costo.

- Desventajas:
 - a) Deformación a altas temperaturas debido a la radiación solar.
 - b) Para la instalación se requiere mano de obra especializada para evitar fugas.
 - c) Costos elevados en diámetros mayores a los 200 mm.

El espesor de la pared de la tubería con respecto a la presión y al diámetro nominal de la tubería se lo puede apreciar en el Anexo 2.

2.3.2 Alternativa 2: Tuberías de polietileno de alta densidad

Los tubos de alta densidad en su pared de polietileno resistente a los aplastamientos, tiene una presentación de tramos de 6 m de largo. La resistencia de la pared del tubo es diseñada para cada proyecto individualmente, agregando o disminuyendo capas [33].



Figura 35. Tubería HDPE [33].

- Ventajas:
 - a) Estructura resistente y gran flexibilidad.
 - b) Resistencia a ataque químicos y abrasivos.
 - c) Baja conductividad térmica para evitar dilataciones
 - d) Tramos de gran longitud y diámetros.

- Desventajas:
 - a) Costo considerablemente alto
 - b) El montaje se debe realizar con personal especializado.
 - c) No permite uniones roscadas.

2.3.3 Alternativa 3: Tubería de hierro fundido

Los tubos de hierro fundido son elementos de calidad, desempeño y de alta tecnología, usados normalmente en sistemas de alcantarillados, riego e instalaciones industriales, se caracterizan por su resistencia y larga vida [34].



Figura 36. Tubo de hierro fundido [35].

- Ventajas:
 - a) Alta resistencia al impacto para soportar manipulación inapropiada.
 - b) Bajo mantenimiento ya que su vida útil está estimada para 100 años.
 - c) Fácil instalación ya que requiere menos apoyo que otros tipos de tubería.
 - d) Amplias presiones de operación.

- Desventajas:
 - a) Precio relativamente alto a comparación de otros tipos de tubería
 - b) La instalación debe hacer con personal capacitado.
 - c) Difícil manipulación debido a su peso.

En el mercado nacional se puede encontrar una gran variedad de dimensiones de tubería para diferentes aplicaciones, se puede apreciar las especificaciones técnicas de una tubería de hierro fundido célula 40 comercializada por Dipac en el Anexo 3.

2.3.4 Tabla de comparación para tuberías

Para generar un intervalo de valorización que permita comparar los detalles que genera la instalación de tubería, se define numéricamente de 1 a 10 siendo 1 muy malo y 10 muy bueno.

Tabla 8. Tabla de comparación de tuberías

		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
ITEM	DETALLE	Tubería PVC	Tubería de polietileno	Tubería de hierro fundido
1	Costo	9	5	4
2	Mantenimiento	8	7	6
3	Dificultad de instalación	8	5	5
4	Presión de funcionamiento	6	8	9
Total		31	25	24

Elaborado por: David Pachacama y Dario Narváez

Mediante el criterio de evaluación de alternativas para la selección de tubería se concluye que la más óptima es la tubería de PVC debido a su bajo costo, facilidad de instalación y su mantenimiento moderado.

2.4 Válvulas de aire

Para que una conducción presente un comportamiento correcto en condiciones normales de flujo requiere de válvulas que controlen el aire, tanto en llenado y vaciado. Cuando la conducción se llena es necesario remover el aire existente para evitar sobrepresiones en el caso del vaciado es necesario admitir aire para evitar subpresiones que pongan en peligro la tubería. El agua en condiciones normales contiene aproximadamente un dos por ciento de aire disuelto. La presión y la temperatura en la tubería rigen la solubilidad del aire por lo que en los puntos altos del perfil este se separa y queda atrapado, haciendo necesaria su eliminación [36].

2.4.1 Alternativa 1: Válvula BX-05-61 AVUSE -1

En la siguiente Figura se indica la válvula purgadora poliméricos para agua residuales.



Figura 37. Purgador polimérico para agua residual [36].

Esta válvula está dotada de un purgador automático, capaz de quitar el aire a presión, que se acumula en puntos altos del sistema.

- Ventajas

- a) Se debe realizar en cada cambio abrupto de pendiente para evitar bloqueos de bolsa de aire.
- b) Mantenimiento factible por su rápida apertura de sus abrazaderas.
- c) Sus partes mecánicas no tiene contacto con el agua.

- Desventajas

- a) Se realiza a intervalos muy cortos a regulares de 400 m para evitar el golpe de ariete.

Tabla 9. Datos técnicos válvula [36].

Datos técnicos válvula purgadora de agua	
Diámetro nominal	DN50
Presión máxima	1000 kPa
Límites de temperatura	1 a 70 °C

2.4.2 Alternativa 2: AV-10 PN10

En la siguiente Figura se indica la válvula de aire:



Figura 38. Válvula de aire AV-10 PN10 [37].

La válvula AV-010 de aire y vacío durante el drenaje admite la entrada de grandes cantidades de aire en el sistema o si hubiera una rotura, mediante esto se evita la formación de vacío. Cuando la tubería es evacuada, y a medida que disminuye el caudal del agua se abre la válvula y se ingresa caudales de aire con presión negativa. Se libera aire en grandes cantidades de aire mediante la válvula cuando se llena la tubería [37].

- Ventajas
 - a) Su diseño completamente aerodinámico. Impide su cierre anticipado sin alterar la entrada o salida del aire.
 - b) Trabaja mediante 2 fases, orificio automático (patente pendiente) – Minimiza las salpicaduras durante la descarga de aire.
 - c) Estructura fiable, sencilla, robusta, compacta, totalmente resistentes a la corrosión, mínimo mantenimiento y larga vida útil.
- Desventajas
 - a) Dispositivo susceptible a taponamiento de su válvula de desfogue de aire.
 - b) Se debe limpiar el entorno donde está ubicada la válvula.

Tabla 10. Datos técnicos de válvula de aire C70 [37].

Datos técnicos válvula purgadora de agua	
Alcance	7 a 18 m
Presión máxima	1600 kPa
Temperatura de trabajo	60 – 90 °C

2.4.3 Válvula DAV-P-A

En la siguiente Figura se indica la válvula de aire DAV-P-A.



Figura 39. Válvula de aire DAV-P-A [38].

Esta válvula está diseñada para una liberación de aire atrapado de la tubería, mientras que la red está a presión de trabajo normal. Debido al orificio relativamente grande, en comparación con otras válvulas automáticas en el mercado, también puede liberar el aire a través del llenado inicial de una tubería de diámetro pequeño [38].

Tabla 11. Datos técnicos de válvula de aire DAV-P-A [38].

Datos técnicos válvula purgadora de agua	
Alcance	4 a 9.5 m
Presión máxima	1600 kPa
Temperatura de trabajo	60 °C

2.4.4 Tabla de comparación para válvulas de aire

Para obtener la mejor valoración con respecto a la válvula se seleccionará un intervalo de 1 a 10 siendo el 1 como el menos factible para el trabajo y 10 el mejor equipo para trabajar, mediante los factores de alcance, presión máxima de trabajo. Para escoger la mejor alternativa se tendrá que escoger el más alto al sumar todas las alternativas.

Tabla 12. Tabla de comparación de válvulas de aire

		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
ITEM	DETALLE	BX-05-61 AVUSE -1	AV-10 PN10	DAV-P-A
1	Alcance	5	8	7
2	Presión Max.	9	8	8
3	Temperatura de trabajo	6	8	7
TOTAL		20	25	22

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

CAPÍTULO III

CÁLCULOS PARA DETERMINAR FLUJO HIDRÁULICO

3.1 Criterios para la línea de conducción

En el diseño de la línea para la conducción del agua, se realizará pruebas de caudal que debía ser necesario para el siguiente proyecto, resultado el establecido en la Tabla 13.

Tabla 13. Tomas de tiempo para 22 L.

Muestra	Tiempo [s]
1	5.62
2	5.9
3	5.81
4	5.91
5	5.77
6	5.87
7	5.91
8	5.99
9	5.74
10	5.91
11	5.95
12	6.16
13	5.57
14	5.73
15	5.6
16	5.68
17	5.83

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

$$M = \frac{5.62+5.9+5.81+5.91+5.77+5.87+5.91+5.99+5.74+5.91+5.95+6.16+5.57+5.73+5.6+5.68+5.83}{17}$$

$$M = 5.81 \text{ [s]}$$

Con los datos obtenidos en el muestreo con un recipiente de 22 L, el cual se llenó completamente en cada muestra se calcula el valor medio para 17 tomas. La desviación del muestreo se ilustra en el siguiente gráfico.

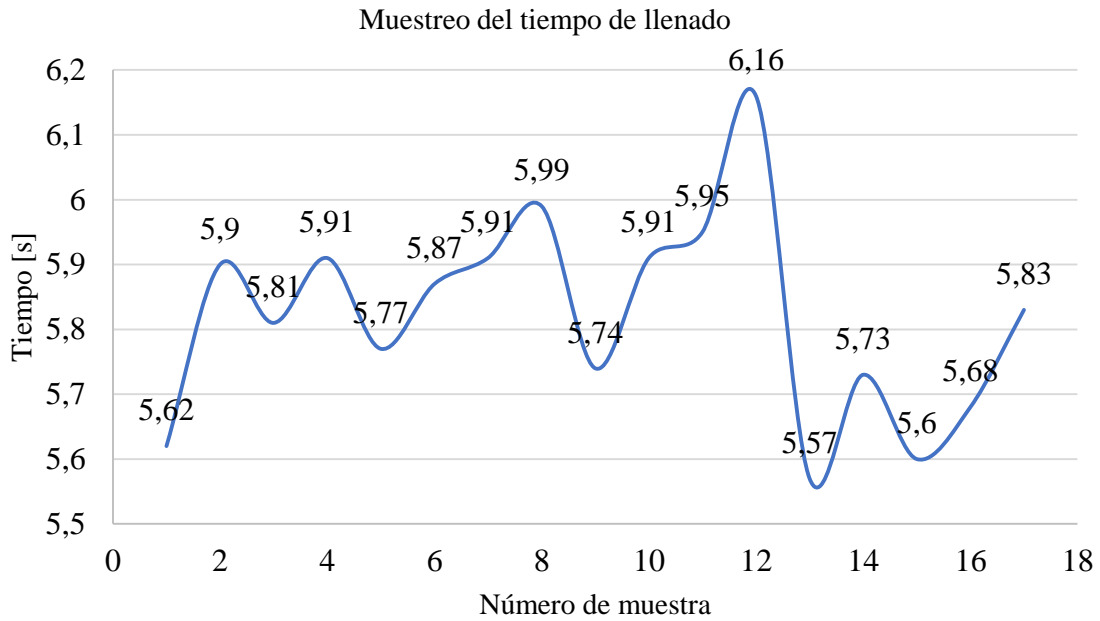


Figura 40. Desviación de muestreo.

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

Utilizando la ecuación 3 de caudal se obtiene la cantidad de volumen de agua que sale del sistema en un segundo.

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{22 \text{ [L]}}{5.81 \text{ [s]}}$$

$$Q = 3.78 \text{ [L/s]}$$

$$Q = 3.78 \times 10^{-3} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

El resultado obtenido es una referencia para el nuevo sistema debido a que la red de agua ya existente pueda tener fugas debido a las construcciones realizadas por encima de esta red, las cuales pudieron generar roturas en la línea de conducción. Bajo este criterio se redefinió, el caudal de salida y la trayectoria de la línea de conducción para el nuevo sistema, dicho caudal $Q = 5 \times 10^{-3}$, a una temperatura de $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, con una viscosidad $\nu = 8.94 \times 10^{-7} \text{ m}^2\text{/s}$ y un peso específico de $\gamma = 9.78 \text{ kN/m}^3$

$$L_{descarga} = L_{total} - L_{succión} - L_{Tubería} \quad (26)$$

$$L_{Total} = 1467.53 \text{ [m]}$$

$$L_{succión} = 11.01 \text{ [m]}$$

$$L_{Tubería_Acero_2 \text{ plg}} = 6 \text{ [m]}$$

$$L_{descarga} = L_{total} - L_{succión} - L_{tubería}$$

$$L_{descarga} = 1467.53 - 11.01 - 6$$

$$L_{descarga} = 1450.51 \text{ [m]}$$

3.2 Cálculo para el diámetro nominal de la tubería

Para el diámetro nominal más adecuado de la tubería, se obtiene tomada de la ecuación 3, donde se despeja el diámetro y es ahí donde se aprecia el diámetro requerido, tomando como velocidad de referencia 1.2 m/s, valor recomendado para líneas de conducción de agua [13].

$$Q = V \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (27)$$

Se procede a despejar D de la ecuación para determinar el diámetro nominal D_n .

$$D_n = \sqrt{\frac{5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 4}{1.2 \text{ m/s} \cdot \pi}}$$

$$D_n = 0.07283 \text{ [m]}$$

$$D_n = 72.83 \text{ [mm]}$$

Después de haber obtenido un diámetro nominal de 72.83 mm que es el más adecuado para la tubería, se observa en el Anexo 4, en donde se recomienda un DN de 75 mm comercialmente equivalente a 3 plg.

$$D_{\text{interior}} = 67.6 \text{ [mm]}$$

$$D_{\text{interior}} = 0.0676 \text{ [m]}$$

3.3 Cálculo de la succión negativa

En esta sección se va a determinar el área de succión negativa que es necesaria para obtener los cálculos requeridos, Se procede a obtener la rugosidad relativa de la tubería, donde, es el cociente entre el diámetro de la tubería y la rugosidad absoluta ε y su valor siempre va a salir adimensional.

$$A_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A_1 = \frac{\pi \cdot [0.0676(m)]^2}{4}$$

$$A_1 = 3.589 \times 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\frac{D}{\varepsilon} = \text{rugosidad relativa} \quad (28)$$

$$\frac{D}{\varepsilon} = \frac{0.0676 \text{ [m]}}{1.5 \times 10^{-6} \text{ [m]}}$$

$$\frac{D}{\varepsilon} = 45066.67$$

3.4 Velocidad real de diseño

Una vez obtenido el caudal necesario para todo el sistema y su respectiva área, se procede a conseguir la velocidad real del diseño.

$$Q = V \cdot A$$

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

$$V = \frac{5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{3,589 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$V = 1.3931 \text{ m/s}$$

3.5 Cálculo del número de Reynolds

Para saber si el flujo dentro del sistema será laminar o completamente turbulento, esto se determina obteniendo el número de Reynolds, es así donde depende de la velocidad del fluido, la viscosidad cinemática y su diámetro.

$$\text{Re} = \frac{V \cdot D_{\text{int}}}{\nu}$$
$$\text{Re} = \frac{1.39311 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \cdot 0.0676 \text{ (m)}}{8.94 \times 10^{-7} \left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right)}$$
$$\text{Re} = 105340.629 \text{ [Turbulento]}$$

Obtenido el número de Reynolds se procede a calcular el factor de fricción en base al flujo turbulento, este factor sirve para calcular las pérdidas de carga dentro de la tubería debido a la fricción que existe.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{D}{\varepsilon} \right)} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (29)$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7(225333.33)} + \frac{5.74}{(105343.009)^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.0178$$

3.6 Cálculo de la carga mayor

Se procede a calcular la carga mayor en la línea de descarga, mediante la ecuación de Darcy para pérdida de energía, donde se debe verificar que el número de Reynolds sea mayor a 4000, para asegurarse que sea flujo turbulento.

$$\text{Turbulento } \text{Re} > 4000$$

$$h_L = f \cdot \frac{L_{descarga}}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

$$h_L = 0.0176 \cdot \frac{1456.24 \text{ m}}{0.0676 \text{ m}} \cdot \frac{(1.39311 \text{ m/s})^2}{2 \cdot (9.81 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_L = 37.712 \text{ [m]}$$

3.7 Pérdidas por accesorios en la línea de descarga

Se obtiene un coeficiente de resistencia K en la línea de descarga cuando pasan por los codos, estas pérdidas son necesarias ya que son proporcionales a la carga de velocidad del fluido.

Tabla 14. Cálculo de K para accesorios en línea de descarga

	Cant.	Ft	Le/D	K
Codo 90°	1	0.01769	30	0.5309
Codo 45°	3	0.01769	16	0.8495
			TOTAL	1.380

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

$$h_1 = k \cdot \left(\frac{V^2}{2 \cdot g} \right)$$

$$h_1 = 1.380 \cdot \frac{(1.39 \text{ m/s})^2}{2 \cdot (9.81 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_1 = 0.137 \text{ [m]}$$

3.8 Pérdidas por accesorios en la línea de succión

Estas pérdidas de energía provocadas por obstrucciones, puede ser por válvulas o codos se obtienen al calcular el valor del coeficiente de resistencia K de todos los accesorios en la línea de succión.

Tabla 15. Cálculo de K para accesorios en línea de succión

	Cant.	Ft	Le/D	K
Válvula de pie	1	0.0176	75	1.32
Codo 45°	1	0.0176	16	0.281
			TOTAL	1.61

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

$$h_1 = k \cdot \left(\frac{V^2}{2 \cdot g} \right)$$

$$h_1 = 1.61 \cdot \left(\frac{(1.39 \text{ m/s})^2}{2 \cdot (9.81 \text{ m/s}^2)} \right)$$

$$h_1 = 0.160 \text{ [m]}$$

3.9 Pérdidas en la tubería de succión

Las pérdidas de energía que pasan por la tubería se deben a la presión del fluido cuando crea fricción necesaria entre las paredes del tubo y partículas del fluido.

$$h_{Ls} = f \cdot \frac{L_{\text{succión}}}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{Ls} = 0.0176 \cdot \frac{10.85 \text{ m}}{0.0676 \text{ m}} \cdot \frac{(1.39 \text{ m/s})^2}{2 \cdot (9.81 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_{Ls} = 0.287 \text{ [m]}$$

3.10 Pérdidas en la tubería de 2 plg de Acero en línea de descarga

Obtenido el valor del factor de fricción en el Anexo 5 del libro de Mott con el diámetro de 2 plg.

$$f = 0.019$$

$$D_{\text{int}} = 52.5 \text{ mm}$$

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

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}}$$

$$V = \frac{5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi \cdot (0.0525 \text{ m})^2}{4}}$$

$$V = 2.309 \text{ [m/s]}$$

Tabla 16. Cálculo de K para accesorios en la sección de salida de caudal

	Cant.	Ft	Le/D	K
Codo 90°	2	0.019	30	1.14
Tee	1	0.019	20	0.38
Val. Verificación	1	0.019	100	1.9
Val. Compuerta	2	0.019	8	0.304
TOTAL				3.724

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

$$h_1 = k \cdot \left(\frac{V^2}{2 \cdot g} \right)$$

$$h_1 = 3.724 \text{ m} \cdot \left(\frac{(2.309 \text{ m/s})^2}{2 \cdot (9.81 \text{ m/s}^2)} \right)$$

$$h_1 = 1.013 \text{ [m]}$$

Mediante la Ecuación 10 de Darcy Weisbach se procede a calcular la pérdida de energía de la sección del tubo de acero.

$$h_{\text{acero}} = f \cdot \frac{L_{\text{acero}}}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

$$h_{\text{acero}} = 0.019 \frac{7 \text{ m}}{0.0525 \text{ m}} \cdot \frac{(2.309 \text{ m/s})^2}{2 \cdot (9.81 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_{\text{acero}} = 0.590 \text{ [m]}$$

$$hT_{\text{acero}} = h_1 + h_{\text{acero}}$$

$$hT_{\text{acero}} = 0.59 + 1.01 \text{ (m)}$$

$$hT_{\text{acero}} = 1.603 \text{ [m]}$$

3.11 Ecuación general de la energía

Mediante la ecuación general de la energía se procede a determinar la carga dinámica de la bomba.

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + h_A - h_R - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$$

$$h_L = 37.59(m) + 0.377(m) + 0.157(m) + 0.278(m) + 1.60(m)$$

$$h_L = 39.98 \text{ [m]}$$

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + h_A - h_R - h_L = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$$

$$h_A = (z_2 - z_1) + h_L$$

$$h_A = [74.96 \text{ m} - (-3.22 \text{ m})] + 39.98 \text{ m}$$

$$h_A = 118.169 \text{ [m]}$$

Se procede a obtener la carga total estática

$$h_{\text{Aestático}} = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + (z_2 - z_1)$$

$$h_{\text{Aestático}} = 74.96 \text{ m} + 3.22 \text{ m}$$

$$h_{\text{Aestático}} = 78.18 \text{ [m]}$$

3.12 NPSHA admisible

Para este proceso se toma como referencia la altura neta positiva en la aspiración NPSHA requerido de la curva de la bomba proporcionada por el fabricante, para el cómputo del NPSHA admisible se considera la siguiente igualdad garantizando de esta manera una conducción libre de cavitación.

$$NPSH_A > (1.1) \cdot NPSH_R$$

El NPSHA admisible está dado por la siguiente ecuación:

$$NPSHA = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp} \quad (30)$$

$$h_{sp} = \frac{P_{est}}{\gamma}$$

$$h_{sp} = \frac{101.325 \text{ kN/m}^2}{9.78 \text{ kN/m}^3}$$

$$h_{sp} = 10.36 \text{ [m]}$$

$$h_s = -1.96 \text{ [m]} \text{ (negativa porque está debajo de la bomba)}$$

$$h_f = 0.154 + 0.352$$

$$h_L = 0.509 \text{ [m]}$$

$$h_{vp} = \frac{P_{vapor}}{\gamma} \quad (31)$$

$$h_{vp} = \frac{3.29 \text{ kN/m}^2}{9.78 \text{ kN/m}^3}$$

$$h_{vp} = 0.336 \text{ [m]}$$

$$NPSH_A = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp}$$

$$NPSH_A = [10.36 - 1.96 - 0.509 - 0.336] m$$

$$NPSH_A = 7.55 \text{ [m]}$$

$$(1.1) \cdot NPSH_R = 4.4(m)$$

$$(1.1) \cdot (4m) = 4.4(m)$$

Utilizando la condición se verificar su cumplimiento.

$$NPSH_A > (1.1) \cdot NPSH_R$$

$$7.55 > 4.4$$

3.13 Obtención de la curva del sistema y verificación de cálculos mediante software especializado WATERCAD

Con la ayuda de este software se verifica la veracidad de los cálculos para diferentes caudales, esto da dos curvas siendo la azul los resultados obtenidos por simulación y la línea roja los resultados obtenidos por cálculo, obteniendo una coincidencia en el punto de interés de caudal (5 L/s).

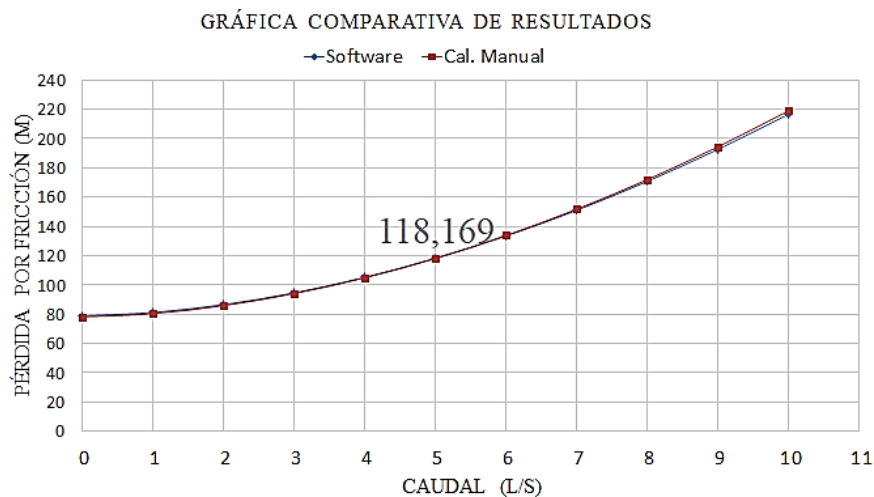


Figura 41. Gráfica comparativa de resultados de simulación y cálculo.

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

La curva del sistema es la ilustración de la variación de las pérdidas por fricción que cada caudal genera, es muy importante debido a que con la ayuda de esta gráfica se define la bomba más idónea para el sistema de bombeo y el punto de operación de la misma. Al generar la curva del sistema se procede a recalculer las pérdidas totales (h_A) de la línea de conducción en diferentes caudales, para este caso se tomará de 0 a 10 L/s.

Tabla 17. Cálculo de la cabeza de la bomba para diferentes caudales

Caudal [L/s]	Cabeza [m]
0	78,905
1	81,14
2	86,521
3	94,6
4	105,189
5	118,169
6	133,455
7	150,982
8	170,697
9	192,557
10	216,524

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

Con los datos de la Tabla 17. Se genera la curva del sistema para facilitar la selección del equipo de bombeo.

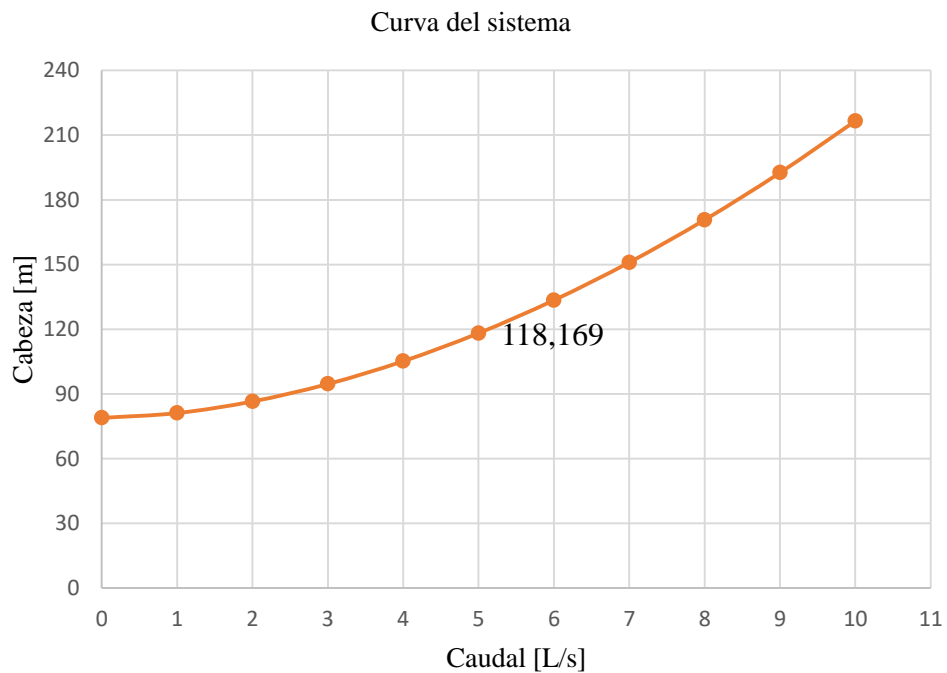


Figura 42. Curva del sistema de bombeo.

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

Siendo el caudal de diseño 5 [L/s] y con los cálculos para la cabeza del sistema, se es necesario obtener una bomba que sea mayor o igual a 118.186 [m]. En el mercado existen una gran variedad de bombas que cumplen con este requisito, es conveniente proporcionar esta curva al distribuidor de estos equipos para que ofrezca su mejor propuesta de equipos de bombeo, en este caso se ha tomado como la mejor alternativa una bomba centrífuga multietapa comercializada por Acero Comercial Ecuatoriano S.A [29].

Tabla 18. Tabla de operación de la bomba [29].

Modelo		Pot HP	N° de estag	Altura manométrica (m-c-a)													AM SV (m.c .a)
Novo	Antiguo			6 5	70	75	80	85	90	95	100	110	120	130	140	150	
F-25-86	HV2A-10X	12,5	2	30	26,9	22,5	15	5									86
MF-25-100	HV2C-11	15	2		33,8	30,7	26,9	22,5	17,5	10	0						100
MF-25-118	HV2F-12	20	2				38	36,3	33,2	29,4	25	15					118
MF-25-124	HV2G-13	25	2					39	37,5	34,4	31,3	22,5	10				124
MF-25-139	HV32AD-12	20	3								33,2	28,2	23,8	15			139
MF-25-155	HV3EA-13	25	3										31,3	26,3	18,8	8,8	155
MF-25-179	HV43AC-13	25	4										34	31,9	28,2	25,7	179
MF-25-200	HV4C-14	30	4												33,8	30,7	200
MF-25-186	HV3G-14	30	3												38	31,3	186
MF-25-175	HV32EG-14	30	3												30,7	25	175
MF-25-224	HV4E-15	40	4														224

La bomba se seleccionó con los resultados de pérdidas total del sistema, el caudal de diseño y la tabla que proporciona el fabricante. Se ha seleccionado una bomba centrífuga de marca Grundfos Mark de 20 HP de 3 etapas con una cabeza de 120 m.

El punto de operación de esta bomba es la intersección de la curva del sistema y la curva de la bomba como se puede observar en la siguiente gráfica.

Punto de operación de la bomba modelo MF-25

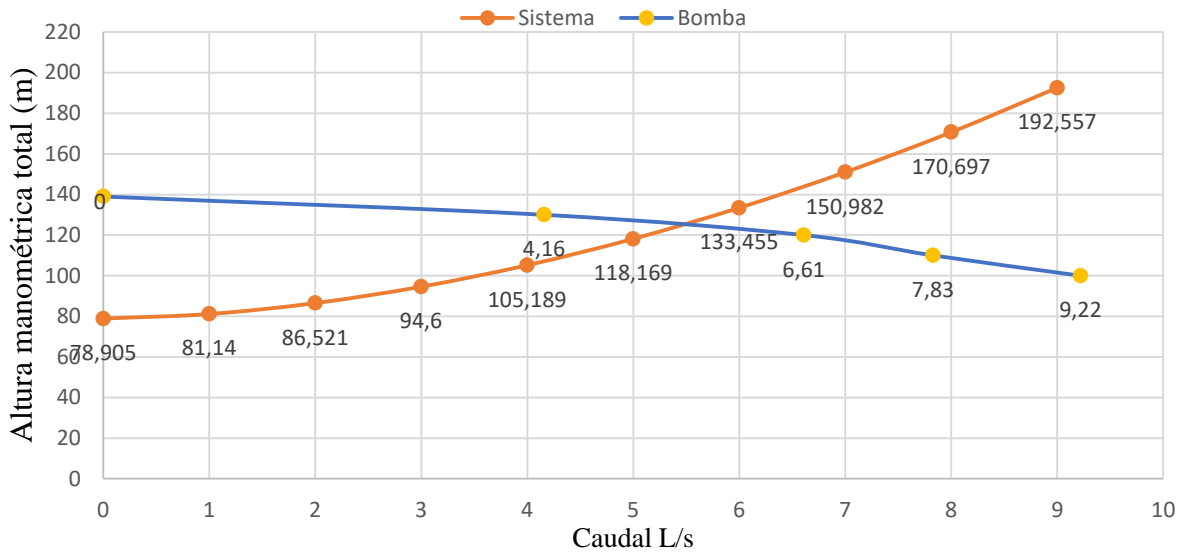


Figura 43. Punto de operación de la bomba.

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

Con la ayuda del software WaterCad se pudo simular el sistema de distribución de agua para encontrar el caudal real con el que funcionaria el sistema con dicha bomba, el cual se observa en la siguiente figura que es 5.76 L/s.

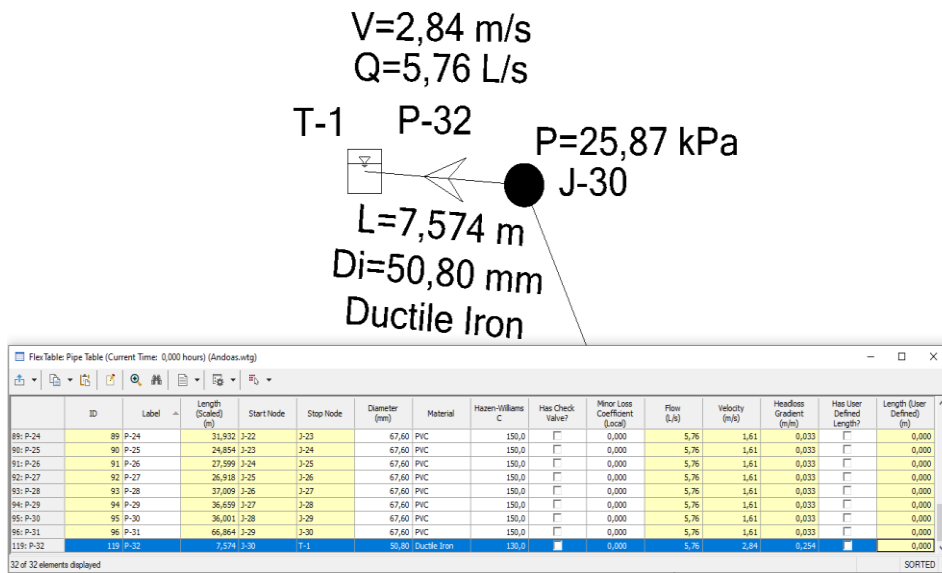


Figura 44. Simulación estática de operación.

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

Como se observa en la Figura 44 la velocidad es mayor debido a que esta sección de 7.57 m es de tubería de 2 plg en acero dúctil. Gracias a la simulación del sistema se puede encontrar puntos críticos de caídas de presión y presiones negativas las cuales causan graves daños a la línea de conducción y al equipo de bombeo, se expresa en el Anexo 6.

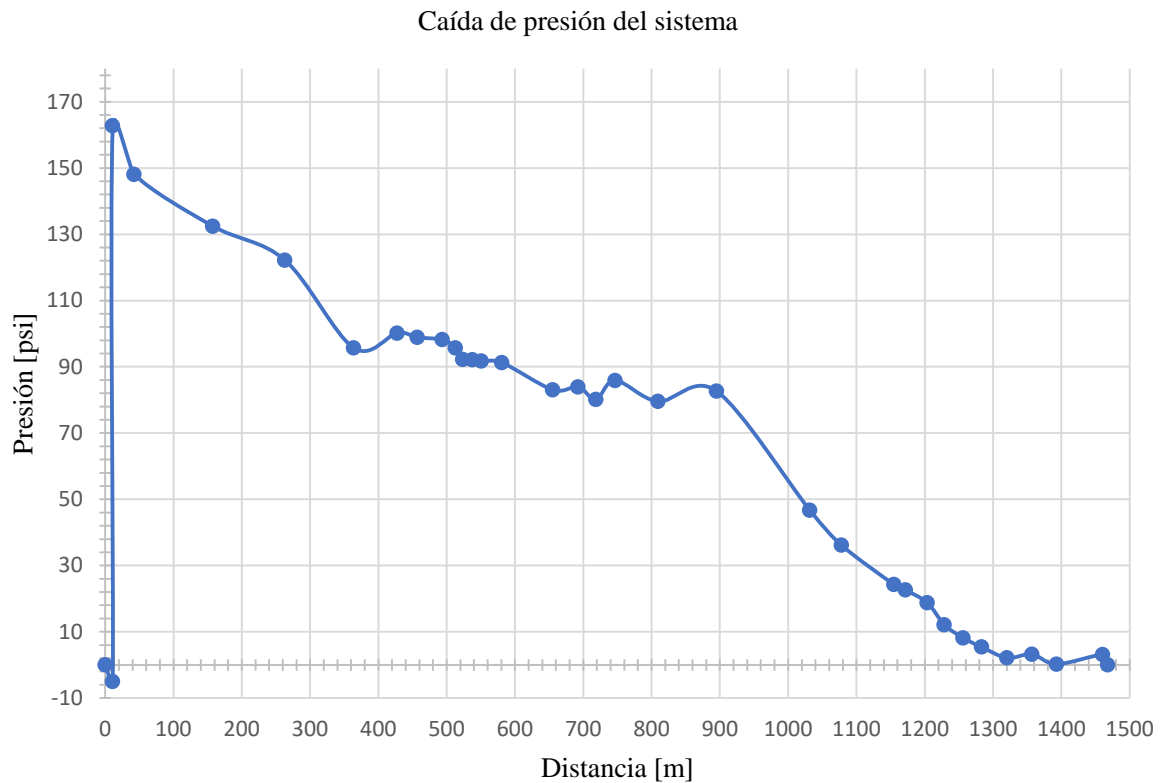


Figura 45. Caída de presión del sistema.

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváz

Como se puede observar las únicas presiones negativas son en la línea de succión y todas las presiones en la línea de descarga son positivas, garantizando de esta manera que no existan presiones de vacío en ningún punto de la red.

Mediante el software se modela el sistema de bombeo de forma simplificada, para esto se toma como puntos estratégicos la captación, el cruce del estero y la salida del sistema.

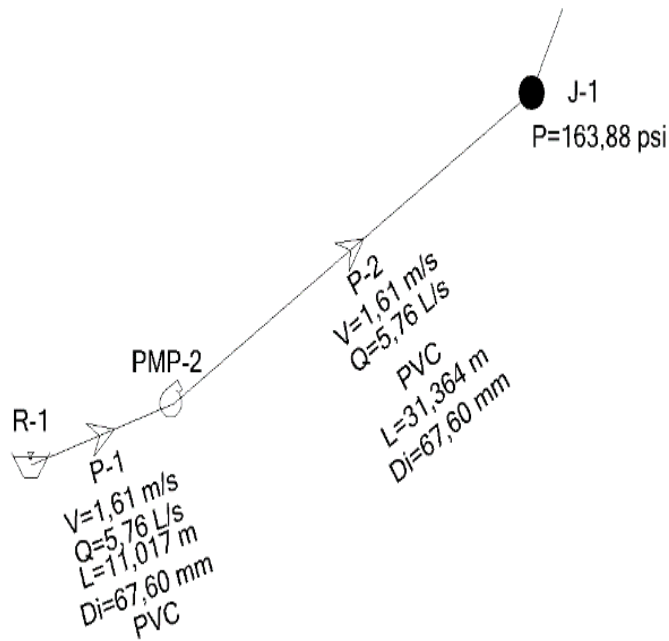


Figura 46. Captación de agua.

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narvárez

Como se puede ver la presión en la salida de la bomba, siendo el punto de mayor presión del sistema, es menor a la presión admisible de la tubería (1247.95 kPa) garantizando la seguridad de la tubería en su operación.

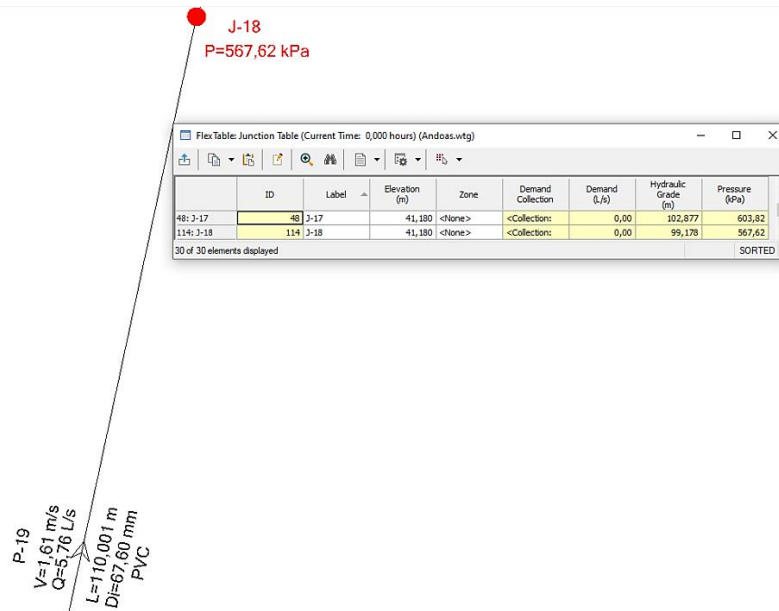


Figura 47. Paso elevado.

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narvárez

El paso elevado del sistema consta de 110 m de claro que va del punto J-17 a J-18 según las etiquetas del software, con una caída de presión de 36.2 kPa.

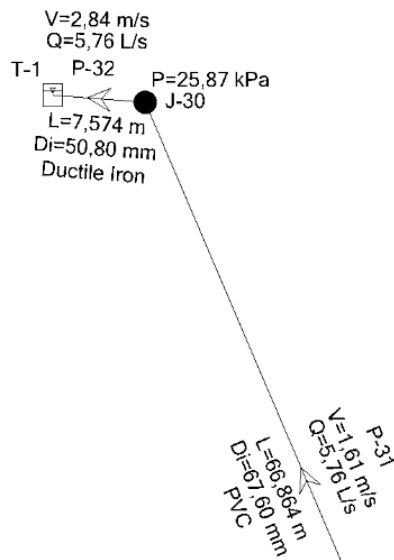


Figura 48. Salida a planta de tratamiento de agua.

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

En el tramo de salida se tomó como diámetro de tubería de 2 plg de acero debido a que este tramo estará expuesto a factores externos como la radiación solar, obteniendo de esta manera una mayor velocidad de caudal en la salida.

3.14 Puente aéreo

La implementación de un paso elevado de 110 m de largo en un claro, debe ser calculado mediante cargas vivas, muertas y del ambiente como el aire el cual afecta considerablemente a este tipo de estructuras. Para el diseño y ejecución se debe tomar como referencia las normas ASSHTO para construcción de puentes.



Figura 49. Toma satelital de la ubicación del puente aéreo de 110 m [4].

3.14.1 Cargas muertas

Se procede a obtener las cargas muertas dentro del sistema como la carga del agua, tubo de PVC, carga de accesorios y cargas vivas.

- Carga del agua

El agua en la tubería por cada metro se calcula de la siguiente manera.

$$W_{H_2O} = \rho \cdot A$$

$$W_{H_2O} = 100 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{\pi \cdot (0.068)^2}{4} m^2$$

$$W_{H_2O} = 3.631 \left[\frac{kg}{m} \right]$$

- Carga del tubo PVC

El peso del tubo por metro se obtiene del anexo 5 que es un valor en base a norma ISO 4422 al cual se divide para 6 que es la longitud del tubo comercial, para obtener el peso por cada metro de tubería.

$$W_{tubo} = 1.13 \left(\frac{kg}{m} \right)$$

- **Carga de accesorios**

El peso de los accesorios se tiene como consideración de:

$$W_{\text{acces}} = 5 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right)$$

Cálculo de la carga muerta es la suma ya calculadas anteriormente

$$W_{\text{carga muerta}} = W_{H2O} + W_{\text{tubo}} + W_{\text{acces}} \quad (32)$$

$$W_{\text{carga muerta}} = 3.631 \frac{\text{kg}}{\text{m}} + 1.13 \frac{\text{kg}}{\text{m}} + 5 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$W_{\text{carga muerta}} = 9.761 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$W_{\text{carga muerta}} = 10 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right)$$

- **Carga viva**

Se toma como carga viva el peso de una persona según la norma ASSHTO se considera el siguiente valor.

$$W_{\text{carga viva}} = 15 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right)$$

3.14.2 Cargas del viento

Velocidad del viento se calcula de la fórmula exponencial del perfil vertical del viento [39].

$$V_{\text{viento}} = V_{\text{ref}} \left(\frac{Z}{Z_{\text{ref}}} \right)^{\alpha} \quad (33)$$

Para obtener mejores resultados se procede a realizar el cambio de unidades y así tenemos:

$$V_{Andoas} = 40 \frac{km}{h} \cdot \frac{1h}{3600s} \cdot \frac{1000m}{1km}$$

$$V_{SVAndoas} = 11.11 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$V_{viento} = 11.11 \left(\frac{m}{s} \right) \cdot \left(\frac{20m}{10m} \right)^{0.25}$$

$$V_{viento} = 11.11 \left(\frac{m}{s} \right) \cdot \left(\frac{20m}{10m} \right)^{0.25}$$

$$V_{viento} = 13.21 \left(\frac{m}{s} \right)$$

- Presión dinámica

$$p = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \quad (34)$$

$$p = \frac{1}{2} \cdot 1.2 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \cdot \left(13.21 \frac{m}{s} \right)^2$$

$$p = 104.702 \left[\frac{kg}{m \cdot s^2} \right]$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{N}{m^2} = 1 \frac{kg}{m \cdot s^2}$$

Finalmente, la carga de viento a 20 m (por seguridad) de altura se calcula:

$$W_{viento} = P \cdot \phi_{\text{ext tubo}} \quad (35)$$

$$W_{viento} = 104.702 \left(\frac{N}{m^2} \right) \cdot 0.075 (m)$$

$$W_{viento} = 7.85 \left(\frac{N}{m} \right)$$

$$W_{viento} = 0.8 \left(\frac{kg}{m} \right)$$

$$W_{\text{carga total}} = W_{\text{viento}} + W_{\text{persona}} + W_{\text{carga muerta}} \quad (36)$$

$$W_{\text{carga total}} = 0.8 \left(\frac{kg}{m} \right) + 15 \left(\frac{kg}{m} \right) + 10 \left(\frac{kg}{m} \right)$$

$$W_{\text{carga total}} = 25.8 \left(\frac{kg}{m} \right)$$

- **Peso total de la péndola**

Se calcula el peso a soportar por la péndola.

$$W_{\text{pendola}} = W_{\text{carga total}} \cdot L_{\text{péndola}} \quad (37)$$

$$L_{\text{pend}} = \text{Separación entre péndolas } 1.5 \text{ m}$$

$$W_{\text{pendola}} = W_{\text{carga total}} \cdot L_{\text{péndola}}$$

$$W_{\text{pendola}} = 25.8 \left(\frac{kg}{m} \right) \cdot 1.5 (m)$$

$$W_{\text{pendola}} = 38.7 [kg]$$

- **Tensión en péndola**

$$T = W_{\text{pénd}} \cdot Fs \quad (38)$$

$$T = 38.7 (kg) \cdot 5$$

$$T = 193.5 (kg)$$

$$T = 193.5 (kg) \cdot \frac{1 \text{Ton}}{1000 \text{ kg}}$$

$$T = 0.193 [\text{Ton}] = 1.93 [\text{kN}]$$

Una vez calculado la tensión se compara con la tensión máxima de rotura en la tabla 19 que proporciona los fabricantes.

Tabla 19. Multicable del Ecuador especificaciones técnicas de cables tipo boa [40].

Ø Nom (pulg.)	Ø Nom (mm)	Carga de rotura mínima garantizada			Peso lineal (kg/m)
		(kN)	(1000 lb)	(tm)	
5/16"	8	47	10,6	4,8	0,26
	9	59	13,2	6,0	0,33
3/8"	9,5	66	14,8	6,7	0,37
	10	73	16,3	7,4	0,41
7/16"	11	88	19,8	9,0	0,50
	13	124	27,8	12,6	0,69
9/16"	14	143	32,2	14,6	0,81
5/8"	16	186	41,9	19,0	1,05
	18	236	53,1	24,1	1,33
3/4"	19	263	59,1	26,8	1,48
	20	291	65,5	29,7	1,64
7/8"	22	353	79,4	36,0	1,99
	24	420	94,4	42,8	2,37
1"	26	493	110,9	50,3	2,78
	28	572	128,5	58,3	3,22
1 1/8"	29	613	137,8	62,5	3,46
	30	656	147,5	66,9	3,70
1 1/4"	32	746	167,8	76,1	4,21
	34	842	189,4	85,9	4,75
1 3/8"	35	893	200,8	91,1	5,04
	36	944	212,3	96,3	5,33
1 1/2"	38	1052	236,6	107,3	5,94
	40	1166	262,1	118,9	6,58
	42	1286	289,0	131,1	7,25
	44	1400	314,8	142,8	7,96
1 3/4"	45	1465	329,4	149,4	8,32
	46	1531	344,1	156,1	8,70
1 7/8"	48	1648	370,4	168,0	9,76
	50	1788	401,9	182,3	10,63
2"	51	1859	418,0	189,6	11,06
	52	1829	411,2	186,5	11,49
	54	1972	443,3	201,1	12,39
	56	2121	476,9	216,3	13,23

En la Tabla 19 se escoge el diámetro del cable según la carga de rotura mínima garantizada en este caso de 5/16 plg. La cantidad de péndolas de cable tipo Boa de 6x19 es de 73 unidades.

Para el cálculo de longitud necesaria para las péndolas se utiliza la ecuación de una media parábola la cual es la siguiente.

$$Y = 4f \cdot \frac{X^2}{L^2} \quad (39)$$

Se grafica la media parábola tomando como punto de inicio el centro del puente y punto final uno de sus pilares como longitud es de 55 m con una separación de 1.5m entre péndolas cuyos valore se observa en el Anexo 6.

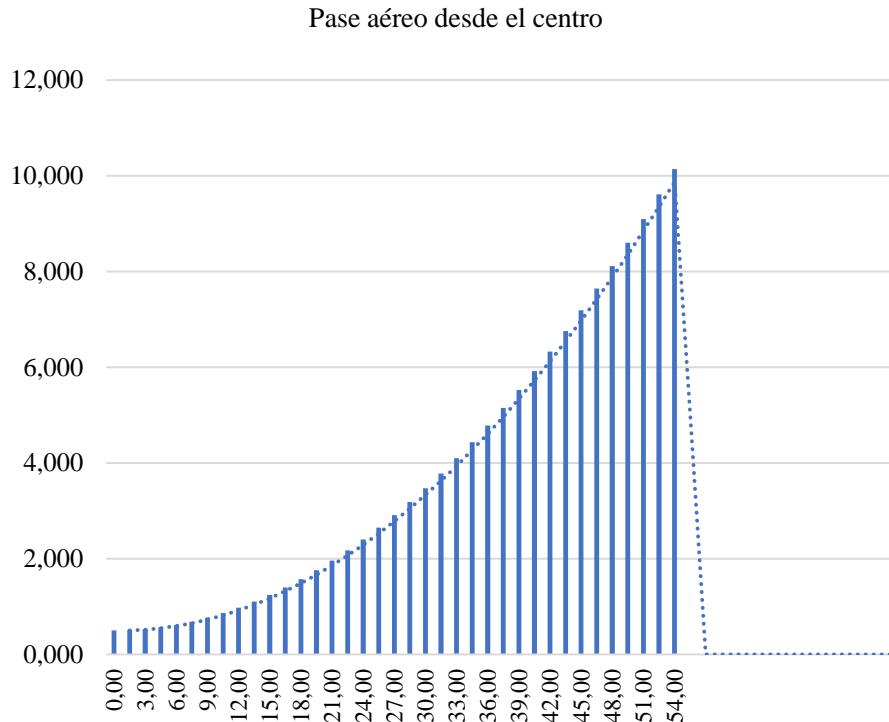


Figura 50. Pase aéreo desde el centro.

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

Utilizado la fórmula se estima la longitud de cada péndola del centro al extremo del pilar con una separación de 1.5 m, la última péndola siendo la más larga de todas tiene un valor de 11.2 m, y la longitud de cable total necesaria para las péndolas es:

$$L_{\text{longitud total pendola}} = 280 \text{ [m]}$$

3.14.3 Diseño del cable principal

Carga muerta para cable principal

$$W_{\text{carga_muerta}} = 10 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right)$$

El peso del cable de la péndola y del cable principal según la tabla 19 es de 0.26 kg/m y 2.78kg/m respectivamente tomando un diámetro estimado del cable principal de 1 plg.

$$W_{\text{CMcable principal}} = W_{\text{carga muerta}} + W_{\text{cable péndola}} + W_{\text{cable principal}}$$

$$W_{\text{CMcable principal}} = 10 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) + 0.26 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) + 2.78 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right)$$

$$W_{\text{CMcable principal}} = 13.04 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right)$$

- **Carga última**

$$W_{\text{ultima}} = W_{\text{cableprincipal}} + W_L + W_{\text{viento}} \quad (40)$$

$$W_{\text{ultima}} = 13.04 + 15 + 0.8 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right]$$

$$W_{\text{ultima}} = 28.84 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right]$$

- **Tensiones en el cable principal**

Se calcula las tensiones horizontales y verticales a las cuales estará sometido el cable principal.

$$T_{\text{horizontal}} = \frac{W_{\text{ultima}} \cdot L^2}{8 \cdot f} \quad (41)$$

Para el cálculo de la flecha se toma como referencia la norma ASSTHO que sugiere que la flecha sea de 9 a 11 la longitud del claro (110m), para el cálculo se toma el valor de 11.

$$f = \frac{L}{11} = \frac{110}{11} = 10 \text{ [m]}$$

$$\text{Flecha} = f = 10 \text{ (m)}$$

$$T_{\text{horizontal}} = \frac{28.84 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) \cdot (110\text{m})^2}{8 \cdot (10\text{m})}$$

$$T_{\text{horizontal}} = 4295.5 \text{ [kg]}$$

- **Tensión máxima de servicio**

Se procede a calcular la tensión máxima de servicio teniendo en cuenta la longitud del puente que es de 110 m.

$$T = T_h \cdot \sqrt{1 + \frac{16 \cdot f^2}{L^2}} \quad (42)$$

$$T = 4295.5 \left(\frac{kg}{m} \right) \cdot \sqrt{1 + \frac{16 \cdot (10m)^2}{(110m)^2}}$$

$$T = 4570.68 \text{ [kg]}$$

- **Tensión de rotura**

El valor de tensión de rotura es igual al producto de tensión máxima de servicio por un factor de seguridad que se considera de 5

$$T_{rotura} = T_{\max \text{ servicio}} \cdot Fs \quad (43)$$

$$T_{rotura} = 4570.68 (kg) \cdot 5$$

$$T_{rotura} = 22853.42 (kg)$$

$$T_{rotura} = 22853.42 (kg) \cdot \frac{1Ton}{1000kg}$$

$$T_{rotura} = 23 (Ton)$$

$$T_{rotura} = 228.53 (kN)$$

Entonces para el cable de 1 plg se determina que es viable el proceso, sin embargo, se verifica que está sobredimensionado.

$$493 (kN) > 228.53 (kN) \quad \implies \text{OK (Sobredimensionado)}$$

Para obtener una respuesta más coherente se realiza un recalcu con un nuevo diámetro del cable de 7/8 plg con un peso de 1.99 kg/m y una carga muerta de 12.25 kg/m.

$$W_u = W_{cm} + W_{Persona} + W_{viento}$$

$$W_u = 12,25 \left(\frac{kg}{m} \right) + 15 \left(\frac{kg}{m} \right) + 0.8 \left(\frac{kg}{m} \right)$$

$$W_u = 28.05 \left(\frac{kg}{m} \right)$$

$$T_h = 4242.56 (kg)$$

$$T = 4514.35 (kg)$$

$$T_{\text{máx rotura}} = T \cdot Fs \quad (44)$$

$$T_{\text{máx rotura}} = 4514.35 (kg) \cdot 5$$

$$T_{\text{máx rotura}} = 22571.78 (kg)$$

$$T_{\text{máx rotura}} = 22571.78 (kg) * \frac{9.806 (kN)}{1000 (kg)}$$

$$T_{\text{máx rotura}} = 221.33 (kN)$$

Con los datos obtenidos de los nuevos cálculos con un diámetro de 7/8 plg se determina que la tensión máxima a la rotura del cable es la mejor opción para el proyecto.

$$353 (kN) > 221.33 (kN) \quad \implies \text{OK}$$

Para el resultado obtenido se revisa la mejor opción en la tabla 19 y se indica que para el tipo de cable necesario es:

Cable tipo Boa 6x19 sAA de 3/4"

Con dichos cálculos se puede estimar la altura de los pilares, en la siguiente figura se ilustra las alturas de diseño para la construcción.

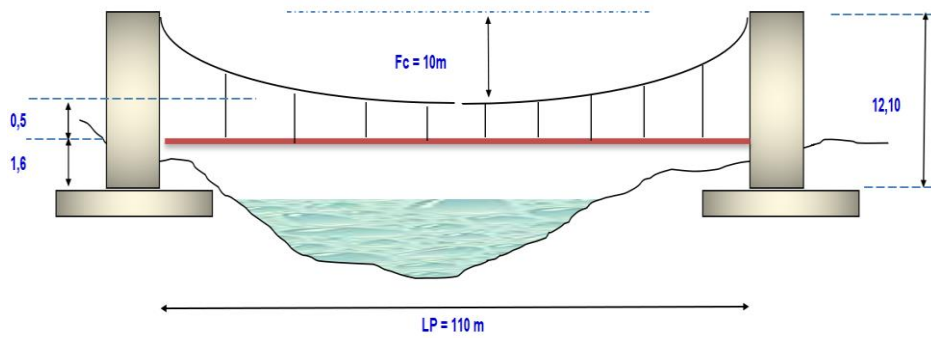


Figura 51. Diagrama de dimensionamiento del puente.

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

- **Dimensionamiento de los pilares, cámara de anclaje y cimentación**

Para el inicio del dimensionamiento de los pilares se toma como punto de inicio el ángulo óptimo de salida del cable a la cámara de anclaje el cual es $\alpha = 35^\circ$.

Con un $\alpha = 35^\circ$ como salida se calcula la distancia del pilar hacia el anclaje de la siguiente manera:

$$\tan \alpha = \frac{f + c}{d} \Rightarrow d = \frac{10 + 0.5}{\tan \alpha} = 15 \text{ [m]}$$

- **Cámara de anclaje**

Tabla 20. Datos de la cámara de anclaje

DATOS							
Tmax Cable [kg]	Coef. Poisson ν	Peso específico concreto $\gamma_{concreto}$ [kg/m^3]	Peso específico suelo γ_{suelo} [kg/m^3]	E [m]	L1 [m]	L2 [m]	α
4514.35	0.35	2400	1700	1	1.5	1.5	35

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

Primero se calcula el peso mínimo de la cámara de anclaje utilizando la siguiente formula:

$$P = \frac{T_{\max}}{\mu \cdot (\cos(\alpha) + \text{sen}(\alpha))} = \frac{4514.35}{0.35 \cdot (\cos(35) + \text{sen}(35))}$$

$$P = 9261.06 \text{ [kg]}$$

- **Dimensionamiento de cámara de anclaje**

Se utiliza datos estimados para calcular el peso total de la cámara este valor debe ser mayor al peso mínimo de la cámara.

$$P_{\text{cámara}} = e \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot \gamma_{\text{concreto}} = 0.6 \cdot 1.5 \cdot 1.5 \cdot 2400$$

$$P_{\text{cámara}} = 5760 \text{ [kg]}$$

$$P_{\text{relleno}} = \left(2 - \frac{e}{2}\right) \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot \gamma_{\text{suelo}} = \left(2 - \frac{0.6}{2}\right) \cdot 1.5 \cdot 1.5 \cdot 1700$$

$$P_{\text{relleno}} = 11560 \text{ [kg]}$$

$$P_{\text{Total}} = 3240 + 6502.5 = 9742.5 \text{ [kg]}$$

$$9742.5 \text{ [kg]} > 9261.06 \text{ [kg]} \quad \text{OK}$$

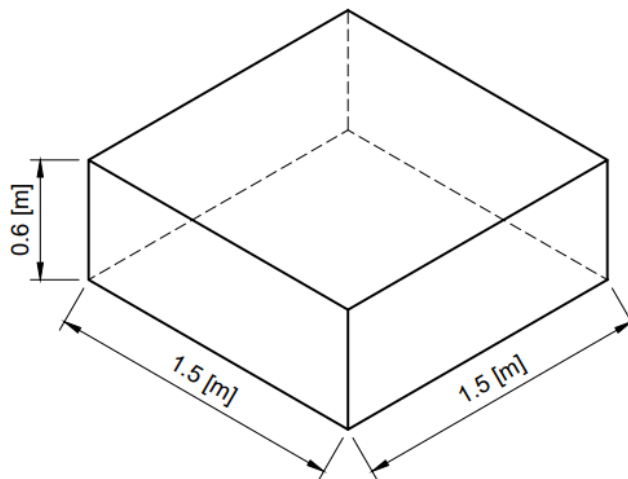


Figura 52. Dimensiones de cámara de anclaje.

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

- **Columna de soporte**

Tabla 21. Datos obtenidos según norma ecuatoriana de construcción NEC [41].

Datos	
Factor de importancia U	1.5
Factor de suelo S	1.1
Coefficiente sísmico C	2.5
Factor de ductilidad Rd	8
Factor de zona Z	0.4
Angulo de salida del cable	35°
Angulo de entrada del cable	11.3°

- **Fuerza sísmica total en la base**

$$F_s = \left(\frac{S \cdot U \cdot C \cdot Z}{R_d} \right) \cdot \text{Peso de toda la estructura}$$

$$F_s = \left(\frac{1.1 \cdot 1.5 \cdot 2.5 \cdot 0.4}{8} \right) \cdot 0.7 \cdot 0.5 \cdot 12 \cdot 2.4$$

$$F_s = 2 \text{ [Ton]}$$

Tabla 22. Datos según norma de la construcción

hi	Wi x hi	Fs (i) [Ton]
12	80.64	1.04
8	53.76	0.69
4	26.88	0.35

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

- **Diseño por método a la rotura**

$$T_{\max_rot_columna} = 1.5 \cdot T_{\max_serv_cable} = 1.5 \cdot 5.67 \text{ [Ton]}$$

$$T_{\max_rot_columna} = 8.5 \text{ [Ton]}$$

$$M_u = (T_{\max_rot_columna} \cdot \cos(\alpha_1) - T_{\max_rot_columna} \cdot \cos(\alpha)) \cdot (H + H \cdot F_{s3} + \frac{H \cdot F_{s2} \cdot 2}{3} + \frac{F_{s1} \cdot H}{3})$$

$$M_u = (8.5 \cdot \cos(11.3) - 8.5 \cdot \cos(35)) \cdot (12 + 12 \cdot 1.04 + \frac{12 \cdot 0.69 \cdot 2}{3} + \frac{0.35 \cdot 12}{3})$$

$$M_u = 43.09 \text{ [Ton} \cdot \text{m]}$$

Se propone una dimensión de columna 40 x 60 cm y la cantidad de acero de la siguiente manera:

$$A_{s_min} = 0.03 \cdot b \cdot h$$

$$A_{s_min} = 0.03 \cdot 40 \cdot 60 = 72 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Se escoge 16 varillas de 1 plg la cual da un área total de:

$$A_s = 81.12 \text{ [cm}^2\text{]} > A_{s_min} \Rightarrow \text{OK}$$

- **Se calcula la carga axial resistente P_n**

$$P_n = 0.8 \cdot (0.85 \cdot f_c \cdot (b \cdot t - A_s) + A_s \cdot f_y)$$

$$P_n = 651 \text{ [Ton]}$$

- **Carga axial ultima actuante**

$$P_u = P + T_{\max_rot_columna} \cdot \text{sen}(\alpha_1) + T_{\max_rot_columna} \cdot \text{sen}(\alpha)$$

$$P_u = 16.54 \text{ [Ton]}$$

$$P_u < P_n \Rightarrow \text{Ok}$$

Por lo cual la columna es de 0.4x0.6x11.4 m

Tabla 23. Dimensionamiento de la zapata

Datos			
Columna	Suelo	Acero	Carga a soportar
$F_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	$D_f = 1.4$	$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	$P = 10 \text{ [Ton]}$
$b = 40 \text{ cm}$	$\gamma_2 = 1700 \text{ kg/cm}^2$		$S/C = 550 \text{ kg/cm}^2$
$t = 60 \text{ cm}$	$q_a = 2.5 \text{ kg/cm}^2$		
	$L_v = 150 \text{ cm}$		

Elaborado por: David Pachacama y Dario Narváez

$$Ld = \frac{0.08 \cdot d_b \cdot F_y}{\sqrt{f_c}} = \frac{0.08 \cdot 2.54 \cdot 4200}{\sqrt{280}}$$

$$Ld = 51 \text{ [cm]}$$

$$h_c = Ld + \text{recubrimiento} + \phi_v$$

$$h_c = 51 + 7.5 + 2.54$$

$$h_c = 61.04 \text{ [cm]}$$

$$h_t = D_f - h_c$$

$$h_t = 89 \text{ [cm]}$$

- **Presión neta del suelo**

$$q_m = q_a - \gamma h_t - \gamma_c h_c - \frac{s}{c}$$

$$q_m = 2.14 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$$

- **Área de la zapata**

$$A_{zapata} = \frac{P}{q_m} = \frac{10299.59 \text{ [kg]}}{2.14 \text{ [kg/cm}^2]} = 4812.89 \text{ [cm}^2]$$

$$T = \sqrt{A_{zapata}} + \frac{(t-b)}{2} = 79 \text{ [cm]}$$

$$B = \sqrt{A_{zapata}} - \frac{(t-b)}{2} = 59 \text{ [cm]}$$

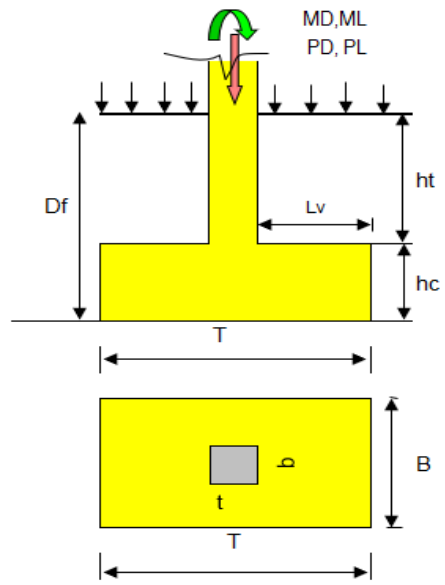


Figura 53. Dimensiones de la zapata.

Elaborado por: David Pachacama y Dario Narváez

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

4.1 Costos

En el capítulo se procederá con el análisis y beneficios para los costos totales de este proyecto, se analizarán los costos indirectos y costos directos necesarios para la ejecución de la red de tubería de agua potable, se ha elegido como una alternativa analizar mediante precios unitarios, de cada elemento o pieza necesaria para la ejecución óptima de cada parte dentro del proyecto.

Con el propósito de verificar si es factible o no el proyecto se debe identificar muy bien y detalladamente cuales son los costos directos e indirectos que se encuentran dentro de proyecto.

4.2 Costos directos

Dentro de los costos directos se especifican o derivan los rubros que de una manera u otra se identifican claramente dentro del proceso como gastos por materiales, maquinarias y equipos, mano de obra, transporte.

4.2.1 Costos por materiales

Dentro del proyecto los costos por materiales son los elementos necesarios, debido a que estos insumos primarios serán utilizados para la construcción dentro del proyecto.

Tabla 24. Tabla de costos por materiales

Tabla de costos de material					
ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	PRECIO TOTAL
1	Válvula de pie	1	U	\$36,00	\$36,00
2	Codo de 45° x 3 plg PVC	10	U	\$5,54	\$55,40
3	Unión soldable de 75 mm PVC	3	U	\$12,40	\$37,20
4	Codo de 90° x 2 plg PVC	3	U	\$6,58	\$19,74
5	Tubo PVC 3 plg X 6 m 0,80 MPA	254	U	\$22,18	\$5.633,72
6	Adaptador hembra de 3 plg PVC	2	U	\$5,82	\$11,64
7	Tubo de acero 2 plg x 6 m	3	U	\$58,50	\$175,50
8	Reductor cónico acero x 3 a 2 plg	3	U	\$3,41	\$10,23
9	Válvula de bola o esfera	2	U	\$5,47	\$10,94
10	Universal de acero x 2 plg	2	U	\$9,10	\$18,20
11	Acople de acero x 2 plg	2	U	\$9,39	\$18,78
12	Tee 2 plg de cobre	3	U	\$4,60	\$13,80

13	Universal de 2 plg de acero	4	U	\$9,10	\$36,40
14	Válvula de verificación tipo giratorio 2 plg	2	U	\$65,67	\$131,34
15	Válvula de bola de ½ plg Acero	2	U	\$6,47	\$12,94
16	Tubo de acero ½ plg	2	U	\$15,95	\$31,90
17	Manómetro de 0 - 200 PSI	1	U	\$2,48	\$2,48
18	Válvula compuerta de 2 plg PVC	2	U	\$38,34	\$76,68
19	Válvula de bola de 2 plg PVC	2	U	\$3,84	\$7,68
20	Codo de 90° x 3 plg PVC	3	U	\$4,17	\$12,51
21	Tee de 2 plg PVC	4	U	\$3,00	\$12,00
22	Universal de acero x 3 plg	5	U	\$24,30	\$121,50
23	Válvula compuerta de acero x 3 plg	2	U	\$141,08	\$282,16
24	Adaptador hembra de 3 plg PVC	4	U	\$5,74	\$22,96
25	Válvula de aire	20	U	\$65,40	\$1.308,00
26	válvula compuerta de acero x ½ plg	20	U	\$6,78	\$135,60
27	Brida inyectable soldante de ¼ plg	15	U	\$3,87	\$58,05
28	Abrazaderas de PVC x 3 plg	15	U	\$4,55	\$68,25
29	Perno M8 - 1.25x60 para collarín	60	U	\$0,98	\$58,80
30	Tuercas M8	60	U	\$0,10	\$6,00
31	Guaipes	200	U	\$0,23	\$46,00
32	Clavo de 3 plg	10	lb	\$1,15	\$11,50
33	Quintal de cemento	20	U	\$8,25	\$165,00
34	Arena	8	m^3	\$19,00	\$152,00
35	Piedra	9	m^3	\$15,00	\$135,00
36	Ripio	9	m^3	\$20,00	\$180,00
37	Bloques	100	U	\$0,58	\$58,00
38	Varilla corrugada de 12 mm	5,9	qq	\$49,37	\$291,28
39	Varilla corrugada de 16 mm	12,5	qq	\$52,45	\$655,63
40	Accesorios adicionales	1	U	\$50,00	\$50,00
41	Clavo de 2 plg	10	lb	\$2,14	\$21,40
42	Malla electro soldada 30x30x8	4	U	\$5,79	\$23,16
43	Spray o aerosol	1	U	\$1,75	\$1,75
44	Estaca de madera	60	U	\$0,55	\$33,00
45	Carretilla	4	U	\$54,37	\$217,48
46	Pala	4	U	\$7,76	\$31,04
47	Pico	4	U	\$9,81	\$39,24
48	Pegamento Polipega 1L	5	U	\$14,19	\$70,95
49	Martillo	4	U	\$5,08	\$20,32
				SUBTOTAL	\$10.629,15
				IVA	\$1.275,50
				TOTAL	\$11.904,65

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

4.2.2 Costo por maquinaria y equipos

Los valores de los costos por maquinarias y equipos se deben escoger cuidadosamente debido que estos valores van siempre tomándose en cuenta dentro de todo el proyecto, la maquinaria y los equipos son un factor indispensable porque representa el factor tecnológico para obtener un resultado excelente al momento de terminar el proyecto.

Tabla 25. Costos por maquinaria y equipos

Tabla de costos de maquinaria y equipos				
ítem	Descripción	H/(MAQ &EQUIP)	Costo	PRECIO TOTAL
1	Bomba Centrífuga de 20 HP	1	\$3.450,00	\$3.450,00
2	Compactadora	40	\$6,00	\$240,00
3	Concretera de 4 sacos	20	\$6,00	\$120,00
4	Gallineta de excavación	40	\$30,00	\$1.200,00
5	Herramientas menores	490	\$0,65	\$318,50
6	vibrador	40	\$3,95	\$158,00
7	zanjadora	150	\$20,00	\$3.000,00
			Sub Total	\$8.486,50
			IVA 12%	\$1.018,38
			TOTAL	\$9.504,88

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

4.2.3 Costos obra civil

Los valores de los costos de obra civil que corresponden a la construcción de las cajas de revisión, lugar donde se instalaran las válvulas de seguridad

Tabla 26. Costos de obra civil.

Obra Civil					
ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Hormigón simple f'c=310 kg/cm ² (31 MPa)	0,318	m ³	\$98,80	\$31,42
2	Colector de conexión de PVC	1	U	\$49,21	\$49,21
3	Molde reutilizable para formación de cajas de revisión de sección cuadrada de 40x40x50 cm, de lámina metálica, incluso parte proporcional de accesorios de montaje.	0,25	U	\$189,45	\$47,36
4	Marco y tapa de fundición	1	U	\$30,00	\$30,00
5	Grava de cantera de 19 a 25 mm diámetro	0,567	t	\$8,67	\$4,92
6	Albañil	10	h	\$5,18	\$51,80
7	Ayudante Albañil	10	h	\$2,50	\$25,00
				Sub Total	\$239,71
				IVA 12%	\$28,76
				TOTAL	\$268,47
				Necesita 10 Cajas	\$2.684,72

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

4.2.4 Costos por mano de obra

El costo por mano de obra se puede medir mediante el trabajo realizado por medio de todo el personal, este esfuerzo puede ser físico o mental de todos los trabajadores como por ejemplo obreros, ingenieros, personal administrativo, que están inmersos dentro del proyecto. Los valores calculados están basados en base a rubros de sueldos de albañil, plomero, topógrafo de la Cámara de Comercio de Quito. En la siguiente Tabla se puede apreciar detalladamente los costos por mano de obra.

Tabla 27. Costos de mano de obra

Tabla de costos de Mano de Obra					
ítem	Descripción	Cantidad	H/Hombre	Precio unitario	Precio Total
1	Albañil	2	800	\$3,25	\$5.200
2	Ayudante albañil	2	800	\$2,50	\$4.000
3	Plomero	1	200	\$5,50	\$1.100
4	Topógrafo	1	12	\$3,34	\$40
5	Cadenero	2	12	\$2,50	\$60
6	Ingeniero supervisor	1	90	\$30,00	\$2.700
				Sub Total	\$13.100
				IVA 12%	\$1.572
				TOTAL	\$14.672

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

En la Tabla 28 se representa la tabla de costos directos totales que es la suma de los costos por materiales, costos por maquinaria y costos por mano de obra.

Tabla 28. Costos Directos Total

Tabla de costos directos		
ítem	descripción	Sub total
1	Material	\$11.904,65
2	Maquinaria	\$9.504,88
3	Obra civil	\$2.684,72
4	Mano de Obra	\$14.672,09
TOTAL		\$38.766,33

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

4.3 Costos indirectos

Los costos indirectos son aquellos gastos del proyecto que no tiene una relación directa a los rubros del proyecto de los cuales se derivan los costos por transporte y los costos de levantamiento georeferencial.

4.3.1 Costos por transporte

Los valores de costos por transporte se derivan directamente del traslado de materiales y maquinarias que se van a utilizar dentro del proyecto, estos valores serán medidos a través de un nivel de mercado según la oferta y la demanda.

Tabla 29. Costos por transporte

Tabla de costos de Transporte				
ítem	Descripción	Cantidad	Precio unitario	PRECIO TOTAL
1	Transporte de accesorios y tubos Quito-San Vicente de Andoas	5	\$250,00	\$1.250
2	Transporte de Bomba de agua Quito - San Vicente de Andoas	1	\$120,00	\$120
3	Transporte de implementos y materiales de construcción	3	\$180,00	\$540
4	Transportes varios	1	\$120,00	\$120
			Sub total	\$2.030
			IVA	\$244
			Total	\$2.273,60

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

4.3.2 Costo georeferenciado

Los costos georeferenciados se producen debido al levantamiento topográfico del terreno, instalación de mojones con GPS, plano del perfil con detalles del terreno.

Tabla 30. Costos geo referenciales

Tabla de costos de Topografía				
ítem	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
1	Instalación de mojones con coordenadas GPS	4	\$10,00	\$40,00
2	Levantamiento geo referencial del área del terreno	2600	\$0,10	\$260,00
3	Plano georreferenciado planta y perfil con detalles	1	\$50,00	\$50,00
			Sub total	\$350,00
			IVA	\$42,00
			Total	\$392,00

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

En la siguiente tabla se establece la suma de los costos totales indirectos del proyecto el cual abarca costos por transporte y costos georeferenciados.

Tabla 31. Costos indirectos totales

Costos Indirectos TOTALES		
ítem	descripción	Sub total
1	Transporte	\$2.273,60
2	Costo Geo referencial	\$392,00
TOTAL		\$2.665,60

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

4.4 Costos totales

Para referirse sobre los costos totales del proyecto se establece que es la suma de costos directos y costos indirectos, se determina que estos costos son las rubricas finales del presente proyecto y están representados en la siguiente tabla.

Tabla 32. Costos totales

TABLA DE COSTOS TOTALES		
ítem	DESCRIPCION	SUBTOTAL
1	Material	\$11.905
2	Maquinaria	\$9.505
3	Mano de Obra	\$14.672
4	Obras Civiles	\$2.685
5	Costos Indirectos	\$2.666
TOTAL		\$41.432

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

4.5 Vialidad del proyecto mediante VAN y TIR

Para medir la viabilidad de un proyecto se tiene como objetivo conocer si la inversión genera rentabilidad al final de un periodo establecido. Hoy en día se utiliza la evaluación de proyectos para medir la rentabilidad de una inversión [42] Se utiliza el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) en el instante de escoger la mejor decisión sobre el proyecto.

4.5.1 Van

Se determina que es un indicador que establece el análisis beneficio costos de un proyecto [43] .Es decir, esto se aplica en determinados casos cuando los ingresos o beneficios de una inversión compensen a los gastos del mismo proyecto. Sin embargo, hay que recalcar que el proyecto va ser viable siempre que el VAN sea un valor positivo. Para obtener el VAN se procede mediante la siguiente formula:

$$VAN = \frac{f_1}{(1+i)^1} + \frac{f_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{f_n}{(1+i)^n} - I_0 \quad (45)$$

El proyecto va tener una inversión inicial de 41.432 USD que es el resultado de la suma total, tanto de los costos directos y los costos indirectos de la obra y con un beneficio de 7003.38 USD que se obtiene al obtener al momento de realizar la los ingresos menos los gastos por mantenimiento, gastos por mano de obra o gastos por reparaciones, esto se va a obtener anualmente. El proyecto se establece que tiene una duración de 10 años y mediante

esto se consigue la viabilidad del proyecto. Para la tasa de descuento, esto se obtiene de la tasa de interés activa efectiva vigente para el sector financiero privado, público, popular y solidario del Banco Central del Ecuador cuyo valor es de 7,35 % anual.

Tabla 33. Tabla de ingresos menos gastos

Periodo Anual	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos		7200	7500	7800	8100	8400	8700	9000	9300	9600	9900
G. Mant		400	400	400	400	400	600	600	600	600	600
G. Mano O.		600	625	650	675	700	725	750	775	800	825
Reparaciones				2000			2000			2000	
TOTAL, GASTOS		1000	1025	3050	1075	1100	3325	1350	1375	3400	1425
(FNE)	-\$41.432	\$6.200	\$6.475	\$4.750	\$7.025	\$7.300	\$5.375	\$7.650	\$7.925	\$6.200	\$8.475

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

Tabla 34. Tabla de valor actual neto (VAN)

TABLA DEL VALOR ACTUAL NETO			
PERIODO	FNE	$(1 + I)^n$	$FNE/(1 + I)^n$
0	-\$41.432		-\$41.432
1	\$6.200	1,074	\$5.776
2	\$6.475	1,152	\$5.619
3	\$4.750	1,237	\$3.840
4	\$7.025	1,328	\$5.290
5	\$7.300	1,426	\$5.121
6	\$5.375	1,530	\$3.512
7	\$7.650	1,643	\$4.656
8	\$7.925	1,764	\$4.493
9	\$6.200	1,893	\$3.275
10	\$8.475	2,032	\$4.170
		VAN	\$4.318,66

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

Como se puede observar en los resultados el valor actual neto (VAN) nos da un valor positivo y esto se da a entender que el proyecto es factible para realizarlo.

4.5.2 TIR

Se determina que la tasa interna de retorno (TIR) es el método para valorar la inversión y toma de decisiones financieras dentro del proyecto [42] . Este indicador es la tasa máxima de 10.96% obtenido en resultados, que puede realizar el proyecto para que no obtenga ni ganancia ni pérdida. Sin embargo, el TIR busca que la VAN sea igual a cero.

Tabla 35. Tasa Interna de Retorno

Tasa Interna de Retorno	
Tasa de descuento	VAN
0%	\$25.943
1%	\$22.220
2%	\$18.785
3%	\$15.612
4%	\$12.677
5%	\$9.959
6%	\$7.439
7%	\$5.098
7,35%	\$4.319
8%	\$2.922
9,47%	\$0
12%	\$-4.398
13%	\$-5.937
14%	\$-7.377
15%	\$-8.728
16%	\$-9.995
17%	\$-11.185
TIR	9,47%

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváez

Como resultado se obtiene que la tasa interna de retorno (TIR) es igual a 9.47%, es mayor que la tasa de descuento inicial de 7.35%, significa que el interés equivalente sobre el capital generado por el proyecto, es superior al interés mínimo aceptado del capital bancario, en este caso el proyecto es aceptable.

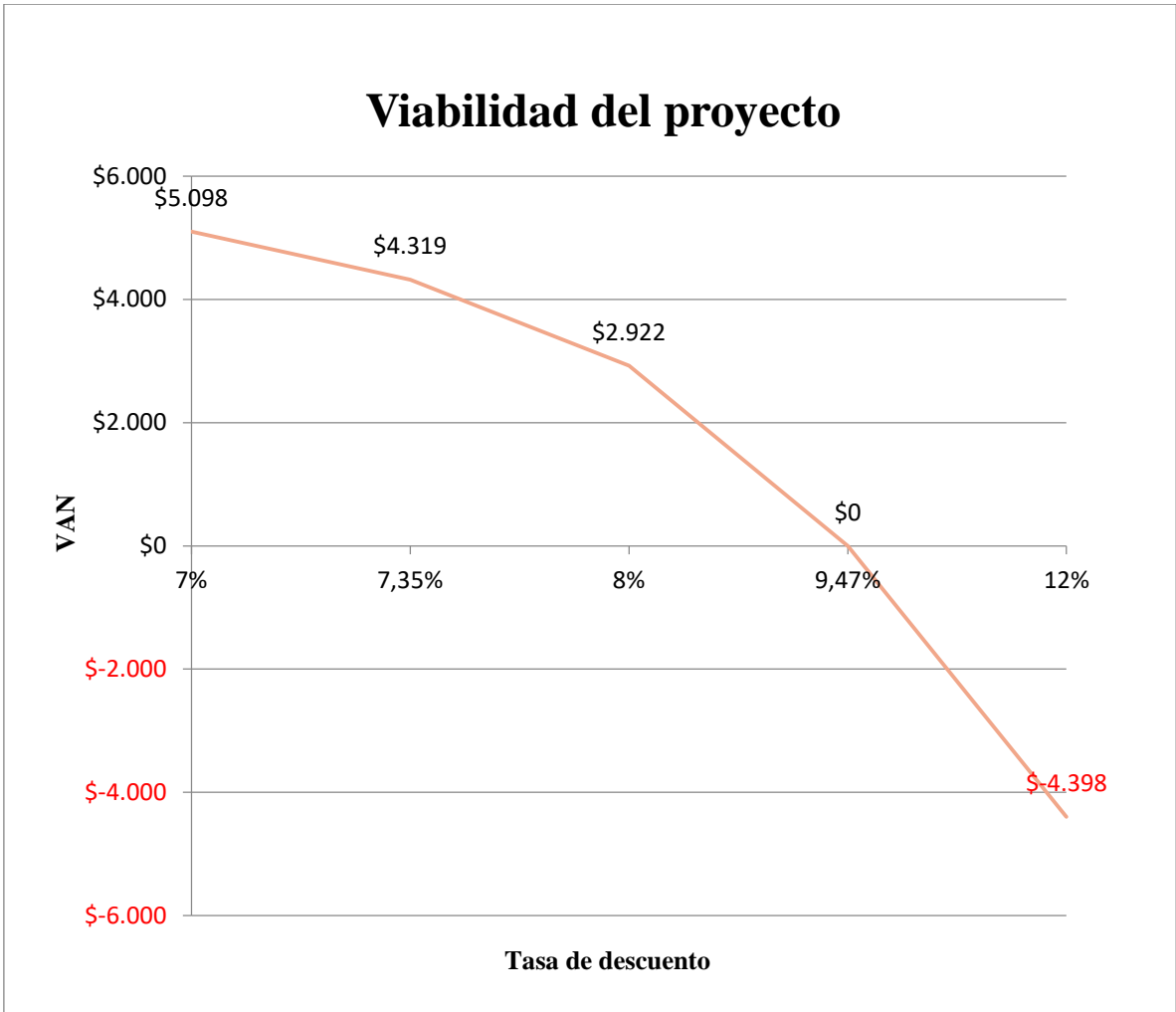


Figura 54. Gráfica de viabilidad del proyecto según el método de VAN y TIR.

Elaborado por: David Pachacama y Darío Narváz

CONCLUSIONES

- La red de agua existente de 3.78 L/s no abastece la demanda para la población de San Vicente de Andoas debido al crecimiento de la población y se verifica, la falta de agua para la comunidad debido a fisuras en la línea de conducción por el trayecto de 1.5 km.
- Se debe diseñar una nueva red de suministro de agua de 1.5 km paralela a la antigua red, con una capacidad de 5 L/s que abastezca la demanda de la población, a partir de un estudio topográfico georeferenciado, tomando en cuenta que la trayectoria de la tubería no interfiera en futuras construcciones.
- Por medio de un análisis hidráulico se obtuvo que la altura a vencer de la bomba para un caudal de diseño de 5 L/s es de 118.17 m, para esto se empleará una bomba multietapa modelo MF-25 de 20 HP que trasladará agua a lo largo de 1.5 km mediante una tubería de PVC de 3 pulgadas.
- Con la ayuda de WaterCAD, el cual es un software especializado en líneas de conducción de fluidos de grandes dimensiones se garantizó la veracidad de los cálculos realizados, para valores de caudal de 0 a 10 L/s, para generar de esta forma la curva del sistema.
- El valor total del proyecto para su ejecución es de \$41.432 y mediante los métodos financiero, se validó la rentabilidad del proyecto obteniendo una la tasa interna de retorno (TIR) de 9.47 %, siendo mayor que la tasa de descuento inicial de 7.35 %.

RECOMENDACIONES

- Se debe realizar los mantenimientos necesarios a todo el sistema y en especial en la bomba, para determinar a tiempo las fallas y que estos tengan un impacto mínimo al momento de su funcionamiento.
- Escoger al personal apropiado para que esté encargado del mantenimiento del Diseño del sistema de la red de agua potable, como preferencia se pide que los habitantes de la localidad sea la mejor opción, para los cual se implementará capacitaciones adecuadas para un buen manejo dentro de las instalaciones.
- En proyectos futuros es necesario ampliar la planta de tratamiento de agua para reducir el cuello de botella que se genera al funcionar las dos líneas de abastecimiento ya que el caudal total recibido de estas dos líneas es 9 L/s.

REFERENCIAS

- [1] Transfereciacal, «Scribd,» 13 Abril 2016. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/308368159/ANTECEDENTES-DE-LAS-BOMBAS>. [Último acceso: 25 Noviembre 2019].
- [2] L. Jauregui, «webdelprofesor.ula.ve,» [En línea]. Available: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/iluis/publicaciones/Topograf%EDa/TEMA_1.pdf. [Último acceso: 24 Noviembre 2019].
- [3] C. A. C. Gonzalo Martínez Gonzáles, «Scribd,» 6 Mayo 2014. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/232309624/Importancia-de-La-Topografia-en-La-Obra-Civil>. [Último acceso: 25 Noviembre 2019].
- [4] Google, «www.google.com.ec,» 2019. [En línea]. Available: www.google.com.ec/maps/@-0.3765528,-78.5092874,15z. [Último acceso: Mayo 2020].
- [5] I. I. W. a. S. Centre, «Small Community Water Supplies:,» Jo Smet and Christine van Wijk, 2002.
- [6] A. R. Felices, HIDRÁULICA DE TUBERIAS Y CANALES, Lima: Universidad Nacional de Ingeniería , 2007.
- [7] S. V. S. Eduardo Blanco Marigorta, SISTEMAS DE BOMBEO, Oviedo: Gijón, 2010.
- [8] C. CO., Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías, Guadalajara : VALFISA, SA., 1999.
- [9] A. R. Lorenzana, «drive.google.com,» 8 Noviembre 2014. [En línea]. Available: https://docs.google.com/document/d/1XOPCUMoMvxc5RdIq91DnrgWa8VQoY_1ZH6T_b51JUubQ/edit.
- [10] Uglyalcala, «elpetroleoysusavances.com,» 1 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <https://elpetroleoysusavances.wordpress.com/2016/12/01/proceso-de-produccion-y-manejo-de-crudos-pesados/>.

- [11] R. L. Mott, *Mecánica de fluidos*, Mexico: Pearson educación, 2006, pp. 382-441.
- [12] B. I. S.A., *Datos técnicos de hidráulica*, Valencia, 2014.
- [13] L. W. Mays, *Manual de sistemas de distribución de agua*, Madrid : The McGraw, 2002.
- [14] Navarras, «www.navarras.es,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/4F8A02B4-A60A-42EA-9017-7C19F8722FA2/305689/Bombas2.pdf>. [Último acceso: 12 Noviembre 2019].
- [15] Unatsabar, «Guías para el diseño de estaciones de bombeo,» *Organización Panamericana de la Salud*, p. 13, 2005.
- [16] A. S.D.Khepar, *Water wells and pump*, Nueva Deli : Ata McGraw, 2008.
- [17] O. P. d. l. Salud, «UNATSABAR,» 2005. [En línea]. Available: www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/023_Disenostacionesbombeo/Disenostacionde%20bombeo.pdf. [Último acceso: 16 Noviembre 2019].
- [18] B. i. d. desarrollo, *EVALUACIÓN PARA SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA*, Washington, D.C.: IDB-MG-112, 2011.
- [19] A. Ostfeld, *Water supply system analysis*, Croacia : InTech, 2012.
- [20] L.Roberti, «Conducción por gravedad,» *BID*, p. 12, 2018.
- [21] V.A.Corp, «Valvulas de alivio de aire,» *Man. Intal. operación y mantenimeinto*, 2008.
- [22] O. R. G. Belduma, «Ishareslid,» 29 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://ishareslide.net/embed/investigacion-tipos-de-valvulas>. [Último acceso: 20 Noviembre 2019].
- [23] A.Greenwood, *Pressure Relfef Valve Engineering Handbook*, Tech Publ, 1997.
- [24] Mediavilla, «Bravepages,» Mayo 2005. [En línea]. Available: www.de1939a1945.com/tecnicos/032valvulanoretorno.htm. [Último acceso: 23 Noviembre 2019].

- [25] V. A. M. CORP, «Valmatic,» [En línea]. Available: <https://www.valmatic.com/Portals/0/pdfs/ARCL-OM1-1-Spanish.pdf>. [Último acceso: 22 Noviembre 2019].
- [26] C. SEMARNAT, «CONAGUA,» [En línea]. Available: <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro10.pdf>. [Último acceso: 18 Noviembre 2019].
- [27] E. G. Trisolini, MANUAL DE PROYECTOS DE AGUA POTABLE EN POBLACIONES RURALES, Lima, 2009.
- [28] J. M. F. Huanco, «repositorio.usmp.edu.pe,» 2018. [En línea]. Available: <http://repositorio.usmp.edu.pe/handle/usmp/4613?locale-attribute=es>. [Último acceso: 10 julio 2020].
- [29] A. C. E. S.A, «www.acerocomercial.com,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.acerocomercial.com/brand/grundfos-mark/page/2/>. [Último acceso: 12 Noviembre 2019].
- [30] B. & Gosserr, «ivanbohman.com.ec,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ivanbohman.com.ec/wp-content/uploads/2015/12/sistemabombeo.pdf>. [Último acceso: 16 Diciembre 2019].
- [31] B. a. Gossett, «bellgossett.com,» 2019. [En línea]. Available: <http://bellgossett.com/pumps-circulators/end-suction-pumps/series-e-1531/?page=>. [Último acceso: 16 Diciembre 2019].
- [32] HIDROSCD, «grupoloshidroscd.ec,» 2018. [En línea]. Available: <https://grupoloshidroscd.ec/tuberia-de-presion-espigo-campana/>. [Último acceso: 17 Diciembre 2019].
- [33] iwia, «iwia.ec,» 2018. [En línea]. Available: <http://iwia.ec/categoria-producto/hdpe/>. [Último acceso: 17 Diciembre 2019].
- [34] E. m. d. a. p. y. a. d. Durán, «emapad.gob.ec,» Joomfresh, 2019. [En línea]. Available: <http://www.emapad.gob.ec/home/9-ultimas-noticias/120-tuberia-de-hierro-ductil>. [Último acceso: 7 Enero 2020].

- [35] Dipac, «Dipacmanta,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.dipacmanta.com/tuberia-sin-costura/tc40/tubo-cedula-40>. [Último acceso: 7 Enero 2020].
- [36] hawle, «hawle.com,» 2018. [En línea]. Available: https://www.hawle.com/fileadmin/downloads/catalogue/page/download/wasserkatalog_kapitel_n_a4_hawle_es_2018.pdf. [Último acceso: 15 Diciembre 2019].
- [37] Aquaplas, «www.aquaplas.com.ec,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.aquaplas.com.ec/index.php/home/a-r-i/valvulas-de-aire-ari-para-agua>. [Último acceso: Enero 2020].
- [38] Ecsa, «ecsaingenieria.mx,» 2018. [En línea]. Available: https://ecsaingenieria.mx/upload/catalogos/20180907180460_dav-p-a-engineering-data-eng.pdf. [Último acceso: 20 Enero 2020].
- [39] J. M. G. Díaz, «Cuantificación del perfil del viento hasta 100 m de altura desde la superficie y su incidencia en la climatología eólica,» *Scielo*, vol. 29, n° 46, p. 2, 2013.
- [40] M. d. Ecuador, «multicable.com.,» 2016. [En línea]. Available: <http://multicable.com.ec/cable-de-acero/>.
- [41] M. d. d. u. y. vivienda, «www.habitatyvivienda.gob.ec,» Gobierno de la república del Ecuador, 2020. [En línea]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>. [Último acceso: 8 Junio 2020].
- [42] A. M. Pacheco, «repositorio.utmachala.edu.ec,» 27 Agosto 2019. [En línea]. Available: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/14493>. [Último acceso: 30 Julio 2020].
- [43] W. A. Valencia, «Indicador de Rentabilidad de Proyectos: el valor actual neto (VAN) o el valor económico agregado (EVA),» *Industrial data*, vol. 14, n° 1, p. 2, 2011.
- [44] M. d. v. d. Peru, «<http://minos.vivienda.gob.pe>,» 2010. [En línea]. Available:

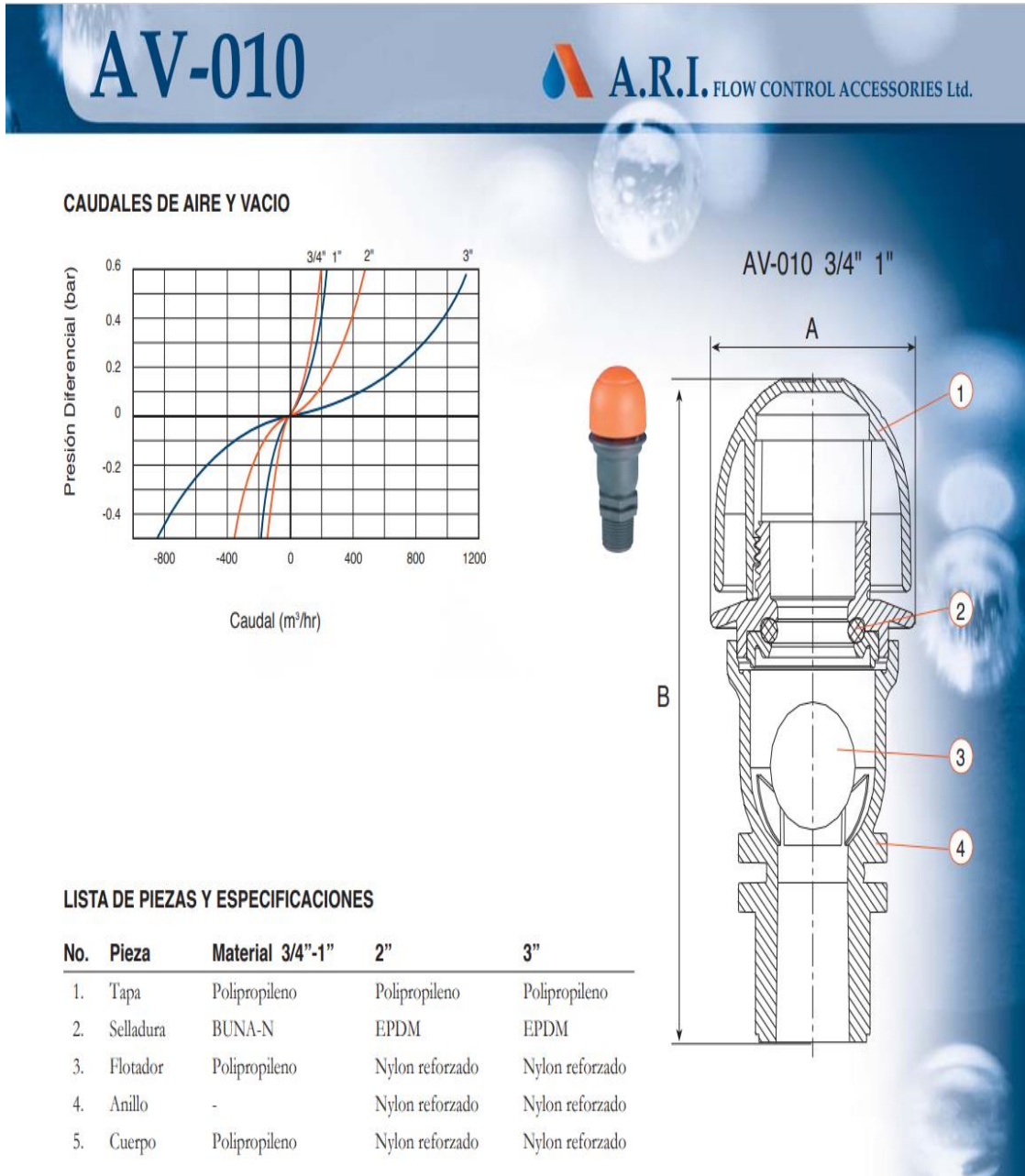
http://minos.vivienda.gob.pe:8081/Documentos_SICA/modulos/FTA/SECCION%20IV/4.14/1104161675_MANUAL%20DE%20OYM.pdf. [Último acceso: 10 julio 2020].

[45] W. Mara, «<https://es.slideshare.net>,» 12 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/wilmermaraq/manual-de-operacin-y-mantenimiento-estacion-de-bombeo-de-desague>. [Último acceso: 10 Julio 2020].

[46] Nikoll, «Saneamiento, Catálogo Técnico,» 2017. [En línea]. Available: <https://nicoll.com.pe>.

ANEXOS

Anexo 1. Especificaciones de válvula de aire [37].



Anexo 2. Espesores de tubería de presión PVC [32].

DIÁMETRO NOMINAL DN/DE mm	SERIE TUBOS						
	25,0	20,0	16,0	12,5	10,0	8,0	6,3
	PRESIÓN NOMINAL						
	0,50	0,63	0,80	1,00	1,25	1,60	2,00
20							1,5
25						1,5	1,9
32					1,6	1,9	2,4
40				1,6	1,9	2,4	3,0
50			1,6	2,0	2,4	3,0	3,7
6		1,6	2,0	2,5	3,0	3,8	4,7
75	1,5	1,9	2,3	2,9	3,6	4,5	5,6
90	1,8	2,2	2,8	3,5	4,3	5,4	6,7
110	2,2	2,7	3,4	4,2	5,3	6,6	8,1
125	2,5	3,1	3,9	4,8	6,0	7,4	9,2
140	2,8	3,5	4,3	5,4	6,7	8,3	10,3
160	3,2	4,0	4,9	6,2	7,7	9,5	11,8
180	3,6	4,4	5,5	6,9	8,6	10,7	13,3
200	3,9	4,9	6,2	7,7	9,6	11,9	14,7
225	4,4	5,5	6,9	8,6	10,8	13,4	16,6
250	4,9	6,2	7,7	9,6	11,9	14,8	18,4
280	5,6	6,9	8,6	10,7	13,4	16,6	20,6
315	6,3	7,7	9,7	12,1	15,0	18,7	23,2
355	7,0	8,7	10,9	13,6	16,9	21,1	26,1
400	7,9	9,8	12,3	15,3	19,1	23,7	29,4

Anexo 3. Especificaciones técnicas de tubería de hierro fundido célula 40 [35].

DIÁMETRO			PROPIEDADES				
INTERIOR	EXTERIOR		ESPESOR(e)		PRESIÓN/PRUEBA		PESO
plg	mm	plg	mm	plg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg/m
½”	21.30	0.84	2.77	0.10	49	700	1.27
¾”	26.70	1.05	2.87	0.11	49	700	1.68
1”	33.40	1.31	3.38	0.13	49	700	2.50
1 ¼”	42.20	1.66	3.56	0.14	91	1300	3.38
1 ½”	48.30	1.90	3.68	0.14	91	1300	4.05
2”	60.30	2.37	3.91	0.15	176	2500	5.44
2 ½”	73.00	2.87	5.16	0.20	176	2500	8.62
3”	88.90	3.50	5.49	0.21	176	2500	11.29
4”	114.30	4.50	6.02	0.23	155	2210	16.07
5”	141.30	5.56	6.55	0.25	137	1950	21.78
6”	168.30	6.62	7.11	0.28	125	1780	28.26
8”	219.10	8.62	8.18	0.32	110	1570	42.53
10”	273.00	10.75	9.27	0.36	101	1430	60.29
12”	323.80	12.75	10.31	0.40	94	1340	79.65
14”	355.60	14.00	11.13	0.43	92	1310	94.55

Anexo 4. Especificaciones técnicas de tubería PVC Plastigama.

ESPECIFICACIONES PARA TUBERÍAS PVC (U)

Especificaciones para Tuberías con Unión por sellado elastomérico (UZ) y Unión por cementado solvente (EC) para riego.

Diámetro Nominal (mm)		Diámetro Interior	Espesor Nominal	Presión de Trabajo		
UNIÓN U/Z	UNIÓN E/C	mm	mm	MPa	PSI (lb/pulg ²)	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

Anexo 5. Tabla de factor de fricción para tuberías de acero dúctil [11].

Tamaño nominal de tubería (plg)	Factor de fricción ft	Tamaño nominal de tubería (plg)	Factor de fricción ft
½	0.027	3 ½, 4	0.017
¾	0.025	5	0.016
1	0.023	6	0.015
1 ¼	0.022	8 - 10	0.014
1 ½	0.021	12 - 16	0.013
2	0.019	18 – 24	0.012
2 ½ , 3	0.018		

Anexo 6. Datos de presiones obtenidas en la simulación

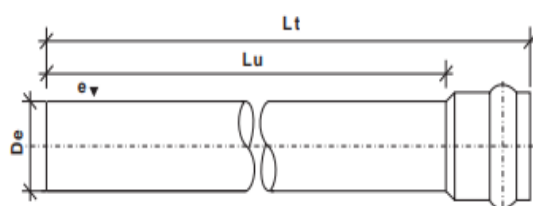
Datos de presión y elevación del sistema			
Distancia	Gradiente hidráulico [m]	Presión [psi]	Elevación [m]
0	0	0	0
11,02	-0,29	-4,98	3,22
11,02	117,90	162,78	3,22
42,38	117,08	148,12	12,73
157,47	114,10	132,47	20,78
263,09	111,37	122,20	25,28
363,62	108,77	95,74	41,32
427,45	107,12	100,19	36,53
457,20	106,35	98,89	36,68
493,85	105,40	98,17	36,24
513,04	104,90	95,71	37,47
523,56	104,63	92,26	39,63
537,61	104,26	92,09	39,39
550,62	103,93	91,69	39,33
581,02	103,14	91,24	38,86
655,43	101,21	83,04	42,71
692,45	100,26	83,96	41,11
718,49	99,58	80,12	43,14

746,92	98,85	85,87	38,35
809,76	97,22	79,55	41,18
895,43	94,99	82,62	36,78
1.031,72	91,44	46,71	58,53
1.078,01	90,24	36,14	64,78
1.154,86	88,25	24,29	71,14
1.172,00	87,81	22,59	71,89
1.203,94	86,98	18,72	73,79
1.228,79	86,34	12,12	77,80
1.256,39	85,62	8,14	79,89
1.283,31	84,93	5,39	81,13
1.320,32	83,97	2,15	82,45
1.356,98	83,02	3,21	80,76
1.392,98	82,09	0,24	81,92
1.460,39	80,34	3,07	78,18
1.467,91	78,90	0	78,18

Anexo 7. Propiedades del agua [11]

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-7}
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-7}

Anexo 8 Especificaciones de tuberías PVC según norma ISO 4422



Factor de seguridad F=2,5

Dn (mm)	De (mm)	Di (mm)	e (mm)	Lt (mm)	Lu (m)	Peso Mínimo (kg)
------------	------------	------------	-----------	------------	-----------	---------------------

Clase 5 (Serie 20) SDR=41

63	63,0	59,8	1,6	6	5,88	2,592
75	75,0	71,2	1,9	6	5,87	3,665
90	90,0	85,6	2,2	6	5,86	5,097
110	110,0	104,6	2,7	6	5,85	7,645
140	140,0	133,0	3,5	6	5,83	12,608
160	160,0	152,0	4,0	6	5,82	16,467
200	200,0	190,2	4,9	6	5,80	25,228
250	250,0	237,6	6,2	6	5,76	39,889
315	315,0	299,6	7,7	6	5,74	62,443
355	355,0	337,6	8,7	6	5,72	79,506
400	400,0	380,4	9,8	6	5,70	100,912

Clase 7,5 (Serie 13,3) SDR=27,6

63	63,0	58,4	2,3	6	5,88	3,684
75	75,0	69,4	2,8	6	5,87	5,335
90	90,0	83,4	3,3	6	5,86	7,550
110	110,0	102,0	4,0	6	5,85	11,189
140	140,0	129,8	5,1	6	5,83	18,156
160	160,0	148,4	5,8	6	5,82	23,602
200	200,0	185,4	7,3	6	5,80	37,122
250	250,0	231,8	9,1	6	5,76	57,851
315	315,0	292,2	11,4	6	5,74	91,335
355	355,0	329,2	12,9	6	5,72	116,459
400	400,0	371,0	14,5	6	5,70	147,610

Clase 10 (Serie 10) SDR=21

63	63,0	57,0	3,0	6	5,88	4,750
75	75,0	67,8	3,6	6	5,87	6,783
90	90,0	81,4	4,3	6	5,86	9,725
110	110,0	99,4	5,3	6	5,85	14,644
140	140,0	126,6	6,7	6	5,83	23,569
160	160,0	144,6	7,7	6	5,82	30,947
200	200,0	180,8	9,6	6	5,80	48,236
250	250,0	226,2	11,9	6	5,76	74,772

Anexo 9. Distribución y longitud de péndolas

X	Y
Distancia del centro [m]	Longitud de la péndola [m]
centro	0.5
1.5	0.51
3	0.53
4.5	0.57
6	0.62
7.5	0.7
9	0.77
10.5	0.86
12	0.98
13.5	1.1
15	1.24
16.5	1.4
18	1.57
19.5	1.76
21	1.96
22.5	2.17
24	2.40
25.5	2.65

27	2.91
28.5	3.18
30	3.48
31.5	3.78
33	4.1
34.5	4.44
36	4.78
37.5	5.14
39	5.53
40.5	5.92
42	6.33
43.5	7.44
45	7.19
46.5	7.65
48	8.12
49.5	8.6
51	9.1
52.5	9.61
54	10.14

Anexo 10. Especificaciones de varilla corrugada

TABLA DE VARILLAS								
Diám /mm	Kg/m	12 m		9m		6 m		TOLERANCIA
		Kg	Var x Qq	Kg	Var x Qq	Kg	Var x Qq	
8	0.395	4.740	9.568	3.555	12.757	2.370	19.136	± 50mm
10	0.617	7.404	6.125	5.553	8.167	3.702	12.251	
12	0.888	10.656	4.256	7.992	5.675	5.328	8.512	
14	1.208	14.496	3.129	10.872	4.171	7.248	6.257	
16	1.578	18.936	2.395	14.202	3.193	9.468	4.790	
18	1.998	23.976	1.892	17.982	2.522	11.988	3.783	
20	2.466	29.592	1.533	22.194	2.043	14.796	3.065	
22	2.984	35.808	1.267	26.856	1.689	17.904	2.533	
25	3.853	46.236	0.981	34.677	1.308	23.118	1.962	
28	4.834	58.008	0.782	43.506	1.042	29.004	1.564	
32	6.313	75.756	0.599	56.817	0.798	37.878	1.197	
36	7.990	95.880	0.473	71.910	0.631	47.940	0.946	

PROPIEDADES MECÁNICAS		MPa	kgf/mm ²
Límite de fluencia mínimo		420	42
Límite de fluencia máximo		540	55
Resistencia a la tracción mínima		550	56
ALARGAMIENTO (%) MÍNIMO CON PROBETA		Lo=200mm	
Diámetro nominal (mm)		%	
8-20		14	
22-32		12	

DOBLADO A 180°	
Diámetro nominal (d) mm	Diámetro del mandril
8-18	3d
20-25	4d
28-32	6d

Anexo 11

Julio - 2020			
1. TASAS DE INTERÉS ACTIVAS EFECTIVAS VIGENTES PARA EL SECTOR FINANCIERO PRIVADO, PÚBLICO Y, POPULAR Y SOLIDARIO			
Tasas Referenciales		Tasas Máximas	
Tasa Activa Efectiva Referencial para el segmento:	% anual	Tasa Activa Efectiva Máxima para el segmento:	% anual
Productivo Corporativo	9.08	Productivo Corporativo	9.33
Productivo Empresarial	9.50	Productivo Empresarial	10.21
Productivo PYMES	11.46	Productivo PYMES	11.83
Productivo Agrícola y Ganadero**	8.34	Productivo Agrícola y Ganadero**	8.53
Comercial Ordinario	9.24	Comercial Ordinario	11.83
Comercial Prioritario Corporativo	9.12	Comercial Prioritario Corporativo	9.33
Comercial Prioritario Empresarial	9.65	Comercial Prioritario Empresarial	10.21
Comercial Prioritario PYMES	10.84	Comercial Prioritario PYMES	11.83
Consumo Ordinario	16.57	Consumo Ordinario	17.30
Consumo Prioritario	16.78	Consumo Prioritario	17.30
Educativo	9.38	Educativo	9.50
Educativo Social	7.30	Educativo Social	7.50
Vivienda de Interés Público	4.83	Vivienda de Interés Público	4.99
		Vivienda de Interés Social³	4.99
Inmobiliario	9.97	Inmobiliario	11.33
Microcrédito Agrícola y Ganadero**	18.87	Microcrédito Agrícola y Ganadero**	20.97
Microcrédito Minorista ^{1*}	26.00	Microcrédito Minorista ^{1*}	28.50
Microcrédito de Acumulación Simple ^{1*}	23.51	Microcrédito de Acumulación Simple ^{1*}	25.50
Microcrédito de Acumulación Ampliada ^{1*}	20.90	Microcrédito de Acumulación Ampliada ^{1*}	23.50
Microcrédito Minorista ^{2*}	23.23	Microcrédito Minorista ^{2*}	30.50
Microcrédito de Acumulación Simple ^{2*}	21.73	Microcrédito de Acumulación Simple ^{2*}	27.50
Microcrédito de Acumulación Ampliada ^{2*}	20.13	Microcrédito de Acumulación Ampliada ^{2*}	25.50
Inversión Pública	7.35	Inversión Pública	9.33

1. Las tasas de interés para los segmentos Microcrédito Minorista, Microcrédito de Acumulación Simple y Microcrédito de Acumulación Ampliada son aplicables para el sector financiero privado y de la economía popular y solidaria (cooperativas de ahorro y crédito del segmento 1 y mutualistas).

2. Las tasas de interés para los segmentos Microcrédito Minorista, Microcrédito de Acumulación Simple y Microcrédito de Acumulación Ampliada son aplicables para el sector de la economía popular y solidaria (cooperativas de ahorro y crédito del segmento 2, 3, 4 y 5).

Anexo 12. Manual de mantenimiento

Mantenimiento del sistema de bombeo

La operación de mantenimiento es de realizar acciones adecuadas y oportunas con la finalidad de prevenir o corregir daños que se produzcan en las partes del sistema para que funciones de una forma continua y eficiente según las especificaciones del diseño [44].

Responsable de la operación de mantenimiento

La Junta de Aguas de San Vicente de Andoas (JASVA) es la encargada de establecer la persona adecuada para la operación y mantenimiento del sistema de agua potable. Debe cumplir y hacer cumplir todas las funciones establecidas en los estatutos que se refieren a la prestación de los servicios. A continuación, algunas de las responsabilidades [45]:

- Operar y mantener adecuadamente el servicio.
- Inspeccionar periódicamente cada componente del sistema.
- Responder ante la JASVA sobre el estado general del sistema.
- Llevar el registro y control de la operación y mantenimiento, haciendo un reporte mensual a la JASVA.
- Informar a la JASVA sobre las necesidades de adquisición de materiales, herramientas, repuestos e insumos para el buen funcionamiento del sistema.

Mantenimiento preventivo

La actividad de mantenimiento preventivo es en realidad la conservación en buen estado del funcionamiento de los equipos e instalaciones en el Sistema de Bombeo de agua Potable [45].

Equipos, válvulas y accesorios por realizar mantenimiento:

- Bombas.
- Tablero eléctrico.
- Válvulas y accesorios.
- Sistema de control de funcionamiento de bombas.

El mantenimiento preventivo se realizará para que las instalaciones del sistema de bombeo y equipos se encuentren en óptimas condiciones y deberán efectuarse con una periodicidad establecida [45].

Un mantenimiento de rutina debe consistir:

- Una revisión general de los equipos electromecánicos en condiciones operativas.
- Arrancar la bomba a su turno, verificar la corriente inicial inducida y la corriente de operación.
- Verificar que los caudales y presiones esperados en el sistema de bombeo.

Mantenimiento correctivo

Antes de empezar a manipular la bomba y controles, siempre se debe desconectar la energía. Cuando el servicio de campo es desarrollado para reparar una bomba, deberá seguirse las siguientes instrucciones cuidadosamente. Si el bobinado del motor es quemado o presenta cortocircuito, éste puede ser rebobinado o reemplazado con un estator bobinado de fábrica. Los siguientes pasos deben seguirse para remover y reemplazar el estator [45].

- Si sólo el estator es dañado, puede que no sea necesario desmantelar totalmente la bomba como el estator y la caja puedan ser levantadas de la bomba sin perjudicar los sellos o rodamientos.
- Drenar todo el aceite de la caja superior, remueva el tapón del drenaje en la parte inferior de la caja del estator y retire el tapón en la parte superior de la caja para permitir el ingreso del aire.
- Después que la estación sea drenada, retire los pernos. Tenga cuidado cuando los retire y desconecte el cable conector con falla en el sello antes de que la caja sea totalmente removida completamente.
- Limpie minuciosamente la caja antes de reemplazar el nuevo estator.

Mantenimiento de bomba centrífuga

Tabla 36. Mantenimiento de bomba centrífuga [44].

Periodo de mantenimiento	Trabajos a realizar	Materiales y repuestos
1 día	<p>Reporte de presiones de descarga.</p> <p>Chequeo de prensaestopas y ajuste.</p> <p>Control externo y lubricación de cojinetes y rodamientos por aceite y grasa según el tipo.</p> <p>Reporte de vibraciones o estabilidad en el funcionamiento del equipo, y de condiciones generales de trabajo.</p>	<p>Aceite</p> <p>Grasa</p> <p>Empaquetadura de Prensaestopas</p> <p>Formularios</p>
4 meses	<p>Cambio de grasa de los rodamientos si fueren lubricados por grasa sin desmontaje, expulsando por presión de un engrasador tipo dé pistola toda la grasa antigua.</p> <p>Cambio de aceite de los rodamientos si fueren lubricados por aceite, drenando el aceite usado y llenando nuevamente.</p> <p>Alineamiento de la unidad bomba motor y ajuste de los pernos de anclaje.</p> <p>Chequeo de prensaestopas y cambio de empaquetadura si fuere necesario.</p>	<p>Aceite</p> <p>Grasa</p> <p>Empaquetadura de prensaestopas</p> <p>Pernos de repuesto</p> <p>Láminas (calzas) para nivelación</p>
Anual	<p>Desmontaje completo de la bomba.</p> <p>Lavado y limpieza completa de todas las partes.</p> <p>Chequeo del alineamiento y desgaste del eje y reparaciones o cambio si fuere necesario.</p>	<p>Ejes</p> <p>Solventes</p> <p>Pintura</p> <p>Impulsores</p>

	<p>Chequeo de impulsores, bujes, rodamientos, anillos, empaques, y demás elementos sujetos a desgaste, reparaciones o cambios de las partes dañadas si fuere necesario.</p> <p>Montaje, alineamiento y prueba completa de la unidad.</p> <p>Control de válvulas y reparaciones si fueren necesarias.</p> <p>Chequeo de las condiciones técnicas de trabajo del equipo en relación con su diseño y características.</p>	<p>Difusores</p> <p>Bujes</p> <p>Anillos</p> <p>Rodamientos</p> <p>Empaques</p> <p>Aceite</p> <p>Pines</p> <p>Grasa</p> <p>Empaque de prensaestopas</p> <p>Láminas (calzas) para nivelación</p> <p>Barniz</p> <p>Pernos de repuestos y tuercas</p> <p>Empaques de válvulas</p> <p>Compuertas de válvula</p> <p>Pasadores y compuertas para válvula.</p>
--	--	---

Mantenimiento correctivo bomba

Tabla 37. Mantenimiento correctivo de la bomba [44].

Problema	Causa probable	Solución
Caudal de impulsión de la bomba demasiado reducido.	Contrapresión demasiado alta.	Aumentar la velocidad de giro. Si esto no fuera posible con el accionamiento eléctrico, es necesario el montaje de un impulsor mayor o de una bomba más grande.
	La bomba no está suficientemente llena.	Volver a llenar la bomba y las tuberías, y evacuar el aire cuidadosamente.
	Formación de bolsas de aire en las tuberías.	Modificar las tuberías y, si es necesario, montar válvulas de aireación.
	Altura de carga demasiado pequeña (cuando se trabaja con carga).	Inspeccionar el nivel de agua en el depósito de carga y ver si existen resistencias demasiado grandes. Las válvulas de cierre en la tubería de carga deberán controlarse para ver si están completamente abiertas; si fuese necesario se colocarán dispositivos de bloqueo que impidan su cierre indebido.
	Altura de aspiración excesiva cuando se trabaja con Aspiración	Limpiar la canastilla y la tubería de aspiración, ampliar, si fuese necesario, el diámetro de la Tubería de aspiración. Examinar la válvula de pie para ver si está completamente abierta. Inspeccionar el nivel del agua en el pozo.
	Aspiración de aire por el	Aumentar la presión del líquido de cierre; controlar el orificio de paso del líquido de cierre para ver si está obstruido.

	Prensaestopas	Si fuese necesario se introducirá líquido de cierre del exterior.
	Fuerte desgaste de las piezas Interiores	Abrir la bomba, controlar los juegos de las piezas sometidas a desgaste (anillos de junta e impulsor); en caso dado recambiar las piezas.
Sobrecarga de la máquina de accionamiento	La contrapresión de la bomba es menor que lo que se indicaba en los datos del pedido.	Regular la válvula de cierre de la tubería de impulsión en la medida que sea necesaria para conseguir que la presión en la boca de impulsión de la bomba sea igual al valor que se indica en el periodo.
Presión excesiva de la bomba	El número de revoluciones es demasiado apto.	Controla exactamente la velocidad de giro. Si no es posible una reducción, es preciso rebajar el impulsor.
Temperatura elevada de los cojinetes	El grupo está mal alineado.	Controlar la alineación en el acoplamiento.
	La tubería produce tensiones.	Se realizará una conexión sin tensión de la tubería, cambiando el trazado. Corregir la alineación del grupo.
	Aumento del empuje axial a causa del taponamiento de los conductos de compensación o desgaste de los anillos de junta.	Limpiar los conductos de compensación. Recambiar los anillos de junta.
	No se ha dejado la distancia necesaria para el acoplamiento (el motor	Corregir la distancia en el acoplamiento (las medidas están indicadas en el plano de fundación)

	empuja)	
--	---------	--

Mantenimiento de las tuberías

Tabla 38 Mantenimiento de la red de tubería [44].

Frecuencia	Actividades	Herramientas y materiales
Semanal	<p>Inspeccionar la línea para detectar posibles fugas y repararlas inmediatamente.</p> <p>Maniobrar válvulas de purga o aire, si hubiera.</p>	<p>Pala,</p> <p>pico,</p> <p>arco de sierra,</p> <p>tuberías,</p> <p>Pegamento.</p>
Mensual	<p>Inspeccionar el interior de los buzones de reunión, cámaras distribuidoras y cámaras rompe presión.</p> <p>Abrir y cerrar las Válvula, verificando su funcionamiento</p>	<p>Pala,</p> <p>pico,</p> <p>tubería,</p> <p>Accesorios y pegamento, llave francesa o de boca.</p>
Trimestral	<p>Limpiar la zona aledaña de piedras y malezas de la caja de válvulas de purga.</p> <p>Limpiar el canal de escurrimiento de las cámaras rompe presión.</p>	<p>Pico,</p> <p>lampa,</p> <p>Machete.</p>
Semestral	<p>Se resana la estructura, si es necesario.</p> <p>Inspección del funcionamiento hidráulico y mantenimiento de la línea.</p> <p>Corregir la conducción en lugares donde esté</p>	<p>Cemento,</p> <p>Agregados</p> <p>Badilejo</p>

	instalada profundidad insuficiente.	Pala
Anual	Pintar elementos metálicos en la línea. Revisión de válvulas y reparación, de ser el caso.	Brocha, lija, pintura

Actividades a realizar en las cajas con válvulas de aire

- Desempolvar la parte externa de la estructura y de sus alrededores.
- Engrasar los pernos y tuercas de la tapa metálica.
- En caso de fuga o grietas en las estructuras resanar con partes iguales de cemento y arena fina.
- Limpiar internamente las cajas de las válvulas de aire retirando hierbas, agua acumulada u otros materiales extraños.
- Verificar si la válvula y accesorios están entre 3 a 5 cm sobre el lecho de grava.
- Cerrar la tapa metálica [45].

Anexo 13. Fotos correspondientes al proyecto

Fotos tomadas por: David Pachacama y Darío Narváez

