

**DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN OPERACIONAL DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO
DE AGUA PARA LOS SECTORES DE MIRAFLORES Y SAN LUIS, Y EL
LAVADO DE FILTROS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO LA FLORA DEL
ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.**

JAVIER ANDRÉS BERMÚDEZ SEPÚLVEDA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2016

**DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN OPERACIONAL DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO
DE AGUA PARA LOS SECTORES DE MIRAFLORES Y SAN LUIS, Y EL
LAVADO DE FILTROS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO LA FLORA DEL
ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.**

JAVIER ANDRÉS BERMÚDEZ SEPÚLVEDA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director

JAVIER RUGELES PÉREZ

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

**Gracias a Dios y a mis padres Olga y Javier
Por brindarme esta gran oportunidad,
A mi familia que siempre estuvo conmigo y
No menos importantes, a todos mis amigos que
Estuvieron conmigo en cada dificultad, en cada alegría
Ya que sin ellos, todo esto habría sido mucho más difícil.**

AGRADECIMIENTOS

Inmenso agradecimiento al profesor Javier Rugeles Pérez que con su gran ayuda y dedicación brindó la orientación necesaria para realizar este proyecto.

Al ingeniero Juan Manuel Galvis Casanova, jefe de Mantenimiento Mecánico del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga quien compartió su tiempo y brindo su atenta asesoría.

A la jefatura de la planta La Flora y a todo su personal técnico por su amable disposición.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	22
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	22
2. JUSTIFICACIÓN.....	25
3. OBJETIVOS	27
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	27
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
4. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE BOMBEO	29
4.1 ESTACIÓN DE BOMBEO	30
4.1.1 Sistema de bombeo “San Luis”.....	31
4.1.2 Sistema de bombeo “Miraflores”.....	33
4.1.3 Sistema de bombeo de lavado.	36
4.2 FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO.....	40
4.2.1 Funcionamiento sistema de bombeo de lavado.	40
4.2.2 Funcionamiento sistema de bombeo Miraflores.:	47
4.2.3 Funcionamiento sistema de bombeo San Luis.	50
4.3 ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL.....	54
5. ANÁLISIS TOPOGRÁFICO	56
6. DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO DE LAVADO DE FILTROS, MIRAFLORES Y SAN LUIS	59

6.1	CONSIDERACIONES PARA EL SISTEMA DE BOMBEO DE LAVADO DE FILTROS....	60
6.2	ALTERNATIVAS DADAS PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	60
7.	DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA FUTURA	71
7.1	DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE COMPLEJIDAD [1] DEL SISTEMA	72
7.2	PERIODO DE DISEÑO	73
7.3	DETERMINACIÓN DE LA POBLACIÓN	74
7.3.1	Población flotante.....	75
7.3.2	Población de diseño..	75
7.4	DOTACIÓN	76
7.4.1	Dotación neta.	76
7.4.2	Dotación bruta.	77
7.5	DEMANDA DE AGUA POR POBLACIÓN	77
7.5.1	Caudal medio diario.	77
7.5.2	Caudal máximo diario.	78
7.5.3	Caudal máximo horario.	78
7.6	CURVA DE VARIACIÓN HORARIA DE LA DEMANDA.....	79
7.7	ESTACIÓN DE BOMBEO	82
7.7.1	Tiempo de bombeo.	82
7.7.2	Caudal de diseño.....	83
7.8	NUEVA CURVA DE OPERACIÓN.....	84
7.8.1	Ecuación del sistema.	84
7.9	SELECCIÓN DE BOMBAS	87
7.9.1	Cálculo del punto de máxima eficiencia.	87

7.9.2	Número de bombas..	91
7.10	VÁLVULAS Y ACCESORIOS EN ESTACIÓN DE BOMBEO	91
7.11	DESCRIPCIÓN DE LOS ACCESORIOS EN ESTACIÓN DE BOMBEO	95
7.11.1	Filtro de aspiración.....	95
7.11.2.	Válvula de control	95
7.11.3.	Válvula antirretorno.....	96
7.11.4.	Válvula de ventosa	96
7.11.5.	Válvula antigolpe de ariete.....	97
8.	TUBERÍAS DE SUCCIÓN E IMPULSIÓN	98
8.1	DIÁMETROS DE LAS TUBERÍAS	98
8.2	DISTANCIA ENTRE EL FONDO Y LA BOCA DE SUCCIÓN	100
8.3	CÁLCULO DE LA ALTURA PIEZOMÉTRICA NETA DE SUCCIÓN POSITIVA NPSH...100	
9.	TANQUES DE ALMACENAMIENTO	102
9.1	CONDICIONES GENERALES	102
9.1.1	Tipo de tanque.....	102
9.1.2	Forma del tanque.....	103
9.1.3	Número de tanques..	103
9.1.4	Capacidad de regulación	104
9.1.5	Volumen de tanques	106
10.	ANÁLISIS ECONÓMICO	108
10.1	INGRESOS	108
10.2	COSTOS.....	110
10.2.1	Costos totales.	110

10.2.2	Costos de inversión inicial.	110
10.2.3	Costos energéticos.....	112
10.2.4	Costos de mantenimiento.	113
10.2.5	Costos por depreciación.	113
10.3	UTILIDAD	114
11.	ASPECTOS COMPLEMENTARIOS.....	115
11.1	CORROSIÓN EN TUBERÍAS.....	115
11.2	NORMAS DE SEGURIDAD EN ESTACIONES DE BOMBEO	115
11.2.1	Señalización.	115
11.2.2	Iluminación.	117
12.	MANTENIMIENTO	118
12.1	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	118
12.1.1	Mantenimiento en pozo de succión..	118
12.1.2	Mantenimiento de los equipos de bombeo.....	118
12.1.3	Mantenimiento en los accesorios.....	119
12.1.4	Mantenimiento en los equipos eléctricos.....	119
12.2	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	119
12.3	REGISTRO DE MANTENIMIENTOS.....	120
12.4	DISPONIBILIDAD DE REPUESTOS	120
13.	INSTALACIÓN DE BOMBAS	121
13.1	DESEMPAQUE DEL EQUIPO	121
13.2	PLANEAMIENTO DE LA INSTALACIÓN	121
13.3	CIMENTACIÓN.....	121

13.4	ALINEACIÓN DE LA BOMBA Y MOTOR	122
14.	CONCLUSIONES.....	123
15.	RECOMENDACIONES.....	124
	BIBLIOGRAFÍA	125
	ANEXOS	126

NOTA

LOS ANEXOS DE ESTE PROYECTO PUEDEN SER CONSULTADOS EN LA BIBLIOTECA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER-SALA BASE DE DATOS

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Planta ‘La Flora’	23
Figura 2. Sistemas de bombeo	23
Figura 3. Sistema de bombeo de lavado de filtros	24
Figura 4. Nuevos sistemas de bombeo implementados bajo normativa vigente....	26
Figura 5. Sistema actual de lavado de filtros	29
Figura 6. Sistema de tuberías comunidades Miraflores y San Luis.....	30
Figura 7. Sistema de bombeo San Luis.....	31
Figura 8. Placa de motor San Luis	31
Figura 9. Placa San Luis	32
Figura 10. Sistema de bombeo Miraflores.....	34
Figura 11. Placa de motor Miraflores	34
Figura 12. Sistema de bombeo de Lavado.....	36
Figura 13. Placa de bomba Lavado 2	37
Figura 14. Placa de motor lavado.....	37
Figura 15. Placa de bomba de lavado	37
Figura 16. Curva característica actual.	45
Figura 17. Curva del fabricante	46
Figura 18. Punto de operación del sistema	47

Figura 19. Frecuencia Miraflores.....	47
Figura 20. Curva característica Miraflores.....	49
Figura 21. Curva del fabricante	49
Figura 22. Punto de operación del sistema	50
Figura 23. Frecuencia San Luis.....	51
Figura 24. Curva característica San Luis.....	52
Figura 25. Curva característica proporcionada por el fabricante	53
Figura 26. Punto de operación del sistema	53
Figura 27. Ejemplo del comportamiento de los sistemas de bombeo	54
Figura 28. Plano de nueva caseta de bombeo	56
Figura 29. Plano topográfico de zona de interés	57
Figura 30. Perfil de alturas del terreno de interés.....	57
Figura 31. Marcación de cotas.	58
Figura 32. Señalización de cotas.	58
Figura 33. Casa de máquinas.....	59
Figura 34. Simulación sistema de lavado individual.....	61
Figura 35. Tanque de succión	61
Figura 36. Tubería de succión	62
Figura 37. Patrón de suministro.....	62
Figura 38. Tanque de almacenamiento	63
Figura 39. Nodo emisor	63
Figura 40. Control de operación	64
Figura 41. Comportamiento del tanque de almacenamiento de lavado	65

Figura 42. Simulación de sistema Lavado – Miraflores.....	66
Figura 43. Nodo emisor comunidad Miraflores	67
Figura 44. Niveles de tanques Miraflores - Lavado	68
Figura 45. Simulación de sistema San Luis	70
Figura 46. Comportamiento del nivel de tanque San Luis	70
Figura 47. Número de personas por hogar	72
Figura 48. Curva de variación horaria Miraflores 2046	80
Figura 49. Curva de demanda horaria San Luis 2046	82
Figura 50. Curva característica Miraflores – Lavado.....	85
Figura 51. Curva característica San Luis.....	85
Figura 52. Punto de operación Miraflores – Lavado.....	86
Figura 53. Punto de operación San Luis	86
Figura 54. Gráfico de selección de velocidades	87
Figura 55. Zonificación de los sistemas.....	88
Figura 56. Valores de eficiencia según velocidad específica	89
Figura 57. Disposición en estación de bombeo	93
Figura 58. Accesorios en estación de bombeo	94
Figura 59. Filtro de aspiración	95
Figura 60. Válvula de control	95
Figura 61. Válvula antirretorno.....	96
Figura 62. Válvula de ventosa	96
Figura 63. Válvula antigolpe de ariete.....	97
Figura 64. Señal de precaución.....	116

Figura 65. Elementos de protección personal.....	116
Figura 66. Señal de riesgo eléctrico.....	116
Figura 67. Señales de dirección	117
Figura 68. Señal de primeros auxilios.....	117

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Información de bombeo San Luis.....	32
Tabla 2. Información motores San Luis	32
Tabla 3. Información línea de succión San Luis	33
Tabla 4. Información de bombas Miraflores	35
Tabla 5. Información de motores Miraflores	35
Tabla 6. Información línea de succión Miraflores	36
Tabla 7. Información de bombas Lavado	38
Tabla 8. Información de motores de Lavado	38
Tabla 9. Información de bombas de Lavado 2	39
Tabla 10. Información de motores de lavado 2.....	39
Tabla 11. Información tubería de succión Lavado	40
Tabla 12. Pruebas de campo	40
Tabla 13. Tomas de tiempo	41
Tabla 14. Información de propiedades y alturas:.....	42
Tabla 15. Valor de pérdidas por accesorios.....	44
Tabla 16. Curva del fabricante.....	46
Tabla 17. Información del tanque Miraflores	48
Tabla 18. Valores de carga Miraflores	48

Tabla 19. Información tanque San Luis	51
Tabla 20. Valores de carga San Luis	52
Tabla 21. Alternativas	55
Tabla 22. Matriz de comparación	69
Tabla 23. Determinación de la demanda futura	71
Tabla 24. Nivel de complejidad.....	73
Tabla 25. Periodo de diseño	74
Tabla 26. Dotación neta por habitante.....	76
Tabla 27. Tabla de variación horaria Miraflores 2046	79
Tabla 28. Tabla de variación horaria San Luis 2046	81
Tabla 29. Caudales de diseño	84
Tabla 30. Velocidades máximas admisibles para tubería de succión	99
Tabla 31. Tarifas para el consumo de agua 2016	109
Tabla 32. Facturación anual.....	110
Tabla 33. Accesorios y elementos necesarios para proyección	111
Tabla 34. Tarifas de energía.....	112

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN OPERACIONAL DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA PARA LOS SECTORES DE MIRAFLORES Y SAN LUIS, Y EL LAVADO DE FILTROS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO LA FLORA DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.*

AUTOR: JAVIER ANDRÉS BERMÚDEZ SEPÚLVEDA.**

PALABRAS CLAVES: Sistemas de bombeo, Planta La Flora, amb, Normativa RAS.

DESCRIPCIÓN: Este proyecto consiste en el diseño hidráulico de tres sistemas de bombeo presentes en la planta de tratamiento La Flora del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. el cual tiene como objetivo renovar los procesos realizados para así brindar a la comunidad servicios óptimos y de calidad.

Para cumplir con estas condiciones, fue necesario realizar una etapa de diagnóstico de los procesos y de la infraestructura actual, de tal forma que el diseño determinara el destino en el proyecto de los elementos existentes. Fue así como se observó la necesidad de realizar un nuevo planteamiento de la disposición de los sistemas de bombeo debido a las grandes pérdidas generadas por la antigüedad de los equipos utilizados y de la inestabilidad que puede generar a futuro para las poblaciones adscritas.

Con estas observaciones se procede a realizar un diseño que mejore todos los aspectos de importancia para la empresa como la disponibilidad de los tanques, nuevos equipos de bombeo y ahorro económico energético, los cuales fueron especificados en dos alternativas que fueron comparadas y elegida la de mejor condición. La elección de esta alternativa fue sustentada bajo cálculos experimentales tomados en la planta, además del uso de expresiones de cálculo como Darcy-Weisbach y datos de proveedores.

El resultado del proyecto permite garantizar que los procesos de la planta se puedan desarrollar de acuerdo a los nuevos requerimientos, además, de obtener beneficios operacionales por la implementación de nuevos equipos con mayores puntos de eficiencia que según el análisis económico es posible recuperar en un rango de cuatro años.

* Trabajo de Grado.

**Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director Ing. Javier Rugeles Pérez.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND OPERATIONAL OPTIMIZATION OF SYSTEMS OF WATER PUMPING FOR SECTORS MIRAFLORES AND SAN LUIS, AND WASHING FILTERS IN TREATMENT PLANT LA FLORA OF BUCARAMANGA METROPOLITAN AQUEDUCT S.A. E.S.P.*

AUTHOR: JAVIER ANDRÉS BERMÚDEZ SEPÚLVEDA.**

KEYWORDS: Pumping systems, Plant La Flora, RAS Regulations, amb.

DESCRIPTION: This project consist a hydraulic design of three pumping systems in the wastewater treatment plant " la flora" of Bucaramanga metropolitan aqueduct s.a. e.s.p. which aims to renew the processes performed in order to provide an optimums quality and services for the community.

To fulfill these conditions, it was necessary to perform a stage diagnostic of processes and existing infrastructure, so that the design will determine the destination of the project for existing elements.it was thus the need for a new approach for pumping systems because of big losses due to the age of the equipment used and instability that can lead to future for populations attached.

With these observations we proceed to make a design that improves all aspects of importance to the company as the availability of tanks, new pumping equipment, and energy cost savings, it was specified in two alternatives and the best condition was chosen. The choice of this alternative was supported by experimental calculations taken at the plant, and the use of calculation expressions as Darcy-Weisbach, and supplier data.

The result of the project allows to ensure that the plant processes can be developed according to the new requirements, in addition, to obtain operational benefits by implementing new equipment with higher efficiency points that according to the economic analysis can be recovered in a range four years.

* Bachelor Thesis.

**Faculty of Physico-Mechanical Engineering, Mechanical Engineering School. Director Ing. Javier Rugeles Pérez.

INTRODUCCIÓN

El gran crecimiento poblacional y las nuevas exigencias de calidad en la prestación de los servicios públicos fundamentales han generado repercusiones en las empresas dedicadas a este trabajo, buscando entre ellas, mejoramiento en la parte técnica y administrativa para prestar servicios óptimos y lograr reconocimientos a nivel nacional. Esto ha generado que el ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P. se comprometa con la calidad del servicio que presta para toda el área metropolitana de Bucaramanga y sus comunidades aledañas, actualizando la infraestructura con la que lleva a cabo los procesos de potabilización del agua, basándose en los estándares internacionales de calidad que brinda avances en procesos de funcionamiento y mantenimiento, garantizando así, resultados óptimos de manera continua por aproximadamente 100 años.

En este proyecto se logran identificar los problemas presentes en la planta 'La Flora' del ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P. donde los procesos de lavado de filtros y sedimentadores necesitan del diseño de una nueva infraestructura y a su vez, generar avances importantes en los tiempos de las operaciones de la planta, para ello, junto con los datos recolectados en campo e historiales de mantenimiento, se buscarán las mejores alternativas que permitan lograr la optimización deseada, ya sea con la adquisición de nuevos equipos o con la reubicación de algunos de los existentes.

El amplio equipo de trabajo que compone este proyecto ha facilitado de gran manera su desarrollo, en el cual, dependencias como la Gerencia de operaciones, la colaboración de técnicos, docentes dedicados a la investigación y la cátedra y el autor de este proyecto, han aportado de gran manera en conseguir los resultados con lo que hoy posicionan al ACUEDUCTO METROPOLITANO DE

BUCARAMANGA S.A. E.S.P. como una de las mejores empresas del país y permiten brindarle a la comunidad beneficiada servicios de la más alta calidad.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La empresa **ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA –amb- S.A. E.S.P**, empresa prestadora del servicio público domiciliario de acueducto, tiene como propósito empresarial la prestación de los servicios domiciliarios de acueducto y saneamiento básico, así como las actividades complementarias al mismo en las localidades que integran el Área Metropolitana de Bucaramanga y demás municipios vecinos a los cuales se extienda la prestación de estos servicios.

El Acueducto Metropolitano de Bucaramanga en su búsqueda continua del mejoramiento del servicio al cliente y preservación de los recursos naturales, gestiona un plan de mantenimiento y desarrollo sostenible de su actual sistema de abastecimiento de agua potable.

Este sistema está constituido por las plantas "Morrórico" (Sistema Río Tona), "Florida" (Sistema Río Frío) y "Bosconia" (Sistema Río Suratá), junto con la planta de tratamiento 'La Flora' localizada en la parte Oriental de Bucaramanga en la zona de Morrórico, sobre la margen izquierda de la carretera que conduce a Pamplona, a la altura del kilómetro dos entre las cotas topográficas 1170 y 1195 msnm, y destinada a tratar aguas provenientes de las fuentes de la hoya del río Tona, para abastecer las redes Norte, Oriente y Sur del sistema de distribución.

Figura 1. Planta La Flora



Fuente: Google Street View

Es en la planta “La Flora” donde la Empresa encontró que los equipos de bombeo utilizados actualmente deben ser renovados, ya que algunos de estos operan desde hace aproximadamente 50 años y no se encuentran implementados según la normativa RAS 2000.

Figura 2. Sistemas de bombeo



Además, el proceso consecutivo de retrolavado de los filtros de sedimentación presenta la limitación de no poder realizar el llenado del tanque de almacenamiento mientras este proceso se lleva a cabo, lo cual precisa de un nuevo diseño de distribución para su solución.

Figura 3. Sistema de bombeo de lavado de filtros



2. JUSTIFICACIÓN

Para alcanzar las metas propuestas en el plan de mantenimiento y desarrollo sostenible de su actual sistema de abastecimiento de agua potable, la compañía requiere implementar nuevos sistemas de bombeo con alto nivel tecnológico, y de esta forma garantizar la calidad y los objetivos misionales de ofrecer productos y servicios de alto estándar para satisfacer las necesidades de los clientes. Para ello, se vio la necesidad de realizar el diseño hidráulico de los tres sistemas de bombeo presentes en la planta 'La Flora'.

El no implementar éste diseño generará que se continúen presentando limitaciones en la programación del lavado de los filtros, y con ello afectar la calidad del agua. Se procede a determinar el costo que tiene para la empresa la implementación de un nuevo proceso, y se encuentra que es posible generar ahorros significativos en lo que concierne al ahorro energético y al aumento de la eficiencia del sistema.

Otra de las razones por las cuales el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. considera que el desarrollo del proyecto es necesario, es la actualización tecnológica que se está llevando a cabo en la empresa y que comprende el uso de un nuevo edificio en el cual se implementen sistemas de bombeo de agua cumpliendo con la normatividad vigente que permitan garantizar las condiciones de funcionamiento y mantenimiento con mayor eficiencia.

Figura 4. Nuevos sistemas de bombeo implementados bajo normativa vigente



3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL.

Contribuir con la misión de la Universidad Industrial de Santander, de atender las necesidades del sector productivo del país, desarrollando y aportando al Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. una propuesta de diseño que garantice un proceso eficiente y renovado en la operación de los sistemas de bombeo de la planta de tratamiento 'La Flora'.

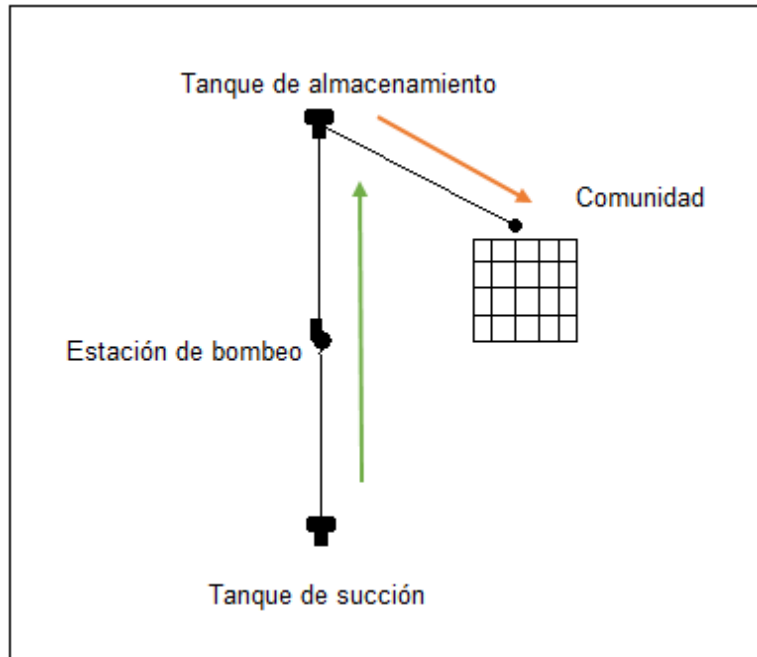
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar el sistema de bombeo de lavado de filtros de la planta de tratamiento 'La Flora', de acuerdo a condiciones de presión y caudal establecidas siguiendo los estándares de calidad de la empresa y la normatividad de la RAS.
- Realizar el modelo hidráulico de las tres redes de la planta a optimizar, implementado el software EPANET teniendo en cuenta las condiciones actuales y la alternativa seleccionada.
- Realizar la selección de la mejor alternativa de diseño mediante la aplicación de un análisis técnico económico y de costo de ciclo de vida.
- Elaborar un protocolo de construcción de los sistemas de bombeo bajo los estándares de calidad del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. y los lineamientos del reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS.

- Elaborar un manual de funcionamiento e instructivo de operación y control de cada uno de los sistemas diseñados, a fin de garantizar un correcto manejo de acuerdo a las especificaciones dadas por el fabricante.

Los sistemas de bombeo de las comunidades de Miraflores y San Luis comparten el tanque de succión y poseen una configuración diferente, ya que desde la succión el agua es bombeada hacia otros tanques ubicados en una zona de mayor altura para posteriormente permitir por gravedad la llegada del fluido a las comunidades.

Figura 6. Sistema de tuberías comunidades Miraflores y San Luis



4.1 ESTACIÓN DE BOMBEO

La estación de bombeo actual está ubicada en un sótano de aproximadamente 120 m^2 localizado en la parte baja de la planta, donde además, se encuentran ubicados otros elementos utilizados en la planta como secadores y compresores. El recinto cuenta también con la red de tuberías del sistema de lavado.

Los sistemas de bombeo que se encuentran ubicados en esta estación serán caracterizados a continuación:

4.1.1 Sistema de bombeo “San Luis”. El sistema de bombeo ‘San Luis’ está destinado para alimentar el tanque de almacenamiento que lleva el mismo nombre y que provee el servicio a una comunidad aledaña. Consta de dos bombas de 20 HP que son accionadas por un arrancador que está sujeto a la señal enviada por el flotador ubicado en el interior del tanque, además, cuenta con un alternador que tiene como finalidad lograr un desgaste uniforme de los equipos. La información de placa de los motores y las bombas se encuentra en la tabla 1 y 2.

Figura 7. Sistema de bombeo San Luis



Figura 8. Placa de motor San Luis

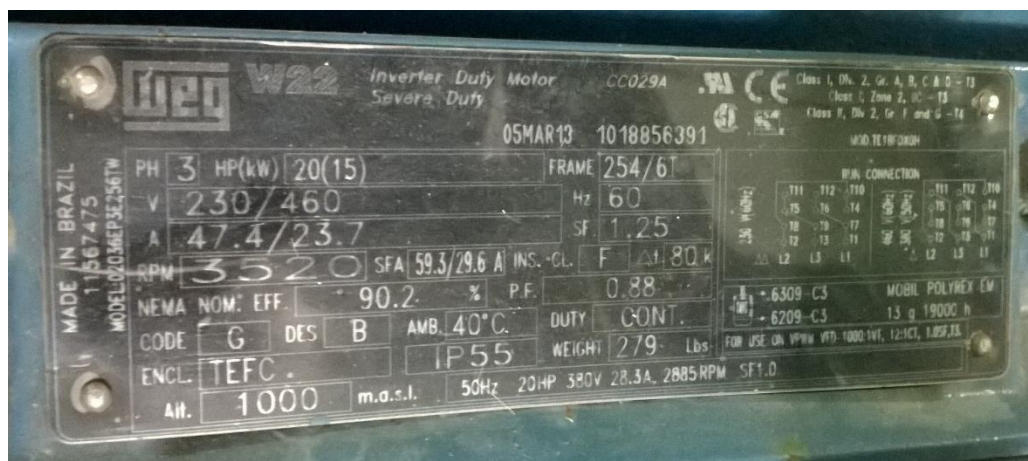


Figura 9. Placa San Luis



Tabla 1. Información de bombeo San Luis

Información de bombas

Fabricante	Worthington
Serial	249800181
Tipo	Mod. 3x2x8
Imp. Dia.	7150

Tabla 2. Información motores San Luis

Información de motores (Inducción trifásico)

Fabricante	WEG
Serial	1018856392
Tipo	W22
Velocidad	3520 RPM
Potencia	20 HP
Voltaje	230 / 460 V
Corriente	47.4 / 23.7 A

La línea de succión de este sistema de bombeo consta de una tubería de 4" desde la entrada de la bomba hacia el tanque de succión. Posee un codo a 90° y una reducción excéntrica. La información de la línea de succión se encuentra consignada en la tabla 3.

Tabla 3. Información línea de succión San Luis

Información de tubería												
Línea	Válvulas		Tes		Codos			Cambio de sección		Tubería		
	No	Tipo	No	Ø	No	Angulo	Ø	No	Ø	Longitud	Ø	Material
Succión	~	~	~	~	1	90	4"	1	3/4"	4,5	4"	Acero

4.1.2 Sistema de bombeo “Miraflores”. El sistema de bombeo ‘Miraflores’ está destinado para alimentar el tanque de almacenamiento que lleva el mismo nombre y que provee el servicio una parte del barrio ‘Miraflores’ y comunidades aledañas a este. Consta de dos bombas que son accionadas por un arrancador que está sujeto a la señal enviada por el flotador ubicado al interior del tanque, además, cuenta con un alternador que tiene como finalidad lograr un desgaste uniforme de los equipos. La información de placa de los motores y las bombas se encuentra en la tabla 4 y 5. (Ver Figura 10)

Figura 10. Sistema de bombeo Miraflores



Figura 11. Placa de motor Miraflores

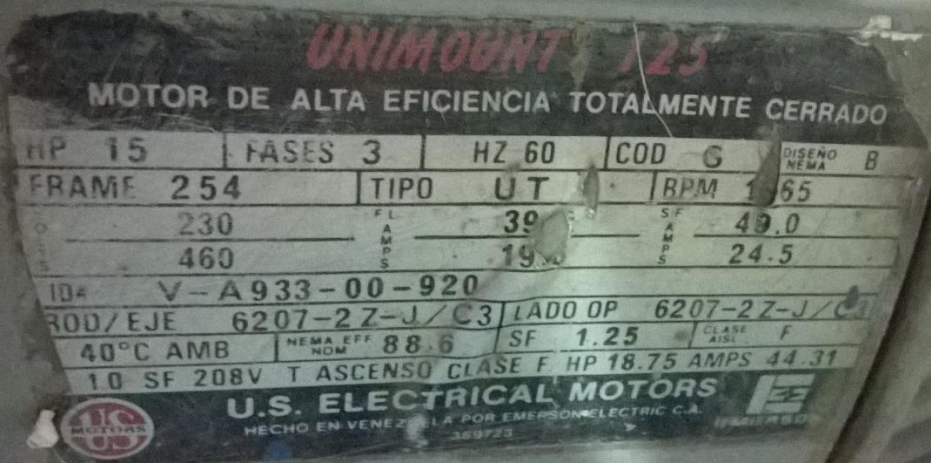


Tabla 4. Información de bombas Miraflores

Información de bombas

Fabricante	SIHI – HALBERG S.A.
Serial	BN 135002
Tipo	6526
Velocidad	1750 RPM
Potencia	15 HP
Ø	252 mm

Tabla 5. Información de motores Miraflores

Información de motores (Inducción trifásico)

Fabricante	US Motors
Serial	V-A933-00-920
Tipo	UT
Velocidad	1765 RPM
Potencia	15 HP
Voltaje	230 / 460 V
Corriente	39.0 / 19.5 A

La línea de succión de este sistema de bombeo consta de una tubería de 8" desde la brida de succión de la bomba hacia el tanque de succión. Posee un codo a 90° y una reducción excéntrica. La información de la línea de succión se encuentra consignada en la tabla 6.

Tabla 6. Información línea de succión Miraflores

Información de tubería												
Línea	Válvulas		Tes		Codos			Cambio de sección		Tubería		
	No	Tipo	No	Ø	No	Angulo	Ø	No	Ø	Longitud	Ø	Material
Succión	~	~	~	~	1	90	8"	1	3/4"	4.5	8"	Acero

4.1.3 Sistema de bombeo de lavado. El sistema de bombeo de lavado está destinado para alimentar el tanque de almacenamiento que abastece la red de distribución para el lavado de los filtros y sedimentadores. Consta de dos bombas de que son accionadas por un arrancador que está sujeto a la señal enviada por un flotador o por el operario a cargo luego de realizar las labores al cual está destinado, además, cuenta con un alternador que tiene como finalidad lograr un desgaste uniforme de los equipos. La información de placa de los motores y las bombas se encuentra en la tabla 5 y 6.

Figura 12. Sistema de bombeo de Lavado



Figura 13. Placa de bomba Lavado 2



Figura 14. Placa de motor lavado

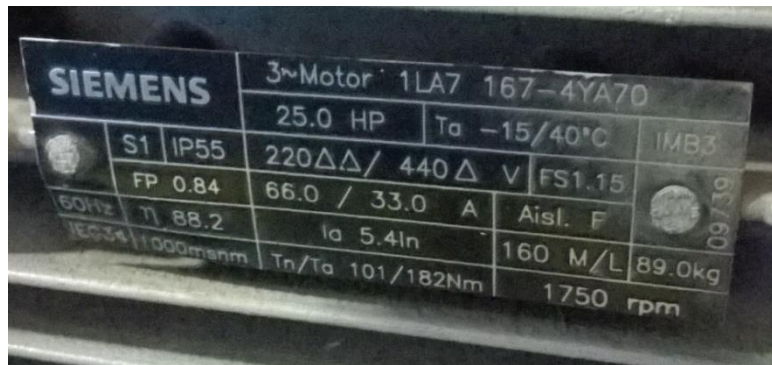


Figura 15. Placa de bomba de lavado



Tabla 7. Información de bombas Lavado**Información de bombas**

Fabricante	Hidromac
Serial	111374
Tipo	ETN 80-40/2 SM
Velocidad	1750 RPM
Diámetro	270/260

Tabla 8. Información de motores de Lavado**Información de motores (Inducción trifásico)**

Fabricante	SIEMENS
Serial	167-4YA70
Tipo	IP55
Velocidad	1750 RPM
Potencia	25 HP
Voltaje	220 / 440 V
Corriente	66.0 / 33.0 A

Este sistema de bombeo cuenta con dos bombas y dos motores diferentes que no presentan inconveniente con su uso ya que funcionan alternadas y poseen una capacidad aproximadamente igual que permite lograr resultados similares en lo que respecta al tiempo de llenado del tanque. La información de los motores se presenta a continuación:

Tabla 9. Información de bombas de Lavado 2

Información de bombas

Fabricante	KSB
Serial	6-101-163 099/6
Tipo	BETA 80-40K
Caudal	40 m^3/h
Alt. Man.	300 ft.
Año	1961

Tabla 10. Información de motores de lavado 2

Información de motores (Inducción trifásico)

Fabricante	US MOTORS
Serial	B530005V67
Tipo	UT
Velocidad	1765 RPM
Potencia	30 HP
Voltaje	230 / 460 V
Corriente	73.0 / 36.5 A

La línea de succión de este sistema de bombeo consta de una tubería de 6" desde la brida de succión de la bomba hacia el tanque de succión. Posee un codo a 90° y una reducción excéntrica. La información de la línea de succión se encuentra consignada en la tabla 11.

Tabla 11. Información tubería de succión Lavado

Información de tubería												
Línea	Válvulas		Tes		Cododos			Cambio de sección		Tubería		
	No	Tipo	No	Ø	No	Angulo	Ø	No	Ø	Longitud	Ø	Material
Succión	~	~	~	~	1	90	6"	1	3/4"	4.5	6"	Acero

4.2 FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO

4.2.1 Funcionamiento sistema de bombeo de lavado. El sistema de bombeo de lavado presenta una frecuencia de encendido que depende de los resultados que arroje el laboratorio acerca de la calidad del agua y en factores determinantes como la turbiedad; en dado caso que estos factores no se encuentren entre los rangos recomendados se procede a realizar el lavado de los filtros. Adicional a esto, la planta cuenta con un protocolo preventivo que define como límite máximo un lapso de cinco días para lavar cada filtro.

Para caracterizar el sistema actual se realizaron pruebas de campo que consistieron en tomas de tiempo, cálculos de volúmenes de tanques y de volúmenes utilizados en procesos. Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 12. Pruebas de campo

Geometría del tanque	Cilíndrico
Altura	3,20 [m]
Volumen efectivo	394,9 [m^3]
Tubo de rebose	0,20 [m]

Se realizaron tomas de tiempo para el proceso de lavado y para el proceso de llenado:

Tabla 13. Tomas de tiempo

Tiempo de retrolavado	697 [s]
Volumen utilizado	376,5 [m ³]
Caudal de retrolavado	540,2 [LPS]
Tiempo de llenado	11325 [s]
Caudal de llenado	33,25 [LPS]

Con esta información y adicionalmente con información de propiedades, buscamos encontrar la curva característica del sistema. Se procede a utilizar el software EES (Engineering Equation Solver) para realizar los cálculos necesarios.

El cálculo del valor de la rugosidad de la tubería se realizó basado en la ecuación de Genijew:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_o + at$$

Donde:

ε_o = Rugosidad del tubo nuevo en mm=0.5

a = Coeficiente de Genijew, se selecciona el valor para una calidad de agua con bajo contenido de cloruros y sulfatos.

t = Número de años de servicio=53

Tabla 14. Información de propiedades y alturas:

Rugosidad tubería de acero	0,01065 [m]
Gravedad	9,81 [m/s^2]
Densidad del agua a 20°C	1000 [kg/m^3]
Viscosidad cinemática	0,000001005 [m^2/s]
Altura de tanque de succión	1173.548 [m]
Altura de tanque de almacenamiento	1195.729 [m]

El cálculo de la carga estática del sistema se realizó basado en la ecuación:

$$H_{estática} = Z_{tanque} - Z_{succión} + \frac{P_{tanque} - P_{succión}}{\rho * g}$$

Donde:

Z_{tanque} = Cota de tubería de entrada al tanque de almacenamiento.

$Z_{succión}$ = Cota de nivel máximo del agua almacenada en el tanque de succión.

P_{tanque} = Presión manométrica a la salida de la tubería de la entrada de caudal.

$P_{succión}$ = Presión manométrica del nivel máximo de agua almacenada.

ρ_{agua} = Densidad del agua.

g = Gravedad.

Obtenemos como resultado que:

$$H_{Estática actual} = 22,18 [m]$$

El cálculo de la carga dinámica del sistema se realizó basado en la ecuación:

$$H_{dinámica} = \frac{V_{tanque}^2 - V_{succión}^2}{2 * g} + H_{pérdidas}$$

Donde:

V_{tanque} = Velocidad en la tubería de entrada de caudal al tanque.

$V_{succión}$ = Velocidad de la superficie del agua almacenada.

$H_{pérdidas}$ = Pérdidas generadas por accesorios y tubería.

g = Gravedad.

La RAS recomienda para realizar los cálculos de pérdidas de cabeza de presión del sistema utilizar la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$H_{pérdidas} = h_{fricción} + h_{accesorios}$$

$$h_{fricción} = \frac{f * L * vel^2}{d * 2 * g}$$

$$h_{accesorios} = m * Q^2$$

$$f = \frac{1.325}{ln^2 \left[\frac{\epsilon}{3.7 * d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right]}$$

$$m = \frac{8 * K}{\pi^2 * g * d^4}$$

$$Re = \frac{vel * d}{\vartheta}$$

$$F_t = \frac{1}{0.86 * ln^2 \left[\frac{\epsilon}{3.7 * d} \right]}$$

$$vel = \frac{Q}{\text{área}}$$

$$K = \sum (k * F_t)$$

Donde:

$h_{fricción}$ = Pérdidas por fricción en la tubería.

$h_{accesorios}$ = Pérdidas ocasionadas por los accesorios de tubería.

f = Factor de fricción de Darcy-Weisbach.

L = Longitud de la tubería.

vel = Velocidad del fluido dentro de la tubería.

d = Diámetro de la tubería.

ε = Rugosidad del material.

Re = Número de Reynolds.

ν = Viscosidad cinemática.

$\acute{a}rea$ = Área interna de la tubería.

K = Constante de pérdidas por accesorios.

F_t = Factor de fricción a total turbulencia.

k = Coeficiente de resistencia del accesorio.

Tabla 15. Valor de pérdidas por accesorios

Accesorio	k
Válvula	8
Codo 90 °	30
Codo 45 °	16
Te (flujo desviado 90 °)	60

Obtenemos como resultado que:

$$H_{Dinámica actual} = 3,803 [m]$$

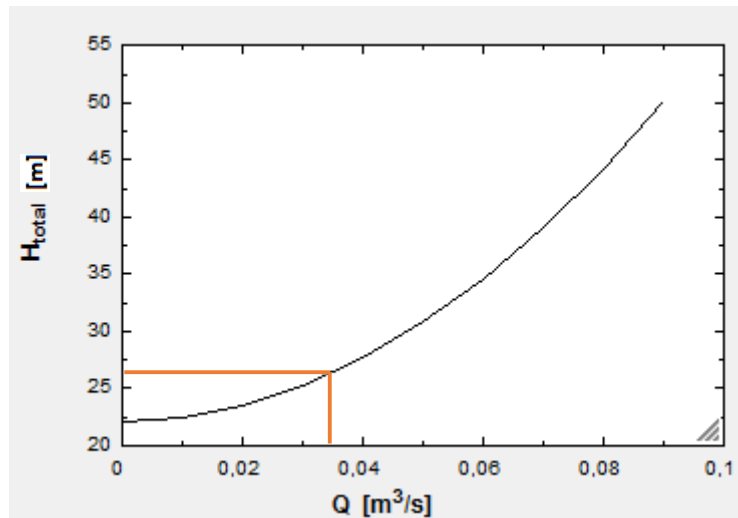
Donde, encontramos que la altura total del sistema es:

$$H_{total} = H_{estática} + H_{dinámica}$$

$$H_{total} = 25,98 [m]$$

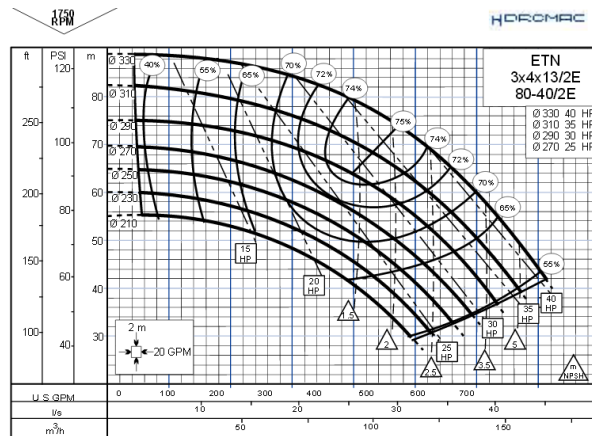
Finalmente, se genera una gráfica en el software EES que asemeja la curva característica del sistema (H vs Q), realizando la variación de caudal para cada caso.

Figura 16. Curva característica actual.



Comparando la curva característica del sistema con la curva de operación de la bomba (Figura 16) proporcionada por el fabricante se identifica el punto de intersección en el que la bomba ha de operar con características de fábrica, (Figura 17), el cual no coincide con el punto de operación actual.

Figura 17. Curva del fabricante



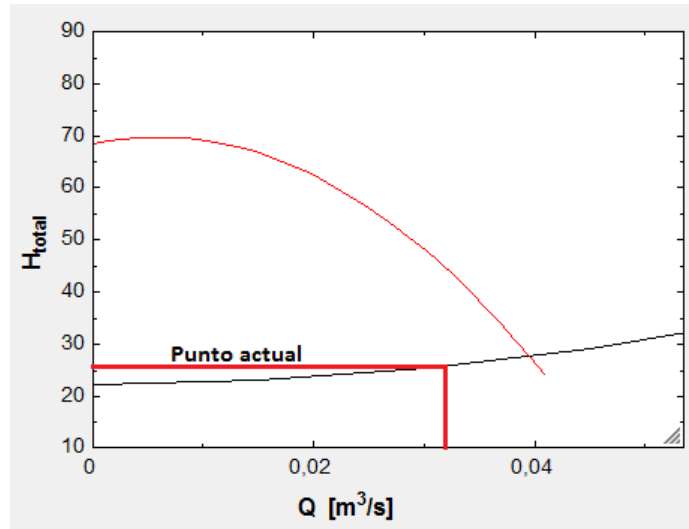
Fuente: Catálogo Hidromac

Tabla 16. Curva del fabricante

Tipo	Caudal	Altura
Cabeza máxima	0	70
BEP	24	59
Salida de servicio	37	34

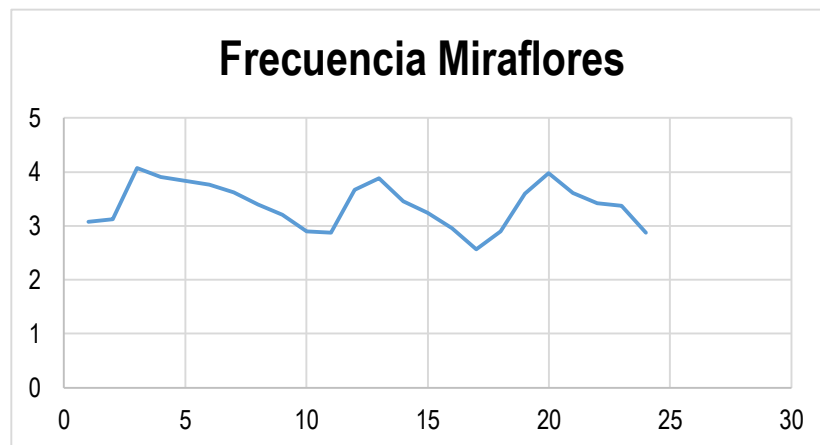
De esta manera podemos determinar el cruce de las gráficas para determinar el punto de operación del sistema:

Figura 18. Punto de operación del sistema



4.2.2 Funcionamiento sistema de bombeo Miraflores. El sistema de bombeo Miraflores presenta frecuencias variables dependiendo del consumo de la comunidad que hace uso de este tanque. Estas frecuencias variables se presentan en diferentes horarios que se representan en la siguiente gráfica:

Figura 19. Frecuencia Miraflores



Según los datos recopilados se puede observar que durante un día de servicio el sistema de bombeo realizó 3 encendidas en intervalos de funcionamiento que van desde 120 a 180 minutos, permitiendo concluir que durante un transcurso de 24 horas el sistema de bombeo se encuentra en funcionamiento durante aproximadamente 7 horas y en reposo 17 horas, donde el caudal promedio bombeado se encuentra en aproximadamente 28,19 [LPS].

Tabla 17. Información del tanque Miraflores

Geometría del tanque	Cúbico
Altura	4,52 [m]
Volumen efectivo	236,8 [m ³]
Tubo de rebose	0,50 [m]

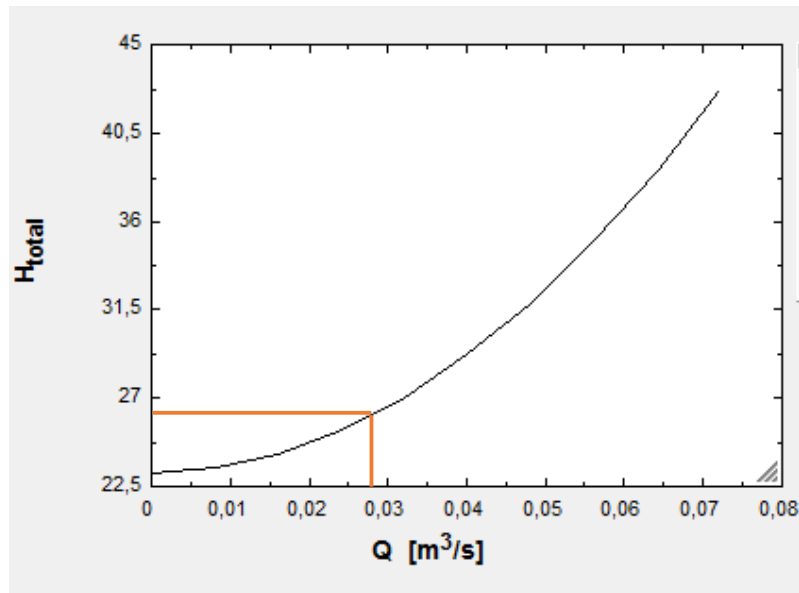
Ahora, se realizan los cálculos anteriormente registrados para el sistema de bombeo de lavado y de esa forma, encontrar la curva característica del sistema.

Tabla 18. Valores de carga Miraflores

$H_{estática}$	23,18 [m]
$H_{dinámica}$	2,983 [m]
H_{total}	26,16 [m]

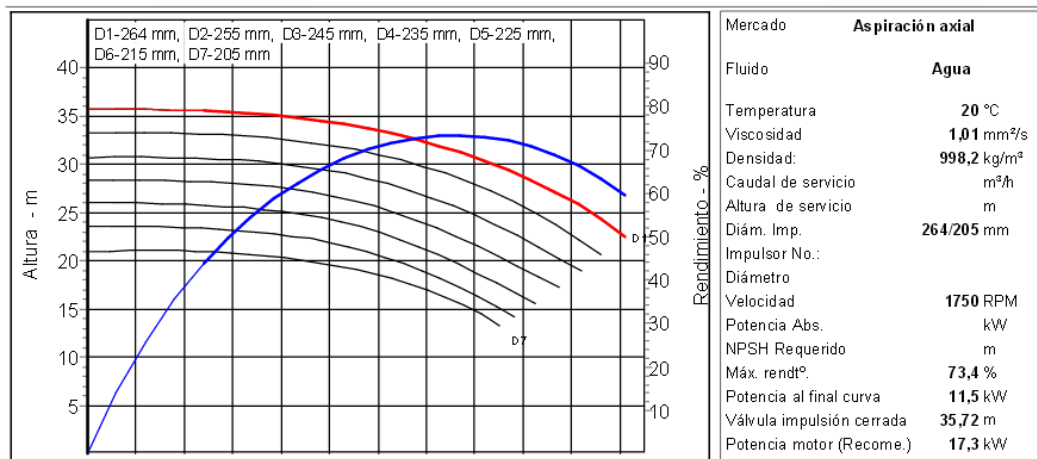
La curva característica actual calculada es:

Figura 20. Curva característica Miraflores



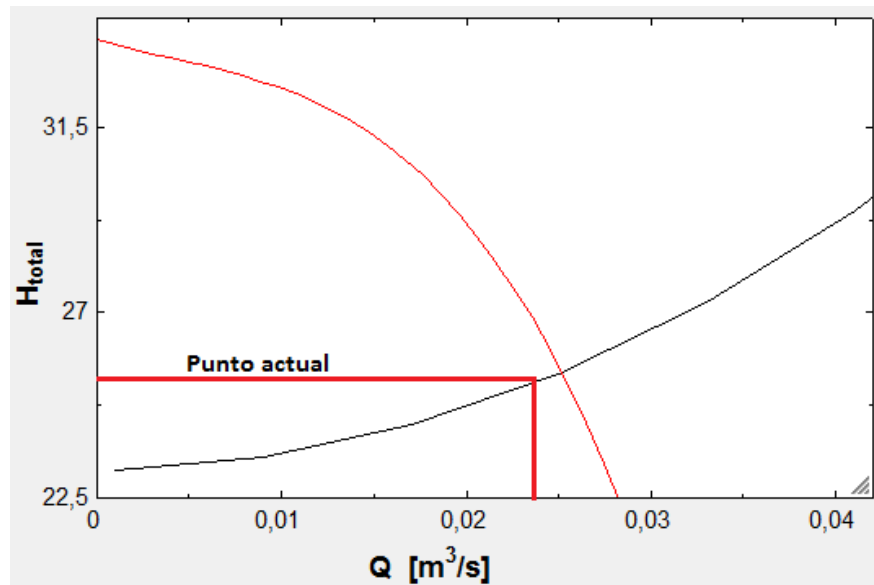
Ahora, comparando la curva característica del sistema con la curva de operación de la bomba (Figura 21) se identifica el punto de intersección en el que la bomba se encuentra operando actualmente:

Figura 21. Curva del fabricante



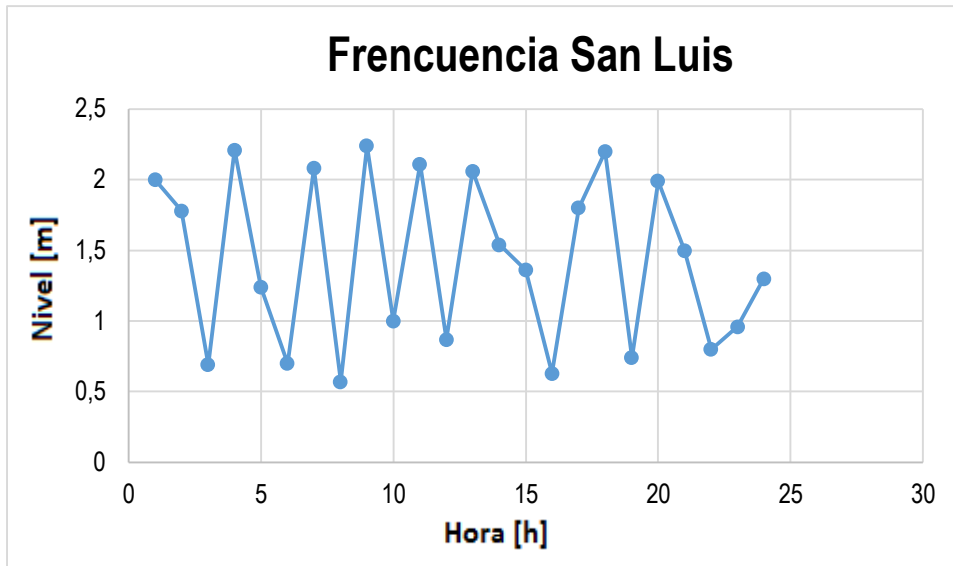
De esta manera podemos determinar el cruce de las gráficas para determinar el punto de operación del sistema:

Figura 22. Punto de operación del sistema



4.2.3 Funcionamiento sistema de bombeo San Luis. El sistema de bombeo San Luis presenta frecuencias altamente variables en su funcionamiento debido a la baja capacidad del tanque de almacenamiento actual, lo que representa que este se desocupe más rápido en horarios de alto consumo y exija a la bomba un mayor trabajo. La frecuencia de encendido se muestra en la siguiente gráfica:

Figura 23. Frecuencia San Luis



Según los datos recopilados, se observa que el sistema de bombeo durante un día de servicio realizó 8 encendidas en intervalos de funcionamiento que van desde los 40 minutos a los 50 minutos permitiendo concluir que durante un día de funcionamiento el sistema de bombeo se encuentra encendido aproximadamente 8,5 horas y en reposo 15,5 horas, donde el caudal bombeado se encuentra en aproximadamente 6,1 [LPS].

Tabla 19. Información tanque San Luis

Geometría del tanque	Cúbico
Altura	2,5 [m]
Volumen efectivo	23,5 [m ³]
Tubo de rebose	0,15 [m]

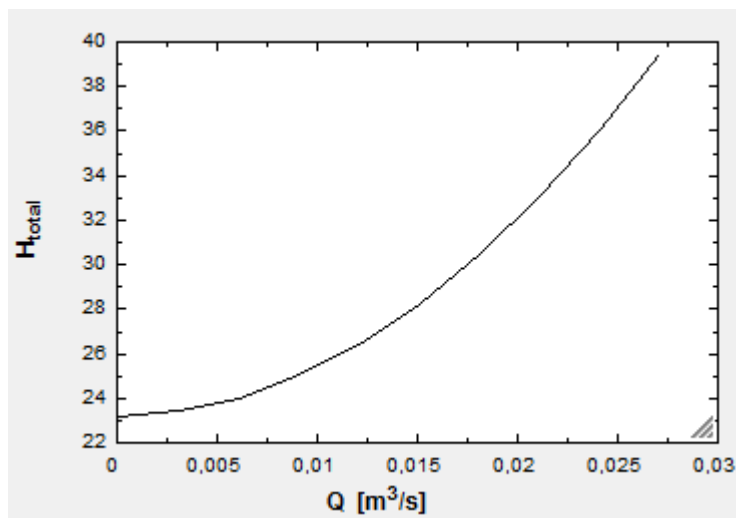
Se realizan los cálculos registrados anteriormente para el sistema de bombeo de lavado para de esa forma, encontrar la curva característica del sistema.

Tabla 20. Valores de carga San Luis

$H_{estática}$	23,18 [m]
$H_{dinámica}$	0.8398 [m]
H_{total}	24,02 [m]

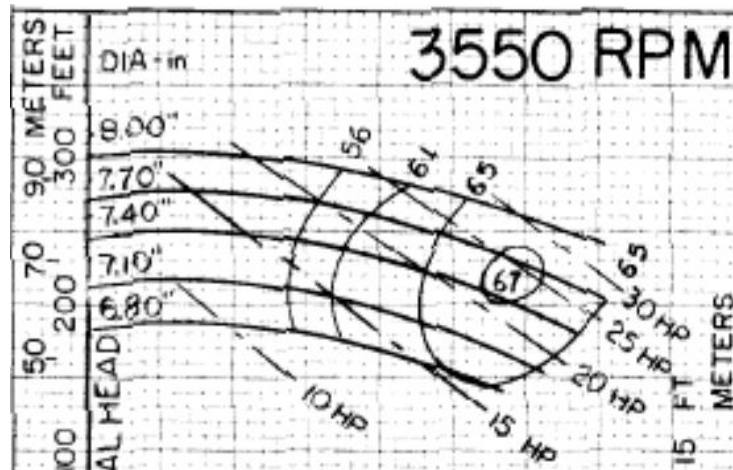
La curva característica actual calculada es:

Figura 24. Curva característica San Luis



Realizando la comparación de la curva característica encontrada con la curva de operación dada por el fabricante, es posible encontrar el punto de operación actual del sistema.

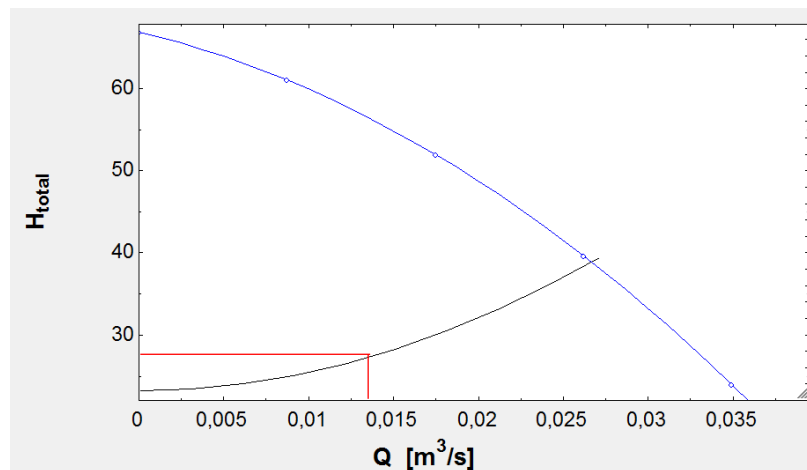
Figura 25. Curva característica proporcionada por el fabricante



Fuente: Catálogo Worthington Flowserve.

De esta manera podemos determinar el cruce de las gráficas para determinar el punto de operación del sistema:

Figura 26. Punto de operación del sistema



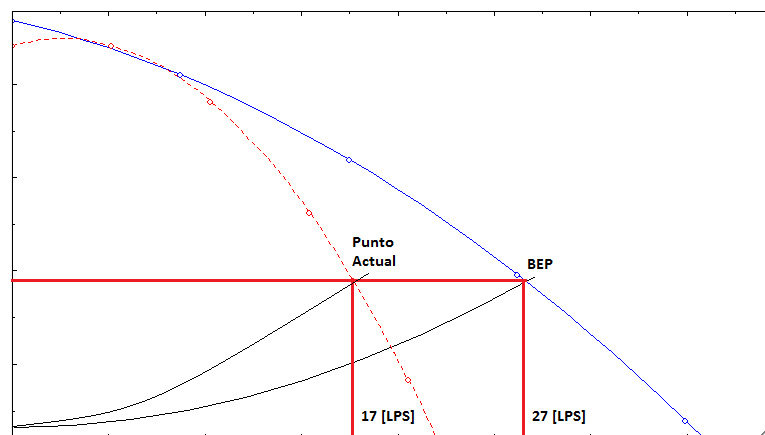
4.3 ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL

Realizados los cálculos a cada uno de los sistemas de bombeo de acuerdo a los parámetros establecidos se procede a determinar la causa de la reducción en las capacidades operacionales de cada sistema, evidenciadas en las gráficas anteriores, ya que, según la información de los fabricantes los sistemas de bombeo deberían suministrar caudales mucho mayores que los determinados experimentalmente.

Para explicar este comportamiento, se ha manejado la hipótesis que, se tratan de sistemas de bombeo que se encuentran en operación constante desde hace aproximadamente 53 años y además, se encuentran ubicadas en un recinto que no ofrece las mejores condiciones de operación y mantenimiento, lo cual, afecta de manera directa la capacidad y la eficiencia del bombeo.

El comportamiento actual de los sistemas de bombeo se puede ejemplificar de mejor manera con la siguiente gráfica (Ver Figura 27) donde observamos que el punto de operación actual difiere del comportamiento ideal sugerido por el fabricante.

Figura 27. Ejemplo del comportamiento de los sistemas de bombeo



Determinando la necesidad de dar solución al problema se definen dos soluciones que mejorarían definitivamente la reducción del caudal, las cuales, pueden dar solución en un 100% o en un 80% según elección de la empresa. Las alternativas se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 21. Alternativas

Alternativa	% de mejora
Cambio de bomba	100
Cambio de rodete (igual diámetro)	80
Cambio de rodete (mayor diámetro)	100

De acuerdo a la normativa RAS, se descartan las dos últimas opciones debido a la antigüedad de los equipos, que no garantiza la continuidad de la operación por el tiempo especificado para la vida útil de los sistemas en el presente proyecto.

5. ANÁLISIS TOPOGRÁFICO

Como parte del análisis de los componentes del proyecto, fue necesario realizar un análisis topográfico de la zona de interés que incluyera la información de alturas y abscisas para permitir que los cálculos se realicen correctamente. Para ello se hizo uso de las herramientas del amb, acudiendo a la división de planeación y contando con la ayuda y acompañamiento del topógrafo encargado.

El análisis comienza desde el nuevo cuarto de máquinas que fue dispuesto por la Gerencia de operaciones, hasta el tanque de almacenamiento de lavado, llevando un trazado que tenga en cuenta el inventario de redes existentes en la planta.

Se realizó la marcación de las cotas tenidas en cuenta en el análisis y los planos se detallan a continuación (Ver planos reales en los anexos.)

Figura 28. Plano de nueva caseta de bombeo

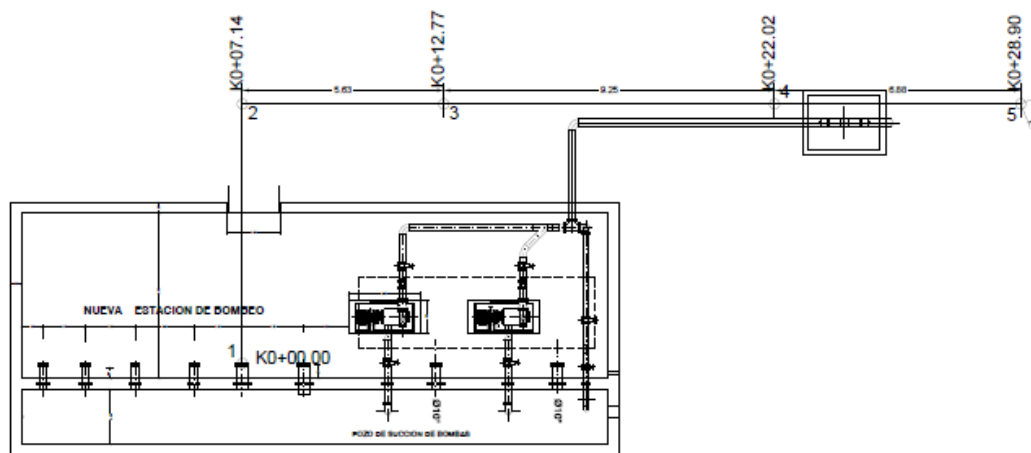


Figura 29. Plano topográfico de zona de interés

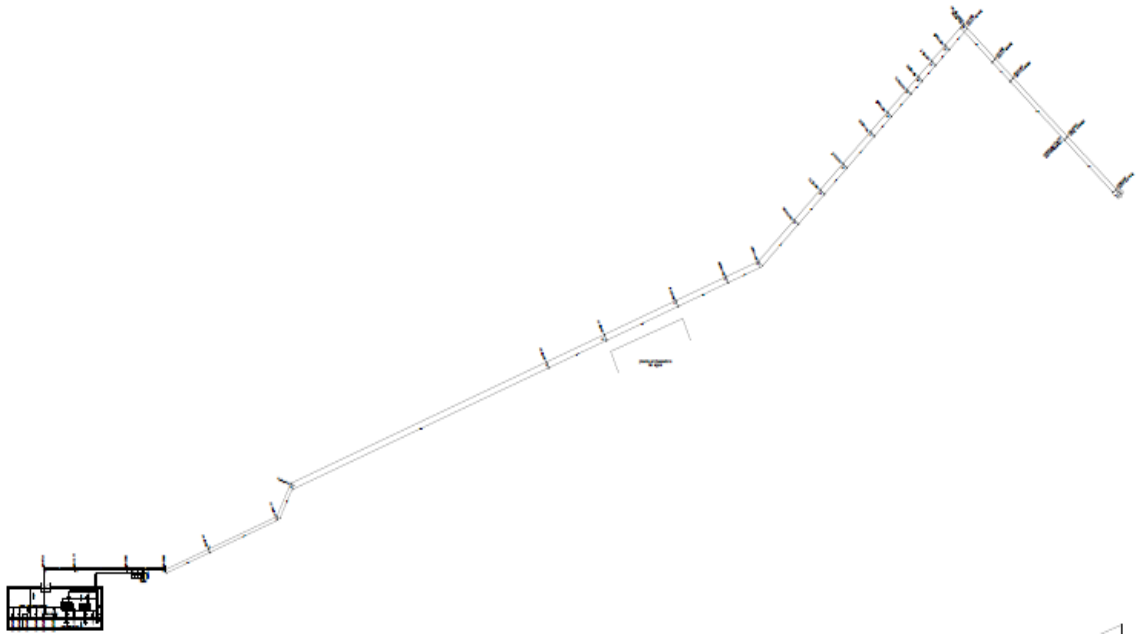


Figura 30. Perfil de alturas del terreno de interés

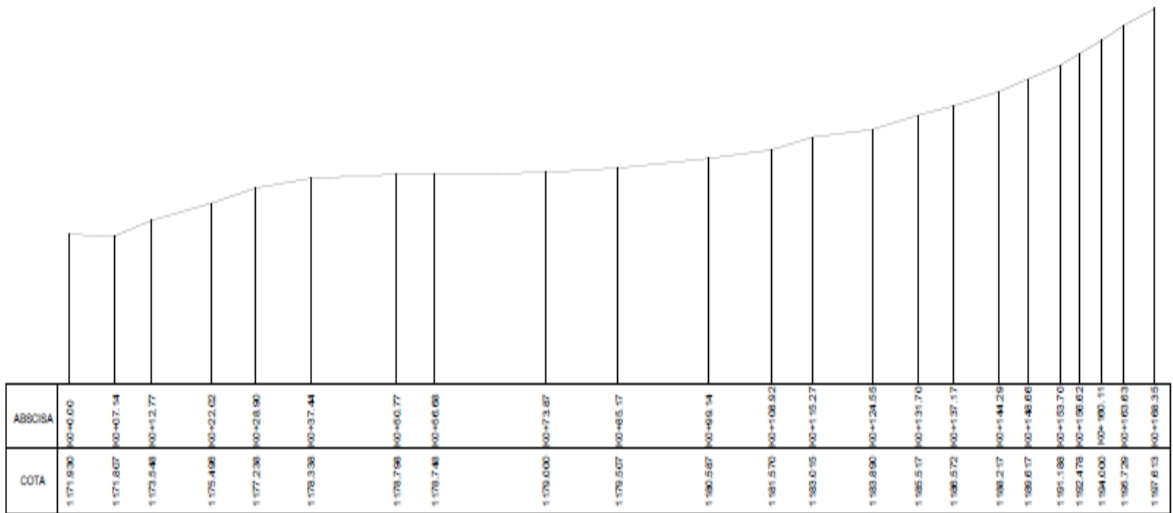


Figura 31. Marcación de cotas.



Figura 32. Señalización de cotas.

6. DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO DE LAVADO DE FILTROS, MIRAFLORES Y SAN LUIS

El diseño de los sistemas de bombeo ha de considerar la nueva ubicación en el edificio denominado “Casa de máquinas” que se encuentra en un punto más bajo de la planta en comparación de su ubicación actual, pero que cuenta con un mayor espacio que facilita su instalación y mantenimiento, además de ser un recinto con menor humedad.

Figura 33. Casa de máquinas



La estructura cuenta con las bridas destinadas a las seis bombas de los tres sistemas de bombeo de nuestro interés.

Para el proceso de diseño fue necesario definir las consideraciones a tener en cuenta para el correcto desarrollo de sus funciones, las cuales se presentan a continuación:

6.1 CONSIDERACIONES PARA EL SISTEMA DE BOMBEO DE LAVADO DE FILTROS

- Se define con la jefatura de la planta que el tiempo óptimo para la disponibilidad del tanque de lavado es de 1,5 [h], de esta forma, garantizar que se pueden lavar los 9 filtros en un turno de 24 [h] para las peores condiciones de calidad de agua que pueda afrontar la planta.
- Los límites de velocidad para la succión y la descarga fueron estipulados según las recomendaciones de la normativa RAS.

6.2 ALTERNATIVAS DADAS PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

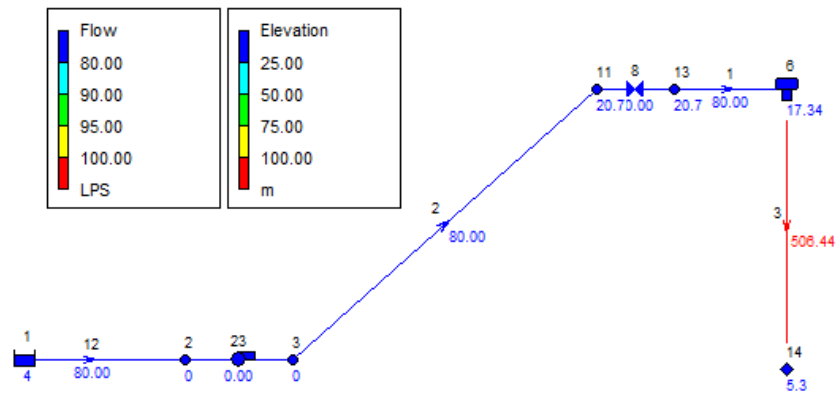
Para dar solución al problema que afronta la planta, el diseño permite dar dos alternativas óptimas que cumplen con los requerimientos y condiciones definidas y permiten seleccionar aquella que se ajuste a parámetros económicos.

La primera de estas alternativas consiste en tender un nuevo trazado de tubería. Para el sistema del bombeo de lavado, desde la casa de máquinas hasta el tanque de almacenamiento. Los otros dos sistemas de interés, Miraflores y San Luis, dispondrían de la tubería actual.

Cada uno de los sistemas de bombeo contaría con dos bombas, similar a las condiciones de operación actuales. Esta alternativa, tiene la ventaja de poder contar para el sistema de lavado, con tuberías nuevas que disminuyen de cierta manera el efecto de los años en las tuberías existentes, que repercuten en la rugosidad y con ello, en el funcionamiento de este.

Para analizar de mejor forma esta alternativa, se realizó el modelamiento en el software EPANET, el cual arrojó resultados que permiten una mejor apreciación:

Figura 34. Simulación sistema de lavado individual



Para simular el suministro en la red, fue necesario definir los elementos presentes en el modelo, como el reservorio de agua para la succión, válvulas de control, tuberías de acero, bomba, tanque de almacenamiento, nodo emisor y controles.

Figura 35. Tanque de succión

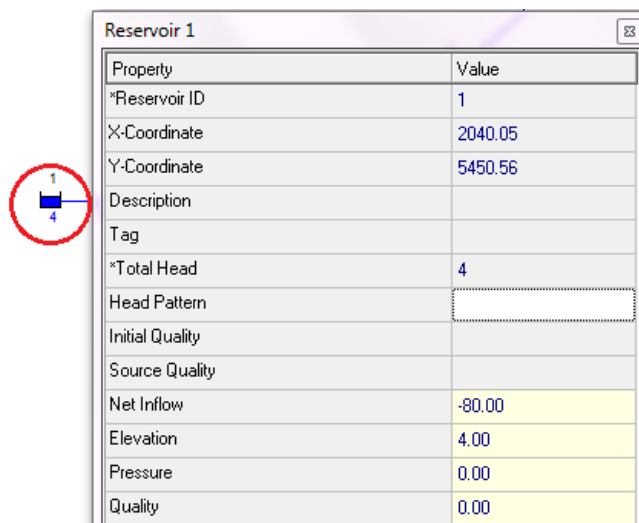
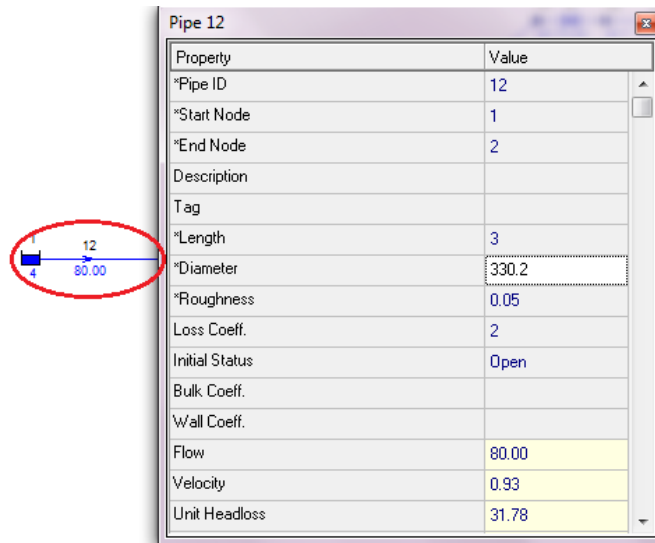
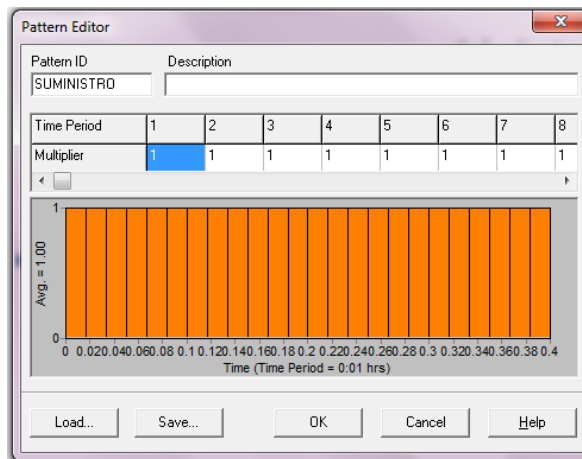


Figura 36. Tubería de succión



En esta imagen se observa que se respetan los límites de velocidad para las tuberías de succión según la norma RAS, que para este valor de diámetro, no podría ser mayor de 1,7 m/s.

Figura 37. Patrón de suministro.



Se define un patrón de suministro constante, de tal manera, se garantiza fluido durante el tiempo de compilación de la simulación.

Figura 38. Tanque de almacenamiento

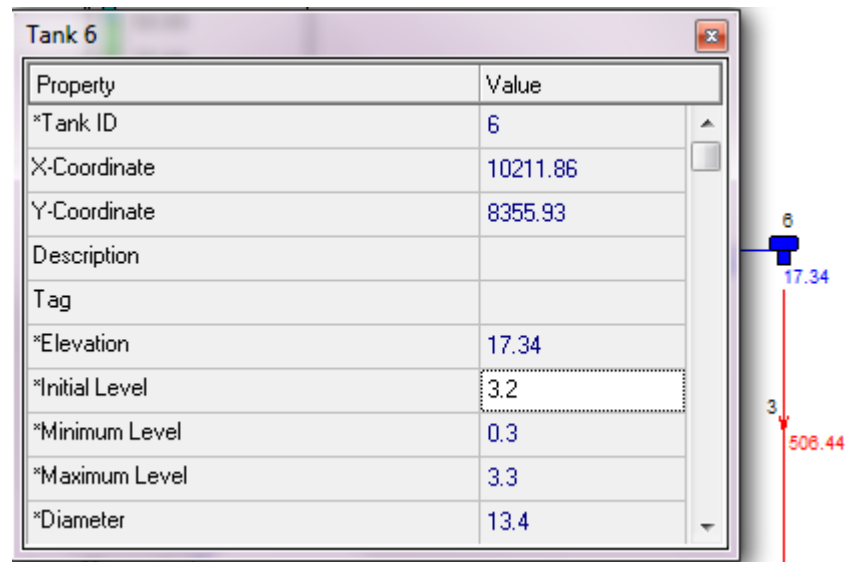
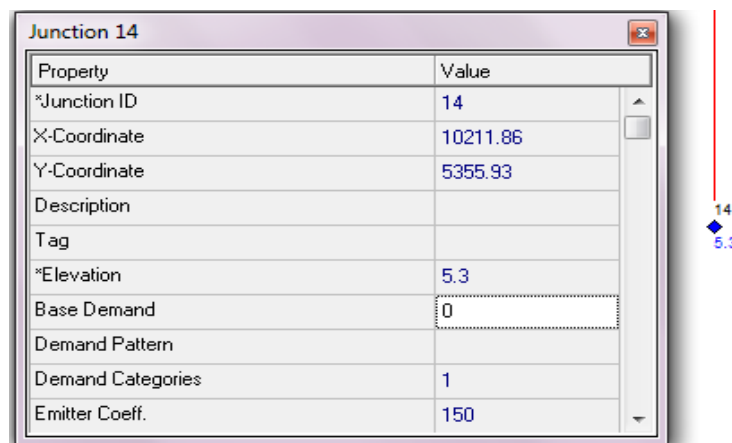
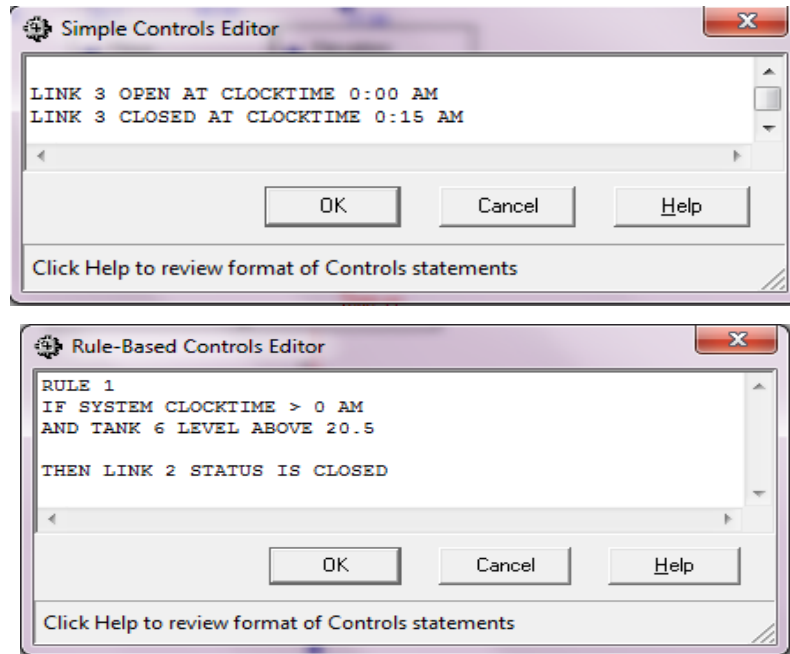


Figura 39. Nodo emisor



El nodo emisor se plantea para simular la acción que realiza el lavado de los filtros. Se define un coeficiente de emisión que permita garantizar el flujo que se maneja durante dicha operación.

Figura 40. Control de operación

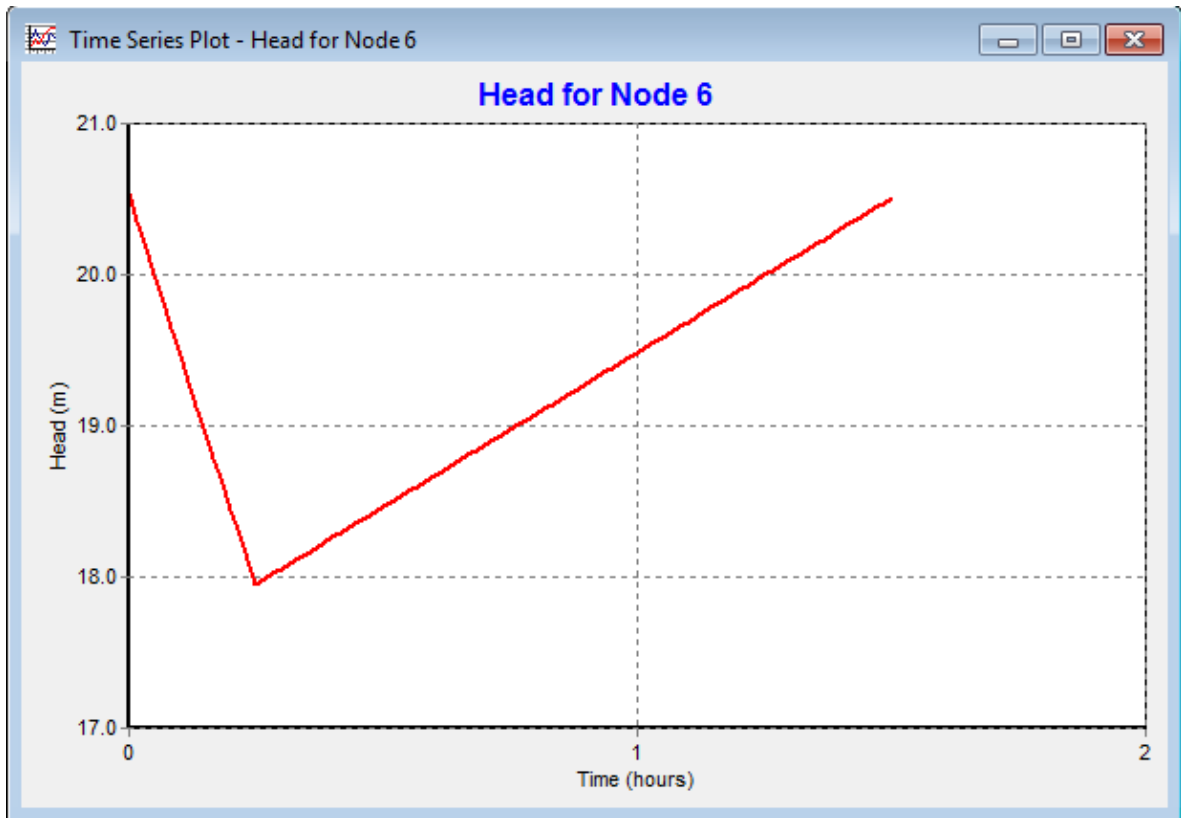


Estos controles se definen para simular la acción del flotador en el tanque y del cierre de la válvula de la salida de la tubería de lavado.

Después de realizar estas configuraciones se ejecutó la simulación con éxito, obteniendo resultados esperados en el comportamiento del tanque de almacenamiento. El cual, desocupa para realizar la acción de lavado, mientras va llenando y así, recuperar su nivel en 1,5 horas.

En la siguiente gráfica se aprecia que el proceso de vaciado se realiza en los 15 minutos que usualmente los operarios usan para realizar el proceso. (Ver Figura 41)

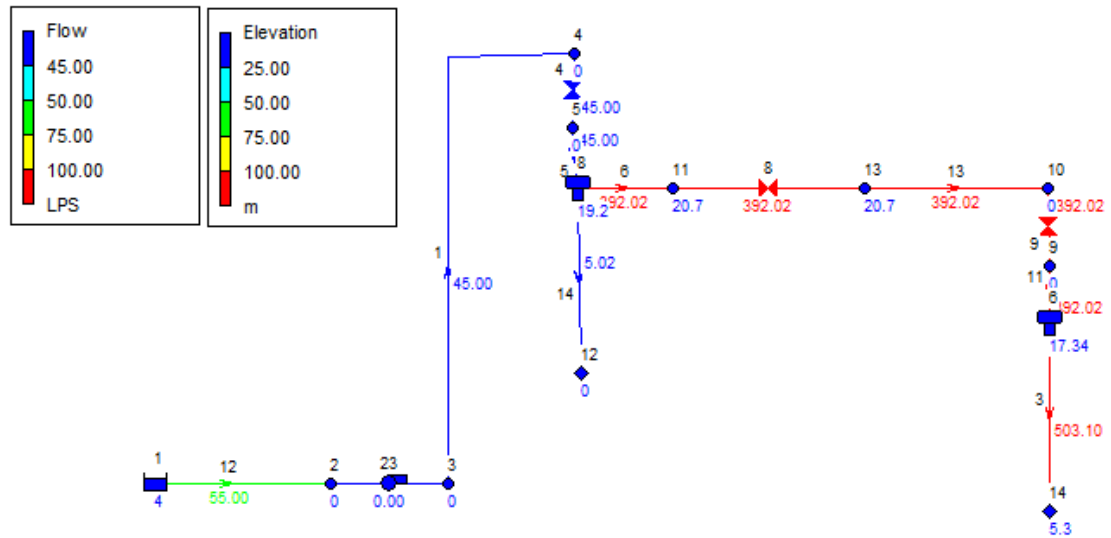
Figura 41. Comportamiento del tanque de almacenamiento de lavado



La segunda alternativa para dar solución al problema consiste en utilizar la tubería existente para el sistema de Miraflores y, conectando los tanques de almacenamiento, poder dar abastecimiento de agua al proceso de lavado y al consumo de la población. Con esta alternativa, es posible mejorar los tiempos de llenado del tanque, así como garantizar una presión mayor para el proceso de retrolavado, y de esta forma, reducir el número de bombas necesarias en la planta, obteniendo, una mejora en todos los sentidos para la empresa.

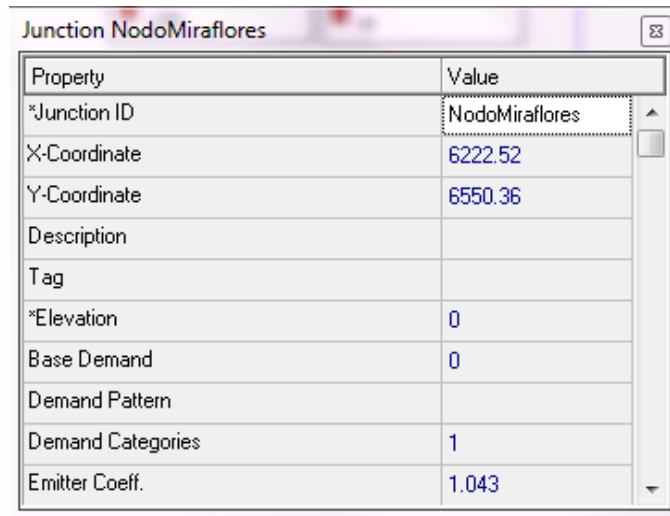
Para analizar de mejor manera la segunda alternativa, se realiza una simulación en el software EPANET que permite identificar el comportamiento de cada uno de los puntos de interés del sistema.

Figura 42. Simulación de sistema Lavado – Miraflores



Para simular este sistema, es importante resaltar que el tanque de almacenamiento de Miraflores abastece la demanda de esta comunidad. La cual está representada en el modelo como un nodo emisor configurado de tal manera que garantice el suministro con el nivel de presión recomendado en norma.

Figura 43. Nodo emisor comunidad Miraflores



Property	Value
*Junction ID	NodoMiraflores
X-Coordinate	6222.52
Y-Coordinate	6550.36
Description	
Tag	
*Elevation	0
Base Demand	0
Demand Pattern	
Demand Categories	1
Emitter Coeff.	1.043

El comportamiento de los niveles de los tanques conectados muestra como el nivel del agua del tanque Miraflores, aporta caudal para realizar la operación de retrolavado y no permite que este llegue a su nivel mínimo, mejorando con ello, la presión de descarga. El tanque de lavado recupera su nivel en un tiempo menor al estimado y gracias a la acción de un flotador se cierra y permite que el nivel del tanque Miraflores se recupere. Las gráficas que representan estos niveles se presentan a continuación:



Figura 44. Niveles de tanques Miraflores - Lavado



Con miras a elegir la mejor alternativa de solución para el problema, se genera una matriz de comparación técnico económica que permita comparar las dos alternativas propuestas.

La matriz de comparación debe tener criterios económicos y técnicos que abarquen el mantenimiento, instalación y eficiencia del sistema. La matriz de comparación se presenta a continuación:

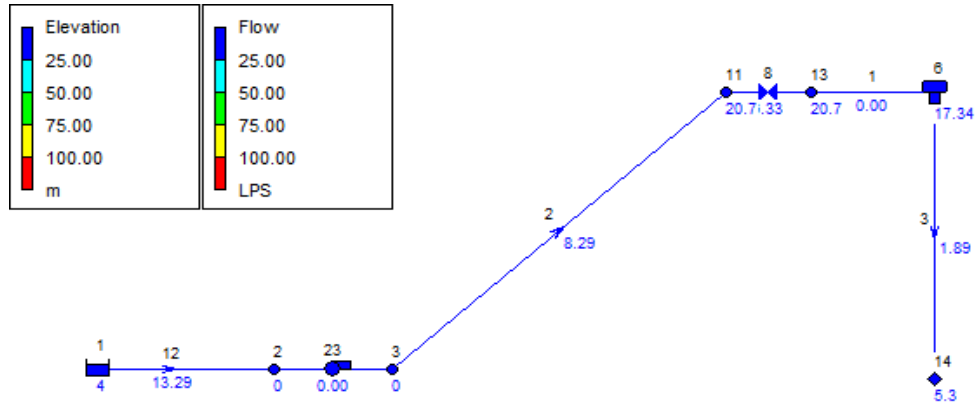
Tabla 22. Matriz de comparación

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Descripción
Genera mejoras en el proceso de retrolavado			Las dos alternativas mejoran el tiempo de llenado del tanque, con la diferencia que la alternativa 2 ofrece una mayor presión.
Genera bajos costos en obras civiles			La alternativa 1 requiere de una excavación de aproximadamente 200 metros para implementación de tubería nueva.
Optimiza el número de bombas actuales en la planta			La alternativa 2 genera una disminución en el número de bombas necesarias para operación, de 6 a 4 bombas.
Genera ahorro por eficiencia energética			El ahorro se genera debido a la selección de bombas de mayor eficiencia.

De esta manera, se concluye que la alternativa 2 genera un mayor número de beneficios operacionales en la planta, además, las grandes diferencias en inversión económica la convierte en la solución óptima.

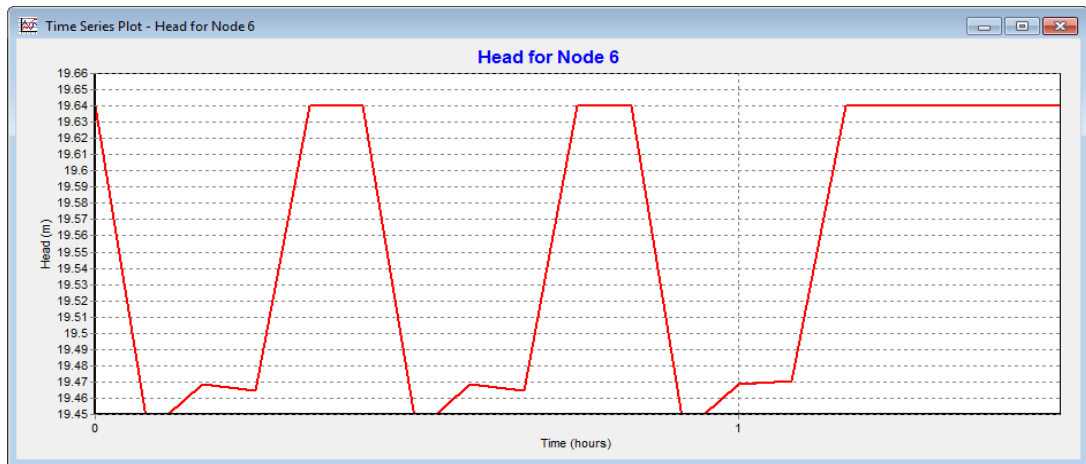
Por su parte el diseño del sistema de bombeo de 'San Luis' consiste en el cambio de las bombas, conservando la configuración actual con respecto a tuberías. El análisis realizado en EPANET se presenta a continuación:

Figura 45. Simulación de sistema San Luis



Para simular este sistema fue necesario implementar un nodo emisor que simulara la acción del consumo de los suscriptores de la comunidad de San Luis, la cual, al ser pocos, cuenta con un tanque de almacenamiento pequeño que genera un vaciado rápido en horarios de alto consumo. El comportamiento del nivel del tanque de almacenamiento se presenta a continuación:

Figura 46. Comportamiento del nivel de tanque San Luis



7. DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA FUTURA

Como el proyecto tiene como propósito el rediseño de sistemas que cumplan con la demanda de servicio de comunidades, la normativa RAS exige un análisis de crecimiento de población para determinar, en un rango de proyección, la capacidad necesaria en los sistemas a tratar.

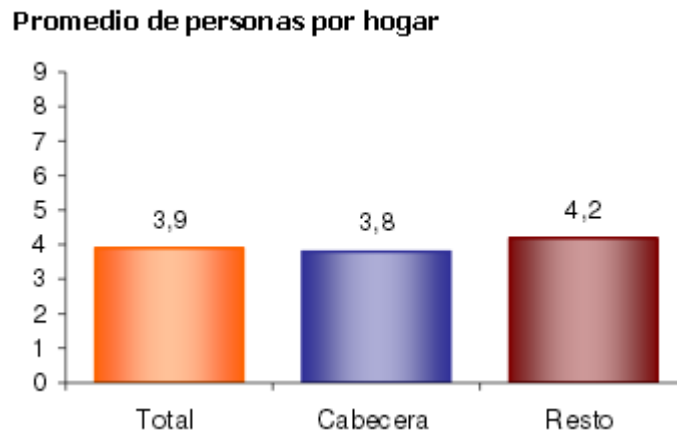
Debido a que el servicio se presta a comunidades donde no existe un censo determinado y las redes de suministro se encuentran mezcladas, es decir, no cubren una comunidad de manera uniforme, sino que son dos o más tanques los que abastecen la comunidad fue necesario realizar un análisis de acuerdo al número de suscriptores que se encuentran beneficiados por cada tanque, información suministrada por la Gerencia de Operaciones y se presenta a continuación:

Tabla 23. Determinación de la demanda futura

Tanque	Número de suscriptores
Miraflores	697
San Luis	146

Para definir el número de personas que usan el servicio por cada hogar suscrito, se deben acoger los datos del DANE, donde se muestra una gráfica para suponer la cantidad de personas por hogar:

Figura 47. Número de personas por hogar



De la cual es posible concluir que las zonas de interés se encuentran en estratos 3 y 1 por lo cual se encuentra tipificada como 'Resto' que hace referencia a 4,2 personas por hogar, lo cual permite determinar que la comunidad adherida al tanque Miraflores es 2911 habitantes y la comunidad adherida al tanque San Luis es 612 habitantes.

7.1 DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE COMPLEJIDAD^[1] DEL SISTEMA

Para el territorio nacional se definen los siguientes niveles de complejidad:

- Bajo
- Medio
- Medio alto
- Alto

La clasificación del proyecto en uno de estos niveles depende del número de habitantes en la zona de interés, estratificación socioeconómica y el grado de exigencia técnica que se requiera para adelantar el proyecto, de acuerdo a lo establecido en la normativa RAS Título B indicado en la siguiente tabla:

Tabla 24. Nivel de complejidad

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Fuente: RAS Título B (2012)

Esto indica que el nivel de complejidad según la población de los suscriptores al tanque de Miraflores es MEDIO, sin embargo, las exigencias técnicas de la empresa y el compromiso de la entidad hace que todos los proyectos dentro de su área de acción sean analizados con nivel de complejidad ALTO, dando con esto, una mayor seguridad de que los estándares de calidad usados serán los mejores.

7.2 PERIODO DE DISEÑO

El periodo de diseño es un criterio definido por la norma para indicar el grado de proyección del proyecto dependiendo del nivel de complejidad de este. Para este caso, el proyecto posee un nivel de complejidad ALTO, lo cual, hace que se rija de acuerdo a la información de la siguiente tabla:

Tabla 25. Periodo de diseño

Nivel de complejidad	Periodo de diseño
Bajo, Medio y Medio Alto	25 años
Alto	30 años

Fuente: RAS Título B (2012)

7.3 DETERMINACIÓN DE LA POBLACIÓN

El método de cálculo para la proyección de la población está determinado por el nivel de complejidad del sistema. La población en el caso del nivel ALTO se sugiere calcular por los métodos matemáticos: aritmético, geométrico y exponencial, seleccionando el modelo que mejor se ajuste al comportamiento histórico de la población. De esta manera, fue seleccionado el método aritmético que supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración, debido a que la zona no posee unas características geográficas que permitan el crecimiento y la emigración es alta debido a circunstancias sociales.

Con base en la información otorgada por el amb acerca del crecimiento de los suscriptores en los últimos años se obtuvo la información mínima para el desarrollo de las ecuaciones de proyección de la población real que habitará la zona en los próximos años.

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} * (T_f - T_{uc})$$

Donde:

Pf= Población correspondiente al año que se desea hacer la proyección.

Puc= Población correspondiente a la proyección del DANE.

Pci= Población correspondiente al censo inicial con información.

Tuc= Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

Tci= Año correspondiente al censo inicial con información.

Tf= Año al cual se quiere proyectar la información.

$$P_f = 2911 + \frac{2911 - 2766}{2016 - 2011} * (2046 - 2016)$$

$$P_f = 3781 \text{ habitantes (Miraflores)}$$

$$P_f = 612 + \frac{612 - 552}{2016 - 2011} * (2046 - 2016)$$

$$P_f = 972 \text{ habitantes (San Luis)}$$

7.3.1 Población flotante. Actualmente en la zona no existen lugares turísticos ni recreativos y se estima para el caso de estudio que no se encontrarán poblaciones flotantes ni etnias minoritarias o poblaciones protegidas.

7.3.2 Población de diseño. La población de diseño para los dos sistemas de bombeo presentes en la planta será la población estimada para el año 2046 encontrada en los cálculos anteriores.

$$P_{diseño} = P_{futura} + P_{flotante}$$

$$P_{futura} = 3781 \text{ (Miraflores)}$$

$$P_{futura} = 972 \text{ (San Luis)}$$

$$P_{flotante} = 0$$

7.4 DOTACIÓN

7.4.1 Dotación neta. El término dotación neta hace referencia a la cantidad mínima del fluido de agua que necesita un suscriptor o un habitante para satisfacer sus necesidades básicas. El factor se puede determinar con información e históricos de consumo de dotación neta por suscriptores, en caso contrario, se calcula utilizando el número de habitantes.

7.4.1.1 Dotación neta por habitante: La dotación neta por habitante está determinada por el nivel de complejidad definido para el sistema en análisis y sus valores los define la normativa RAS a través de la siguiente tabla:

Tabla 26. Dotación neta por habitante

Nivel de complejidad	Dotación neta (L/hab*día) clima templado y frío	Dotación neta (L/hab*día) clima cálido
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio Alto	125	135
Alto	140	150

Fuente: RAS Título B (2012)

La ciudad de Bucaramanga se encuentra ubicada a 959 msnm, lo cual según la norma, en el territorio nacional se considera clima cálido a las zonas por debajo de 1000 msnm, por lo tanto consideraremos la dotación neta por habitante para clima cálido.

7.4.2 Dotación bruta. La resolución 2320 de 2009 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la dotación bruta para el diseño de cada uno de los elementos que conforman un sistema de acueducto, sin importar el nivel de complejidad determinado, se debe calcular teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$d_{bruta} = \frac{d_{neta}}{1 - \%_{perdidas}}$$

Donde:

d_{bruta} = Dotación bruta.

d_{neta} = Dotación neta.

$\%_{perdidas}$ = Porcentaje de pérdidas admisibles. (<25%)

$$d_{bruta} = \frac{150}{1 - 0.25} = 200 \left[\frac{L}{hab} * día \right]$$

7.5 DEMANDA DE AGUA POR POBLACIÓN

7.5.1 Caudal medio diario. El caudal medio diario, es el caudal calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada. Corresponde al promedio de los consumos diarios en un periodo de un año y puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{md} = \frac{p * d_{bruta}}{86400}$$

Donde:

Q_{md} = Caudal medio diario

P= Número de habitantes proyectado

d_{bruta} = Dotación bruta

$$Q_{md} = 8.75 \text{ [LPS]} \text{ (Miraflores)}$$

$$Q_{md} = 2.25 \text{ [LPS]} \text{ (San Luis)}$$

7.5.2 Caudal máximo diario. El caudal máximo diario, corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas a lo largo de un periodo de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario k_1 como se indica en la siguiente ecuación:

$$Q_{MD} = Q_{md} * k_1$$

Donde:

Q_{MD} = Caudal máximo diario

Q_{md} = Caudal medio diario

k_1 = Coeficiente de consumo máximo horario (Valor RAS = 1,3)

$$Q_{MD} = 11.375 \text{ [LPS]} \text{ (Miraflores)}$$

$$Q_{MD} = 2.925 \text{ [LPS]} \text{ (San Luis)}$$

7.5.3 Caudal máximo horario. El caudal máximo horario, corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un periodo de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario k_2 según la siguiente ecuación:

$$Q_{MH} = Q_{MD} * k_2$$

Donde:

Q_{MH} = Caudal máximo horario

Q_{MD} = Caudal máximo diario

k_2 = Valor de coeficiente de consumo máximo horario (Valor RAS= 1,5)

$$Q_{MH} = 17.1 \text{ [LPS]} \text{ (Miraflores)}$$

$$Q_{MH} = 4.39 \text{ [LPS]} \text{ (San Luis)}$$

7.6 CURVA DE VARIACIÓN HORARIA DE LA DEMANDA

Para todos los niveles de complejidad del sistema debe construirse la curva de demanda que defina la variación del consumo a lo largo del día, con el fin de establecer la necesidad y la magnitud de un posible almacenamiento.

Para los niveles de complejidad del sistema medio, medio alto y alto debe contarse con curvas de demanda horarias de cada población o zona abastecida, las cuales serán determinadas teniendo en cuenta el historial de registro archivado en la Planta La Flora.

Tabla 27. Tabla de variación horaria Miraflores 2046

Hora	Caudal [LPS]
0	6
1	6
2	6
3	6
4	8
5	8
6	8
7	8

Tabla 27. (Continuación)

Hora	Caudal [LPS]
8	10,5
9	10,5
10	13,5
11	13,5
12	14
13	16,5
14	17,1
15	10,5
16	10,5
17	16,5
18	17,1
19	17,1
20	17,1
21	16,5
22	8
23	8

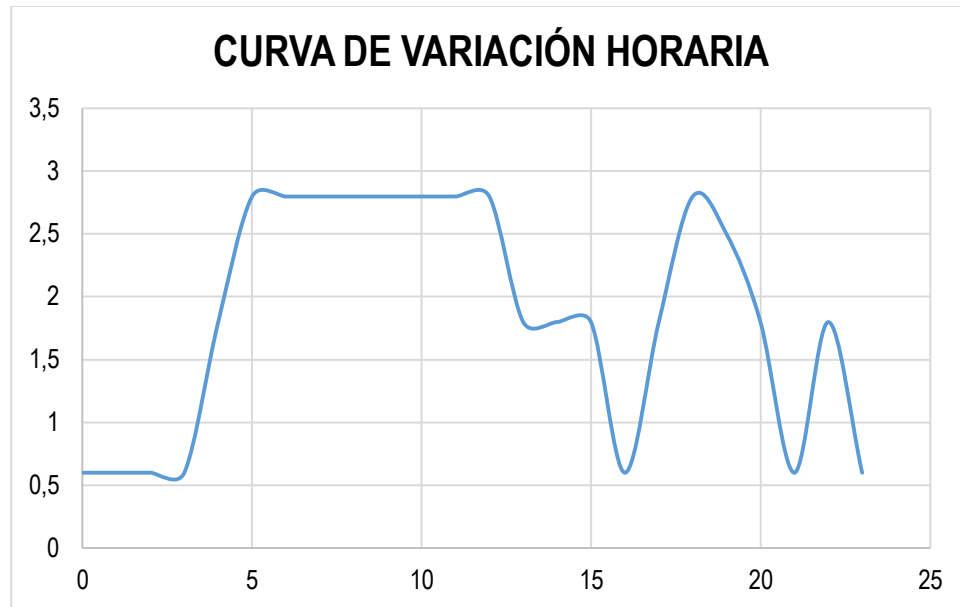
Figura 48. Curva de variación horaria Miraflores 2046



Tabla 28. Tabla de variación horaria San Luis 2046

Hora	Caudal [LPS]
0	0,6
1	0,6
2	0,6
3	0,6
4	1,8
5	2,8
6	2,8
7	2,8
8	2,8
9	2,8
10	2,8
11	2,8
12	2,8
13	1,8
14	1,8
15	1,8
16	0,6
17	1,8
18	2,8
19	2,5
20	1,8
21	0,6
22	1,8
23	0,6

Figura 49. Curva de demanda horaria San Luis 2046



7.7 ESTACIÓN DE BOMBEO

7.7.1 Tiempo de bombeo. Para el nivel de complejidad del sistema alto, el tiempo de bombeo recomendado para el caudal de diseño es 24 h/día. Para el nivel de complejidad del sistema medio alto, el tiempo de bombeo recomendado para el caudal de diseño es de 20 h/día. Para los niveles de complejidad del sistema medio y bajo, el tiempo de bombeo recomendado para el caudal de diseño es de 12 h/día. Sin embargo este valor puede ajustarse a partir de una evaluación económica con base en el costo del bombeo por hora y especialmente de acuerdo con la curva de variación horaria del consumo de la localidad y el volumen requerido de almacenamiento.

En este caso, las condiciones de operación calculadas fueron simuladas en EPANET encontrando la posibilidad de suplir las necesidades y los requisitos del

sistema utilizando el sistema de bombeo de Miraflores durante 10 horas y el sistema de bombeo de San Luis durante 11.5 horas.

7.7.2 Caudal de diseño. La capacidad de la estación de bombeo depende de la forma en que se efectúe el bombeo, el cual se debe realizar en todos los casos hacia un tanque en donde se debe cumplir lo siguiente:

- Si el bombeo es a un tanque de almacenamiento, el caudal de diseño es el Caudal Máximo Diario (QMD), si el bombeo es de 24 horas. En caso que el bombeo no se realice en forma continua durante 24 horas, el caudal de diseño corresponderá al QMD multiplicado por el factor de horas de bombeo.
- Si el bombeo es a un tanque de compensación, el caudal de diseño es el Caudal Máximo Horario (QMH).

No se permite en ningún caso el bombeo directo hacia la red de distribución. De igual forma, no se permite el bombeo directo desde la red de distribución para abastecer a un usuario.

En este caso, los bombes de Miraflores y San Luis son menores a 24 horas por lo cual el resultado del caudal de diseño será la multiplicación del QMD por el resultado de dividir 24 por el número de horas efectivas de bombeo, pero en el caso del bombeo de Miraflores, al convertirse en un sistema conjunto con el sistema de Lavado, el cual requiere cumplir una condición de llenado en un determinado tiempo, el caudal de diseño será el tiempo necesario para cumplir la condición. Los resultados se pueden apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 29. Caudales de diseño

Caudales de diseño proyección 2046	
Miraflores	45 [LPS]
San Luis	6.1 [LPS]

Fuente: Autor.

7.8 NUEVA CURVA DE OPERACIÓN

7.8.1 Ecuación del sistema. Habiendo determinado los parámetros necesarios para la implementación de los nuevos sistemas de bombeo, es necesario calcular nuevamente la curva característica del sistema a proyección, para ello hay que conocer la altura total requerida del sistema.

$$H_{estática} = Z_{tanque} - Z_{succión} + \frac{P_{tanque} - P_{succión}}{\rho * g}$$

$$H_{dinámica} = \frac{V_{tanque}^2 - V_{succión}^2}{2 * g} + H_{pérdidas}$$

Después de calcular las nuevas condiciones de operación con respecto a tramos de tubería y longitudes, se aplica la ecuación de Darcy – Weisbach para determinar el coeficiente de pérdidas y se obtienen los siguientes resultados:

$$H_{dinámica} = 20.52 \text{ [m]} \text{ (Miraflores – Lavado)}$$

$$H_{estática} = 25.68 \text{ [m]} \text{ (Miraflores – Lavado)}$$

$$H_{dinámica} = 2.443 \text{ [m]} \text{ (San Luis)}$$

$$H_{dinámica} = 25.68 \text{ [m]} \text{ (San Luis)}$$

Con estos datos, se genera una gráfica en el entorno de EES para conocer la nueva curva de funcionamiento:

Figura 50. Curva característica Miraflores – Lavado

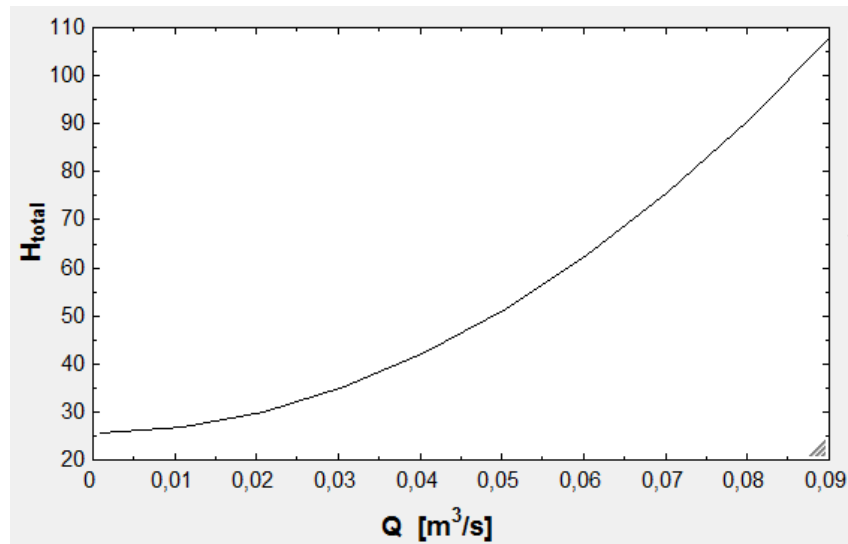
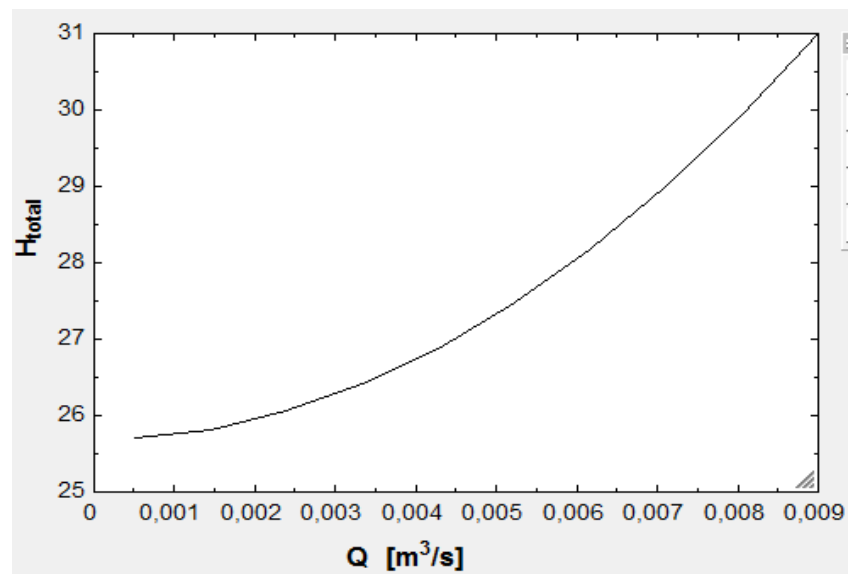


Figura 51. Curva característica San Luis



Teniendo el valor del caudal requerido por el sistema, se genera la gráfica de la operación de los sistemas de bombeo a proyección:

Figura 52. Punto de operación Miraflores – Lavado

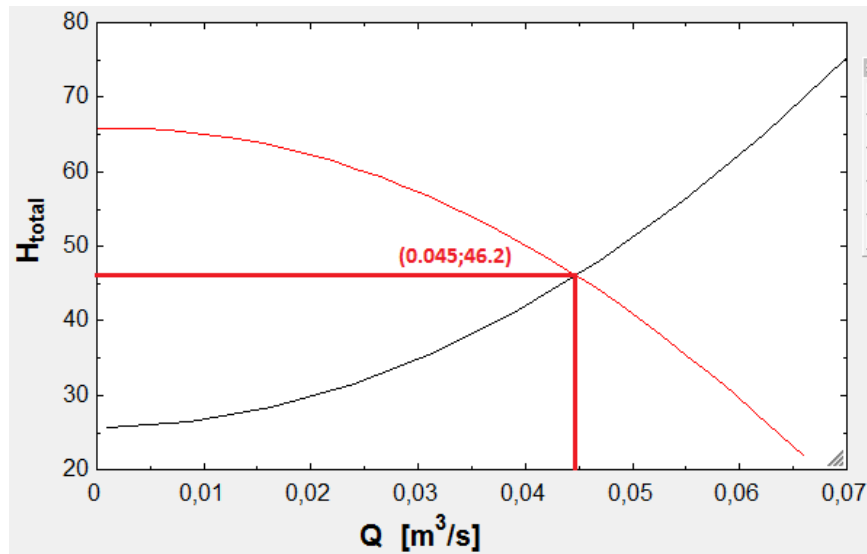
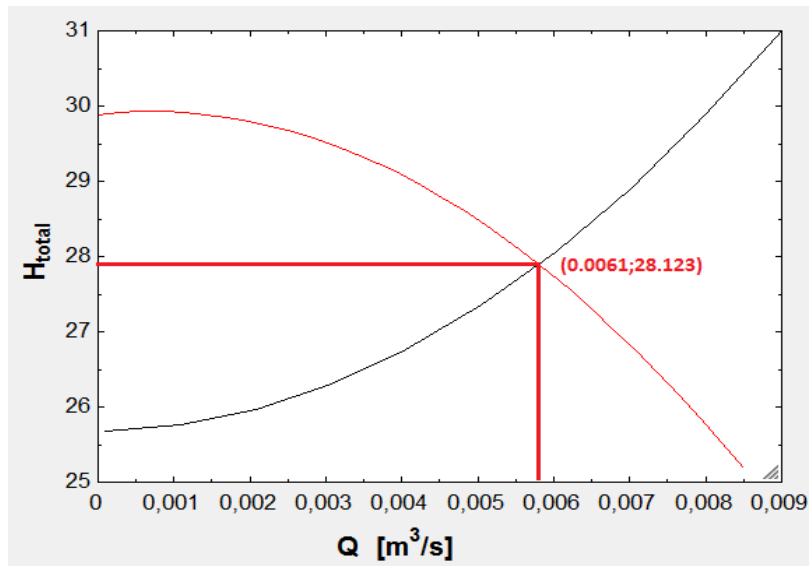


Figura 53. Punto de operación San Luis



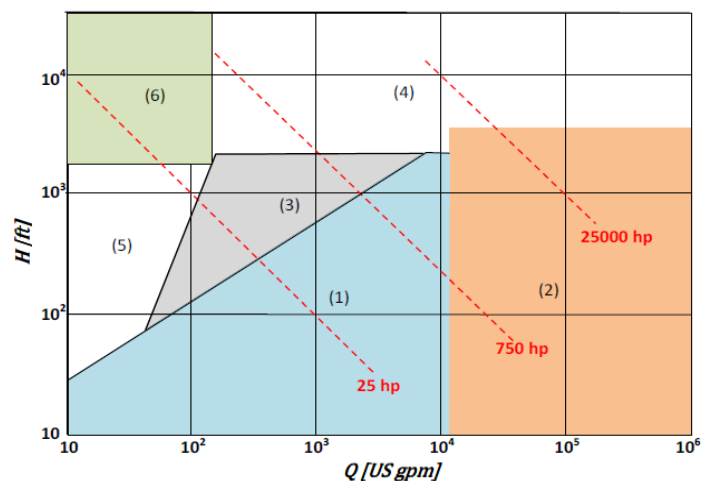
7.9 SELECCIÓN DE BOMBAS

Después de determinar el punto de operación requerido por los sistemas, es necesario realizar una correcta selección de bombas que permita cumplir con los parámetros encontrados.

7.9.1 Cálculo del punto de máxima eficiencia. El punto de mayor eficiencia BEP (por sus siglas en inglés) es el punto de trabajo más alto que posee una bomba, que garantiza su funcionamiento óptimo, además de reducir las probabilidades de falla del sistema por variación de las velocidades y presiones.

Este punto estará ubicado según las condiciones que requieren los sistemas y que fueron calculadas con anterioridad. Para completar la determinación del punto de máxima eficiencia, es necesario establecer un valor de eficiencia y de velocidad específica del rotor. Para este cálculo seguiremos la recomendación del fabricante para reducir costos de energía.

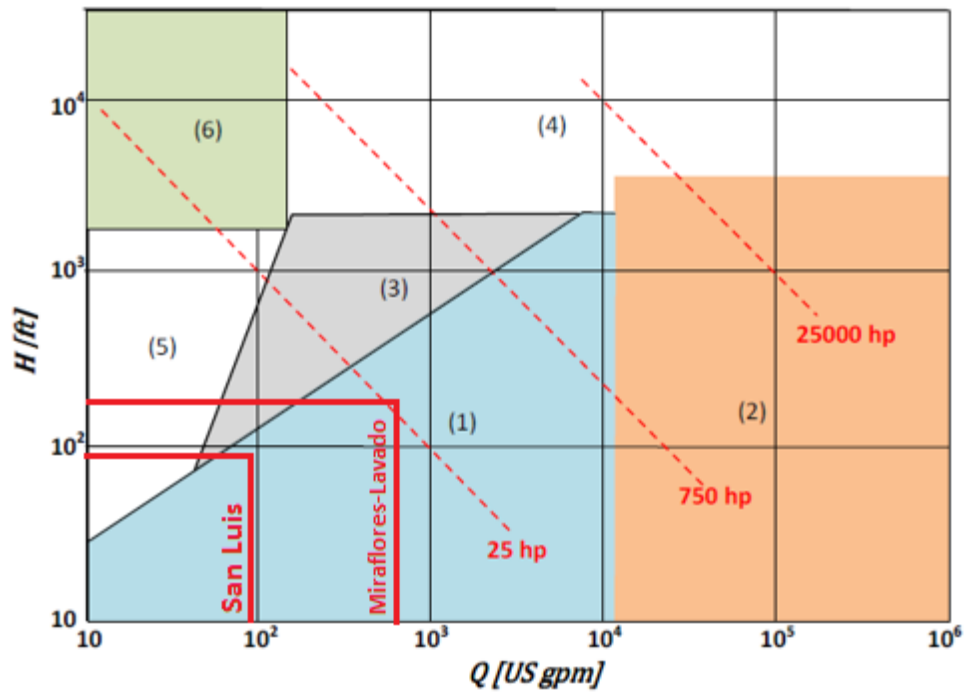
Figura 54. Gráfico de selección de velocidades



Fuente: DOOLIN, John H. Worthington Pump Inc.

De la figura anterior se puede concluir que los sistemas de bombeo de interés se encuentran ubicados en la zona 1, como se muestra en la siguiente gráfica:

Figura 55. Zonificación de los sistemas



Fuente: DOOLIN, John H. Worthington Pump Inc. Modificada por el autor.

Lo cual, hace referencia a que es sugerido para la zona 1 motores de una etapa de 1750 a 3500 rpm. De esta manera, teniendo los valores sugeridos podemos calcular la velocidad específica mediante la siguiente expresión:

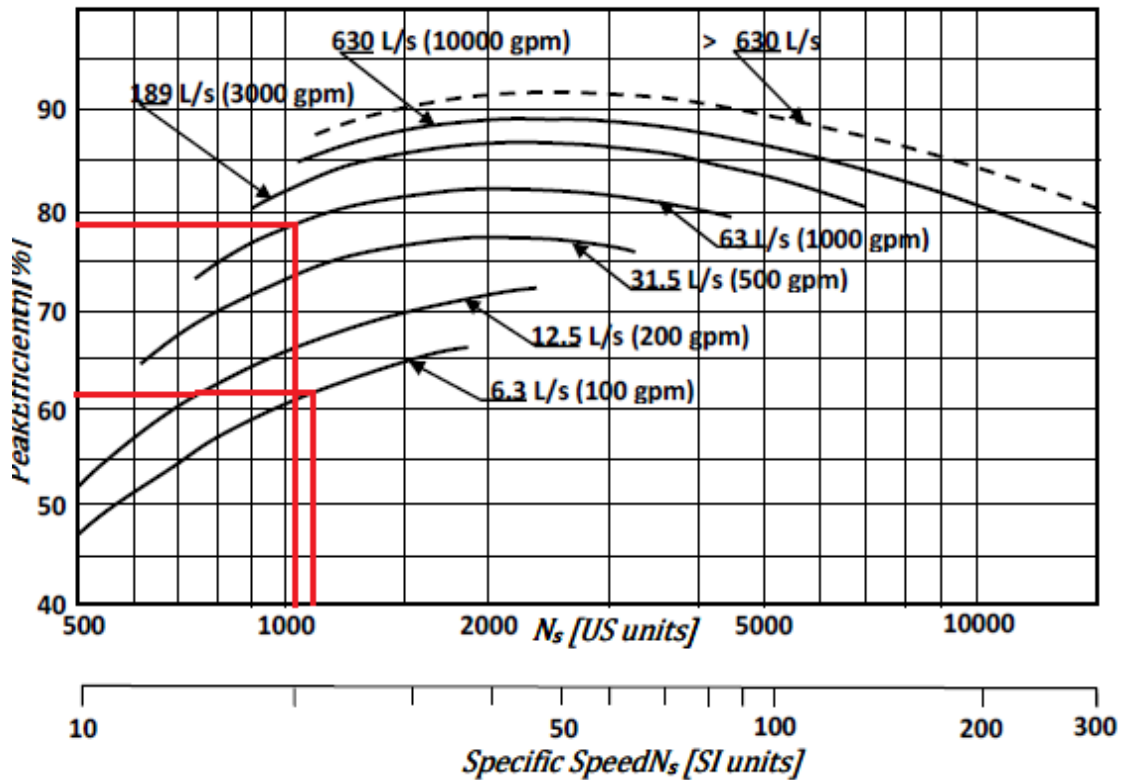
$$N_s = \frac{N * \sqrt{Q_{wr}}}{H_{wr}^{3/4}}$$

$$N_{s_{\text{Miraflores-Lavado}}} = \frac{1750 * \sqrt{0.045}}{46.2^{3/4}} = 20.95 \text{ [RPM]}$$

$$N_{San Luis} = \frac{3500 * \sqrt{0.0061}}{28.123^{3/4}} = 22.38 [RPM]$$

Habiendo obtenido el valor de la velocidad requerida, es posible determinar valores de eficiencia según el valor de la velocidad específica del rotor que permite tener una noción del funcionamiento del sistema:

Figura 56. Valores de eficiencia según velocidad específica



Fuente: Worthington Pumps Inc.

De acuerdo a la gráfica anterior, se observa que el sistema de bombeo de Miraflores – Lavado se encuentra en un rango de eficiencia entre 75-80%, mientras que el sistema de bombeo de San Luis, debido a su tamaño, se encuentra en una eficiencia cercana a 62%

De acuerdo con estos porcentajes obtenidos es posible determinar el valor de la potencia requerida para los sistemas de bombeo mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{Q * \gamma * H}{\eta}$$

Donde:

P = Potencia requerida por la bomba en watts.

Q = Caudal máximo de operación en m^3/s

γ = Peso específico del agua en N/m^3

η = Eficiencia del bombeo

Para garantizar la óptima operación de los sistemas, se asumen los valores de eficiencia para Miraflores - Lavado en 75% y para San Luis 60% como se muestra en la gráfica 59.

$$P_{Miraflores-Lavado} = \frac{0.045 * 9810 * 46.2}{0.75}$$

$$P_{Miraflores-Lavado} = 27.2 [kW] = 36.48 [HP]$$

$$P_{San Luis} = \frac{0.0061 * 9810 * 28.123}{0.62}$$

$$P_{San Luis} = 2.7 [kW] = 3.64 [HP]$$

7.9.2 Número de bombas. El número de bombas en la estación de bombeo debe definirse desde la etapa de diseño de acuerdo con la capacidad requerida, las etapas de desarrollo y la energía disponible. El número de bombas debe estar sujeto a una evaluación económica. De todas formas el número mínimo de bombas es dos, cada una con una capacidad igual al caudal de diseño de la estación de bombeo.

Cuando el número de bombas sea mayor de dos, la capacidad debe distribuirse equitativamente entre ellas. Además, debe preverse unidades de reserva del mismo tipo. Cuando se requieren tres o más bombas, debe colocarse una unidad adicional como reserva por cada tres bombas empleadas.

En este caso, debe seleccionarse dos bombas de iguales características para cada sistema de bombeo, que favorezca el mantenimiento y permita a la empresa garantizar las operaciones de la planta todos los días del año.

7.10 VÁLVULAS Y ACCESORIOS EN ESTACIÓN DE BOMBEO

La estación de bombeo debe tener ciertos accesorios que permitan una fácil operación, de acuerdo con las siguientes disposiciones:

1. Las válvulas de corte o cierre debe tener una señalización que indiquen si se encuentran abiertas o cerradas.
2. Las válvulas mayores que 300 mm de diámetro deben tener actuadores electromecánicos, para facilidad de operación.
3. Para las válvulas de accionamiento manual, deben colocarse dispositivos que hagan posible su operación con una fuerza tangencial menor que 200 N.

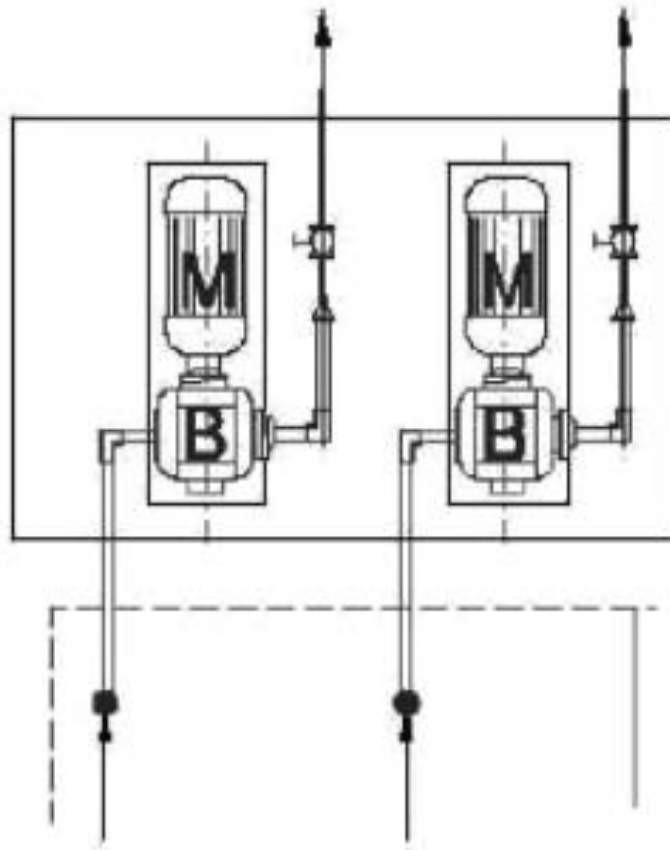
4. Las válvulas de corte y cierre deben estar instaladas en sitios de fácil acceso para la persona prestadora del servicio encargada de la operación de la estación de bombeo.
5. Los accesorios deben instalarse en forma tal que resulte fácil su inspección y mantenimiento y que permitan un adecuado montaje y desmontaje.

De acuerdo a estas disposiciones, la normativa RAS y la NTC 2011 hacen la recomendación de los accesorios necesarios para el correcto funcionamiento de la estación de bombeo:

1. Todas las unidades de bombeo deben tener una válvula de corte o cierre, o una válvula esférica con cheque en la tubería de impulsión.
2. En el caso que el diseño contemple la instalación de bombas en pozos secos, y que operen por debajo del nivel de succión, deben tener una válvula de corte o cierre en la línea de succión.
3. En una tubería de succión que no trabaje con carga positiva debe instalarse una válvula de pie (retención) en la parte inferior para evitar su vaciado.
4. En caso que el tipo de bomba que vaya a utilizarse requiera el uso de válvulas de ventosa, el diseño debe prever la instalación de éstas, indicando su forma de operación y mantenimiento.

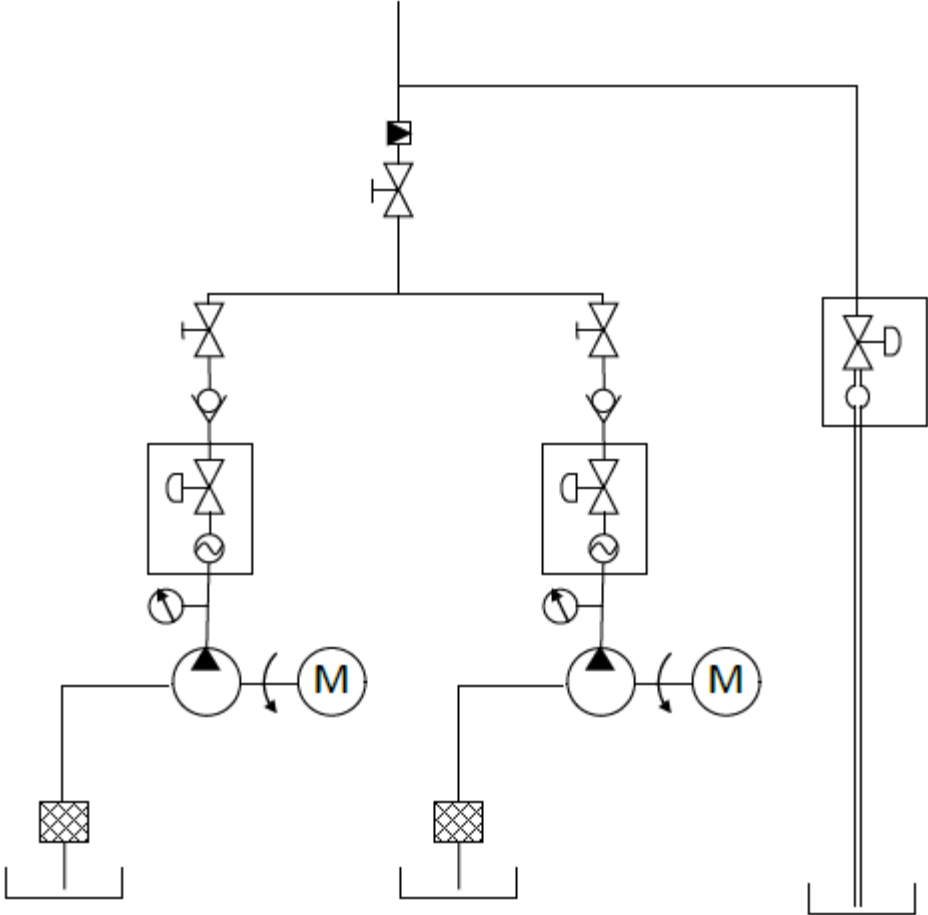
Siguiendo las recomendaciones, la disposición de los accesorios en la estación de bombeo será la planteada en la figura 61.

Figura 57. Disposición en estación de bombeo



Fuente: Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable. Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/023_Dise%3Dno_estaciones_bombeo/Dise%3Dno%20estaci%3DBn%20de%20bombeo.pdf Modificada por el autor.

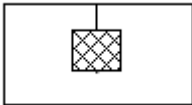
Figura 58. Accesorios en estación de bombeo



7.11 DESCRIPCIÓN DE LOS ACCESORIOS EN ESTACIÓN DE BOMBEO

7.11.1 Filtro de aspiración

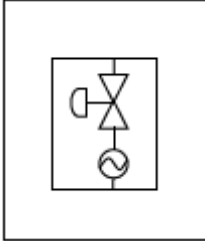
Figura 59. Filtro de aspiración



Conocida también como canastilla, su función consta de evitar que partículas de diversos tamaños ingresen al sistema de bombeo generando obstrucciones o daños.

7.11.2. Válvula de control

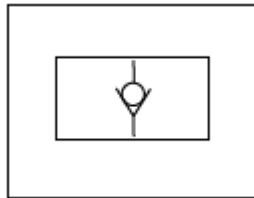
Figura 60. Válvula de control



Las válvulas de control de bomba son dispuestas en el sistema para reducir efectivamente los efectos de sobrecarga asociada con el encendido y apagado de la bomba. En conexión con el motor de la bomba, la válvula abre y cierra a una velocidad ajustable, generando consigo una transición cómoda y predecible de la presión y volumen de carga de la bomba en el sistema.

7.11.3. Válvula antirretorno

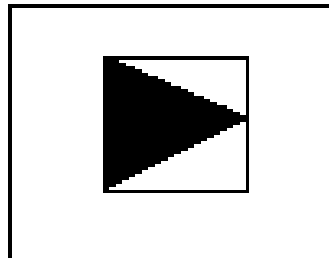
Figura 61. Válvula antirretorno



La válvula antirretorno es un tipo de válvula que permite al fluido moverse en una determinada dirección, pero que cierra automáticamente para impedir que el flujo fluya en la dirección contraria. Este tipo de válvula nos garantiza una presión en el sistema, que puede tararse dependiendo del diseño y el uso.

7.11.4. Válvula de ventosa

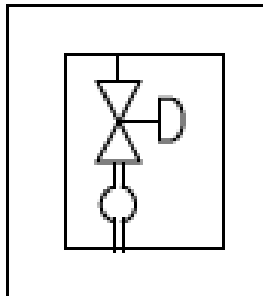
Figura 62. Válvula de ventosa



La válvula de ventosa representa una solución para suprimir los efectos del aire en presión presente al interior de las tuberías de conducción. También, en los momentos donde se generan los efectos del vacío en las redes, permite el ingreso de aire. Son instaladas en las tuberías de impulsión de los sistemas de bombeo.

7.11.5. Válvula antigolpe de ariete

Figura 63. Válvula antigolpe de ariete



Conocida también como válvula anticipadora de onda, es una válvula que se abre en reacción a la caída de presión generada por la súbita parada del sistema de bombeo. La apertura de la válvula disipa la onda de alta presión de retorno, de caída a tanque y con ello eliminando el golpe de ariete. Se instalará fuera de la línea de la operación, como muestra la figura anterior.

8. TUBERÍAS DE SUCCIÓN E IMPULSIÓN

8.1 DIÁMETROS DE LAS TUBERÍAS

Los diámetros de las tuberías de succión e impulsión en la estación de bombeo deben estar regidos por la siguiente expresión:

$$D_e = 1.2 \left(\frac{t}{24}\right)^{0.25} * \sqrt{Q}$$

Donde:

D_e = Diámetro económico interno de la tubería [m]

t = Número de horas de bombeo por día [h]

Q = Caudal de bombeo [m^3/s]

$$D_{e_{\text{Miraflores-Lavado}}} = 1.2 \left(\frac{10}{24}\right)^{0.25} * \sqrt{0.045}$$

$$D_{e_{\text{Miraflores-Lavado}}} = 204.52 \text{ [mm]}$$

$$D_{e_{\text{San Luis}}} = 1.2 \left(\frac{11.5}{24}\right)^{0.25} * \sqrt{0.0061}$$

$$D_{e_{\text{San Luis}}} = 77.9 \text{ [mm]}$$

Según la normativa, el diámetro de la tubería de succión debe ser mayor al diámetro de la tubería de impulsión en al menos 50 [mm]. Además, cabe resaltar que estos diámetros calculados serán utilizados para la estación de bombeo más no para la distribución, ya que se usará la tubería existente por justificación económica.

Las velocidades mínimas admitidas para la tubería de succión e impulsión son 0,45 [m/s] y 1 [m/s] respetivamente. La velocidad máxima admitida en la tubería de

impulsión no debe exceder los 3 [m/s], para la velocidad en la tubería de succión se deben seguir los criterios de la Tabla 15.

Tabla 30. Velocidades máximas admisibles para tubería de succión

Diámetro de tubería de succión	Velocidad máxima
50 mm	0.75 m/s
75 mm	1.00 m/s
100 mm	1.30 m/s
150 mm	1.45 m/s
200 mm	1.60 m/s
250 mm	1.60 m/s
300 mm	1.70 m/s
> 400 mm	1.80 m/s

Para encontrar entonces los diámetros que se acojan a los criterios dados, es necesario calcular la velocidad de succión e impulsión mediante la siguiente expresión:

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

$$v_{succión} = \frac{4 * 0.045}{\pi * 0.2032^2} = 1.387 \left[\frac{m}{s} \right] (\text{Miraflores} - \text{Lavado})$$

$$v_{impulsión} = \frac{4 * 0.045}{\pi * 0.1524^2} = 2.467 \left[\frac{m}{s} \right] (\text{Miraflores} - \text{Lavado})$$

$$v_{succión} = \frac{4 * 0.0061}{\pi * 0.1016^2} = 0.75 \left[\frac{m}{s} \right] (\text{San Luis})$$

$$v_{succión} = \frac{4 * 0.0061}{\pi * 0.0762^2} = 1.337 \left[\frac{m}{s} \right] (\text{San Luis})$$

Los diámetros elegidos para el sistema de bombeo de Miraflores – Lavado para la succión e impulsión son de 203,2 [mm] y 152.4 [mm] respectivamente. Para el sistema de San Luis los diámetros de succión e impulsión son 101.6 [mm] y 76.2 [mm] respectivamente. Los cuales cumplen con los requerimientos de velocidades mínimas y máximas consignadas en la normativa RAS.

8.2 DISTANCIA ENTRE EL FONDO Y LA BOCA DE SUCCIÓN

La distancia entre el fondo del tanque y la succión debe estar entre 0,5 y 1,5 veces el diámetro de la tubería de succión, pero esta no debe ser inferior a 0,25 [m].

$$Distancia = 1.5 * 0.2032 [m] = 0.3 [m] \text{ (Miraflores – Lavado)}$$

$$Distancia = 1.5 * 0.1016 [m] = 0.25 [m] \text{ (San Luis)}$$

8.3 CÁLCULO DE LA ALTURA PIEZOMÉTRICA NETA DE SUCCIÓN POSITIVA NPSH

La altura neta de succión positiva disponible se debe calcular de acuerdo con la siguiente expresión:

$$NPSH_{Disponible} = \frac{P_{atm}}{\rho * g} + H_{estática} - h_f - \frac{P_v}{\rho * g}$$

Donde:

P_{atm} = Presión atmosférica [Pa]

$H_{estática}$ = Altura estática de succión [m]

h_f = Pérdidas por fricción

P_v = Presión de vapor [Pa]

ρ = Densidad del agua

g = Aceleración de la gravedad

La altura neta de succión positiva requerida por el fabricante debe ser menor que el valor de la altura neta de succión positiva disponible en la instalación en por lo menos un 20%, para las condiciones más adversas de operación. En ningún caso la diferencia puede ser menor que 0,5 m. Para todos los caudales previstos debe verificarse que no ocurra el fenómeno de cavitación.

$$NPSH_{Disponible} = \frac{87877}{1000 * 9.81} - 2.3 - 1.725 - \frac{2808}{1000 * 9.81}$$
$$NPSH_{Disponible} = 4.65 \text{ [m] (Miraflores-Lavado)}$$

$$NPSH_{Disponible} = \frac{87877}{1000 * 9.81} - 2.25 - 0.3173 - \frac{2808}{1000 * 9.81}$$
$$NPSH_{Disponible} = 6.05 \text{ [m] (San Luis)}$$

9. TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Los tanques de almacenamiento y compensación son depósitos de agua que tienen la función de almacenar agua y compensar las variaciones que existen entre el caudal de entrada al tanque y el consumo normal de los suscriptores a lo largo del día. El objetivo primordial de los tanques de compensación es cubrir las necesidades de la demanda de agua en los momentos picos, permitiendo una recuperación del volumen en las horas de bajo consumo para poder suministrar, sin problema, el agua demandada en las horas de máximo consumo. Por otro lado, los tanques de almacenamiento, además de cumplir con la función de compensación, tienen el objetivo de almacenar agua para seguir cubriendo la demanda durante un cierto periodo de tiempo en caso de alguna falla en la red matriz.

Las funciones que debe cumplir un tanque de almacenamiento son las siguientes:

1. Suministrar agua potable a los consumidores en la cantidad y calidad necesaria, incluyendo la variación de la demanda a lo largo del día.
2. Suministrar suficiente agua en caso de ocurrir situaciones de emergencia, tales como incendio, daños en la red de conducciones, daños en las estaciones de bombeo, operaciones de mantenimiento especiales, operaciones de emergencia causadas por estallidos de tuberías, etc.
3. Compensar las variaciones de los consumos que se producen durante el día.

9.1 CONDICIONES GENERALES

9.1.1 Tipo de tanque. Los tanques existentes en la planta 'La Flora' son tanques semienterrados que tienen parte de su estructura bajo el nivel del terreno en que se

encuentran ubicados, debido a que el terreno presenta dificultades para la excavación.

9.1.2 Forma del tanque. En general, no existe limitación alguna en cuanto a la elección de la forma del tanque; esta debe garantizar la seguridad, la durabilidad y el cumplimiento de las condiciones sanitarias requeridas por el agua potable. Todos los tanques deben estar cubiertos.

La forma del tanque debe proporcionar una correcta operación hidráulica de la red de distribución de agua potable aguas debajo de este, incluyendo aspectos de calidad de agua. Por consiguiente, la forma del tanque debe evitar la formación de zonas muertas dentro de éste que impliquen el deterioro en la calidad del agua potable.

9.1.3 Número de tanques. Para el nivel de complejidad del sistema alto, el número de tanques debe determinarse según los requisitos de presión y almacenamiento previstos para la red de distribución. En todos los casos, la red de distribución debe tener como mínimo dos tanques o al menos uno con dos módulos o compartimientos iguales que operen en forma independiente ante la posibilidad de que uno de ellos quede por fuera de servicio y/o para facilitar las labores de mantenimiento y limpieza sin suspender el servicio.

Para labores de mantenimiento, y si no hay un módulo adicional en el tanque, se recomienda un 'by pass' a la llegada del tanque con el fin de alimentar directamente la red de distribución, verificando en todo momento los requisitos de calidad del agua.

Teniendo en cuenta las recomendaciones de la RAS y conociendo que las características de los terrenos impide la construcción de un tanque adicional, se dispondrá de un tanque por sistema de bombeo con dos compartimientos, con

entradas independientes, para con ello garantizar la independencia en el momento que la válvula sea cerrada.

9.1.4 Capacidad de regulación

9.1.4.1 Método analítico: El tanque de almacenamiento debe tener la capacidad de compensar las variaciones entre el caudal de entrada proveniente de las plantas de tratamiento y el caudal de consumo en cada instante. El volumen del tanque se determina mediante la siguiente expresión:

$$C_r = \frac{Q_{MD} * 86400}{3} + (Q_{md} * 86400 * T_a)$$

Donde:

C_r = Capacidad de regulación [LPS]

Q_{MD} = Caudal máximo diario [LPS]

Q_{md} = Caudal medio diario [LPS]

T_a = Tiempo de alimentación inoperante. La normativa RAS define un tiempo de alimentación inoperante de 2 horas para realizar labores de mantenimiento.

$$C_r = \frac{11.375 * 86400}{3} + (8.75 * 86400 * 0.0833) = 390574.8 [L]$$

$$C_r = 390.575 [m^3] \quad (\text{Miraflores} - \text{Lavado})$$

$$C_r = \frac{2.925 * 86400}{3} + (2.25 * 86400 * 0.0833) = 100433.5 [L]$$

$$C_r = 100.433 [m^3] \quad (\text{San Luis})$$

9.1.4.2 Método RAS: Para el nivel de complejidad del sistema alto el volumen de regulación debe ser $1/4$ del volumen presentado en el día de máximo consumo.

$$V_r = \frac{158.57}{4} = 39.642 \text{ [m}^3\text{]} \text{ (San Luis)}$$

$$V_r = \frac{314.57}{4} = 280.86 \text{ [m}^3\text{]} \text{ (Miraflores – Lavado)}$$

9.1.4.3 Método contra incendios: El volumen destinado a la protección contra incendios se determina con una duración de incendio de 2 horas. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q_{incendio} = \frac{3.86}{60} * \sqrt{\frac{P}{1000}} * (1 - 0.01 * \sqrt{\frac{P}{1000}})$$

Donde:

$Q_{incendio}$ = Caudal contra incendio requerido [m^3/s]

P = Población

$$Q_{incendio} = \frac{3.86}{60} * \sqrt{\frac{3781}{1000}} * \left(1 - 0.01 * \sqrt{\frac{3781}{1000}}\right) = 0.1226 \left[\frac{m^3}{s}\right] \text{ (Miraflores)}$$

$$Q_{incendio} = \frac{3.86}{60} * \sqrt{\frac{972}{1000}} * \left(1 - 0.01 * \sqrt{\frac{972}{1000}}\right) = 0.0628 \left[\frac{m^3}{s}\right] \text{ (San Luis)}$$

Entonces, el volumen de regulación según el criterio contra incendios será:

$$V_r = Q_{incendio} * t$$

$$V_r = 0.1226 * 7200 = 882.72 \text{ [m}^3\text{]} \text{ (Miraflores)}$$

$$V_r = 0.0628 * 7200 = 452.16 [m^3] \text{ (San Luis)}$$

9.1.5 Volumen de tanques

9.1.5.1 Tanque de almacenamiento: La normativa contempla que el tanque de almacenamiento en un sistema de complejidad Alto debe ser la cantidad mayor obtenida de los métodos de cálculo del volumen de regulación planteados, sin embargo, plantea que en caso de que el volumen calculado del tanque implique costos elevados de bombeo, el volumen puede ser menor al calculado, siempre y cuando se justifique mediante un análisis técnico-económico aplicado al periodo de diseño y que considere ampliaciones y/o extensiones futuras.

De este modo, se realiza la simulación en EPANET con los valores encontrados mediante el método sugerido por la RAS y se observa un comportamiento que cumple con los requerimientos del sistema.

$$V_{Tanque} = 39.642 [m^3] \text{ (San Luis)}$$

$$V_{Tanque} = 280.86 [m^3] \text{ (Miraflores – Lavado)}$$

9.1.5.2 Tanque de succión: El tanque de succión dispuesto para los sistemas de bombeo tendrá la responsabilidad de disponer el agua para tres sistemas de bombeo, por lo cual su volumen de almacenamiento es mucho mayor que el sugerido para cada uno de los sistemas. Para efectos de verificación, se plantea el volumen requerido por cada uno de los sistemas de bombeo.

$$V_{succión} = \frac{V_{Tanque}}{2} = 19.821 [m^3] \text{ (San Luis)}$$

$$V_{succión} = \frac{V_{Tanque}}{2} = 140.43 [m^3] \text{ (Miraflores)}$$

$$V_{succión} = 182 [m^3] \text{ (Lavado)}$$

10. ANÁLISIS ECONÓMICO

Es necesario plantear un análisis económico que permita llevar a cabo la optimización económica del diseño, evaluando los costos energéticos y la inversión inicial requerida para realizar una comparación con los valores recibidos por facturación del servicio.

10.1 INGRESOS

Actualmente el amb recibe la facturación por los 146 suscriptores en el sector de San Luis y los 697 suscriptores en el sector de Miraflores, que constan del servicio para viviendas de estrato 1 y 2. Conociendo el número de suscriptores por cada comunidad se calcula el volumen demandado durante el transcurso de un día:

$$Q_{requerido} = 314.57 \left[\frac{m^3}{día} \right] \text{ (Miraflores)}$$

$$Q_{requerido} = 44.4 \left[\frac{m^3}{día} \right] \text{ (San Luis)}$$

Teniendo en cuenta el consumo de cada comunidad, se aplica las tarifas impuestas por la empresa para los diferentes estratos y sus usos.

El Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P, en cumplimiento del artículo 125 de la ley 142 de 1994 y la Resolución CRA 403 de 2006, informa a sus suscriptores del servicio de acueducto de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Girón, las tarifas a aplicar A PARTIR DE LA FACTURACIÓN DEL MES DE ABRIL de 2016 (Consumos de FEBRERO de 2016).

El incremento por actualización tarifaria es del 3,97% (Valor acumulado del IPC desde el último incremento efectuado en Agosto de 2015). Se conservarán estos valores de las tarifas siempre y cuando no se produzca una variación mínima del 3% en el IPC nacional, tomando como base el IPS causado a partir del mes de Enero de 2016.

Tabla 31. Tarifas para el consumo de agua 2016

USO	ESTRATO 1			ESTRATO 2	ESTRATO 3		ESTRATO 4	ESTRATO 5	ESTRATO 6
	B/MANGA	FLORIDA	GIRON		B/MANGA	F/DA-GIRON			
SUBSIDIO/CONTRIBUCION	-50%	-45%	-40%	-30%	-10%	-5%	0%	50%	60%
CARGO FIJO (\$/mes)	4.072,91	4.480,20	4.887,49	5.702,07	7.331,23	7.738,52	8.145,81	12.218,72	13.033,30
CONSUMO BASICO (\$/mes)	776,96	854,65	932,35	1.087,74	1.398,52	1.476,21	1.553,91	2.330,87	2.486,26
C. COMPLEMENTARIO (\$/m ²)	1.553,91	1.553,91	1.553,91	1.553,91	1.553,91	1.553,91	1.553,91	2.330,87	2.486,26
C. SUNTUARIO (\$/m ²)	1.553,91	1.553,91	1.553,91	1.553,91	1.553,91	1.553,91	1.553,91	2.330,87	2.486,26

USO	COMERCIAL	INDUSTRIAL	OFICIAL	ESPECIAL	TEMPORAL		PILAS PUBLICAS	
					BGA-GIRON	FLORIDA	BGA-FDA	GIRON
SUBSIDIO/CONTRIBUCION	50%	30%	0%	0%	50%	60%	-70%	-50%
CARGO FIJO (\$/mes)	12.218,72	10.589,55	8.145,81	8.145,81	12.218,72	13.033,30	2.443,74	4.072,91
CONSUMO BASICO (\$/mes)	2.330,87	2.020,08	1.553,91	1.553,91	2.330,87	2.486,26	466,17	776,96

Fuente: amb

De la cual es posible calcular los valores facturados según el número de suscriptores:

Tabla 32. Facturación anual

Facturación	Miraflores	San Luis
Cargo fijo [\$/mes]	2'838.818,27	596.644,86
Consumo básico [\$/m]	7'332.249,22	1'034.910,72
Total mes	10'171.067,49	1'631.555,58
Total año	122'052.809,8	19'578.666,96

10.2 COSTOS

10.2.1 Costos totales. Para determinar los costos totales del nuevo sistema de bombeo proyectado a 30 años es necesario considerar un periodo de referencia de un año que permita tener en cuenta los costos de mantenimiento, costos energéticos, inversión inicial y los costos por depreciación.

$$C_{TOTAL} = C_{inversión\ inicial} + C_{energéticos} + C_{mantenimiento} + C_{depreciación}$$

10.2.2 Costos de inversión inicial. La instalación de una nueva estación de bombeo con todos los protocolos exigidos por la norma requiere la compra e instalación de una lista de elementos, los cuales, fueron cotizados según diversos proveedores. Esta lista sirve como una guía metodológica para el momento de la ejecución del proyecto, pues la variación de los precios puede alterar el costo del proyecto.

Tabla 33. Accesorios y elementos necesarios para proyección

Elemento	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Tubo acero 3"	4 [m]	47.985	191.940
Tubo acero 4"	54,5 [m]	54.720	2'982.240
Tubo acero 6"	34,2 [m]	89.365	3'056.283
Válvula de cierre 4"	3	812.092	2'436.276
Válvula de cierre 6"	3	952.478	2'857.434
Válvula de control 4"	2	7'800.596	15'601.192
Válvula de control 6"	2	8'253.258	16'506.516
Válvula antirretorno 4"	2	1'689.552	3'379.104
Válvula antirretorno 6"	2	1'985.298	3'970.596
Válvula ventosa 4"	3	489.987	1'469.961
Válvula ventosa 6"	3	512.369	1'537.107
Válvula anticipadora de onda 4"	1	8'450.000	8'450.000
Válvula anticipadora de onda 6"	1	9'130.900	9'130.900
Bomba-Motor (San Luis)	2	14'000.000	28'000.000
Bomba-Motor (Miraflores)	2	22'000.000	44'000.000
Montaje (4 trabajadores)	24 horas de trabajo	17.900	1'718.400
Instalación de tuberías	120 horas de trabajo	17.900	12'888.000
		TOTAL	158'175.949

Factor de recuperación de la inversión proyectada

$$F_r = \frac{(1+r)^T * r}{(1+r)^T - 1}$$

Donde:

r= Tasa de interés anual 15,36%

T= Tiempo en años

$$F_r = \frac{(1 + 0.1536)^{10} * 0.1536}{(1 + 0.1536)^{10} - 1}$$

$$F_r = 0.202$$

$$C_{inversion\ inicial\ anualizado} = C_{inicial} * F_r$$

$$C_{inversion\ inicial\ anualizado} = 31'951.541,7$$

10.2.3 Costos energéticos. El costo energético se genera principalmente por la potencia consumida en los sistemas de bombeo durante las horas de servicio.

$$E = Pot * t$$

Donde:

Pot= Potencia requerida por las bombas [kW]

t= Horas de bombeo diarias

$$E = 27.2 [kW] * 10 [h] = 272 [kWh] \text{ (Miraflores – Lavado)}$$

$$E = 2.7 [kW] * 11.5 [h] = 31.05 [kWh] \text{ (San Luis)}$$

Tabla 34. Tarifas de energía

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A. ESP.								
INFORMA A SUS USUARIOS DEL SISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA DE DEPARTAMENTO DE SANTANDER Y SUR DEL CESAR								
De acuerdo con las resoluciones 119/07, 097/08, 121/09 y 172/09 expedidas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG,								
que permiten establecer los costos de la prestación del servicio a usuarios regulados, las tarifas para el mes de Enero 2016								
TARIFAS RESIDENCIALES								
ESTRATO		1		2		3		4
PROPIEDAD ACTIVOS	NIVEL MEDIDA	% SUBSIDIO	TARIFA \$/kWh	% SUBSIDIO	TARIFA \$/kWh	% SUBSIDIO	TARIFA \$/kWh	TARIFA \$/kWh
ESSA	I	-59,23%	186,1572	-49,04%	232,6966	-15,00%	388,1036	456,5925
CLIENTE	I	-59,35%	168,2063	-49,19%	210,2578	-15,00%	351,7379	413,8093

Nota: El subsidio es aplicado hasta el consumo de subsistencia.

Fuente: Electrificadora de Santander

$$C_{energía} = E * costo \left[\frac{\$}{kW * h} \right]$$

$$C_{energía} = 272 [kWh] * 168,2063 \left[\frac{\$}{kW * h} \right] * 30 [días] * 12 [meses]$$

$$C_{energía} = 16'470.760 \text{ (Miraflores – Lavado)}$$

$$C_{energía} = 31.05 [kWh] * 168,2063 \left[\frac{\$}{kW * h} \right] * 30 [días] * 12 [meses]$$

$$C_{energía} = 1'880.210 \text{ (San Luis)}$$

10.2.4 Costos de mantenimiento. Los costos de mantenimiento no pueden predecirse, es por ello que es necesario asignar un porcentaje de la inversión inicial destinado a las labores que los sistemas de bombeo requieran.

$$C_{mantenimiento} = 3\% * C_{inicial}$$

$$C_{mantenimiento} = 4'745.278,47$$

10.2.5 Costos por depreciación. Los equipos al paso del tiempo pierden capacidades que impiden su óptimo funcionamiento, lo que implica una reducción en su costo que el comprador debe asumir, que depende de la vida útil del elemento a analizar.

$$C_{depreciación} = \frac{C_{inicial}}{Vida\ útil}$$

$$C_{depreciación} = \frac{72'000.000}{30} = 2'400.000$$

(Equipos de bombeo)

$$C_{depreciación} = \frac{71'569.549}{35} = 2'044.844$$

(Elementos en acero)

$$C_{depreciación} = 4'444.844$$

Habiendo determinado todos los valores de costos, es posible calcular el costo total anual:

$$C_{total\ anual} = 59'492.634,17$$

10.3 UTILIDAD

La utilidad es la diferencia que existe entre los ingresos y los costos totales en el desarrollo de un proyecto, de esta manera es posible determinar el tiempo necesario para pagar la inversión inicial.

$$Utilidad = Ingresos - Costos$$

$$Utilidad = 141'631.476,8 - 59'492.634,17 = 82'138.842,63$$

De esta manera se puede afirmar que la inversión inicial puede ser recuperada en un lapso de 4 años.

11. ASPECTOS COMPLEMENTARIOS

11.1 CORROSIÓN EN TUBERÍAS

Para las tuberías de succión e impulsión el material empleado es acero; por recomendación de la normativa RAS para diámetros menores a 300 [mm] se debe utilizar pinturas epóxicas como recubrimiento y protección.

11.2 NORMAS DE SEGURIDAD EN ESTACIONES DE BOMBEO

La Norma Técnica Colombiana NTC 1461 reglamenta el uso de elementos de seguridad en recintos con peligros potenciales y la señalización de cada una de las áreas de interés.

11.2.1 Señalización. La señalización dentro de la estación de bombeo debe seguir los siguientes parámetros y recomendaciones:

- Los sitios de riesgo permanente de colisión o caída como en el caso de las plataformas de soporte de los equipos de bombeo deben estar pintados con la combinación de los colores amarillo y negro.

Figura 64. Señal de precaución



- Para la manipulación de los elementos que componen la estación de bombeo y durante la estancia en ella debe hacerse uso de los elementos de protección personal EPP que consta de casco, botas de seguridad, protectores auditivos y guantes.

Figura 65. Elementos de protección personal



Fuente: NTC 1461

- Debido a la presencia de equipos eléctricos, es necesario especificar el riesgo de choque eléctrico presente en la estación.

Figura 66. Señal de riesgo eléctrico



Fuente: NTC 1461

- El recinto deberá contar con señalización de salidas de emergencia, las cuales se realizan con señales de dirección.

Figura 67. Señales de dirección



Fuente: NTC 1461

- Se debe instalar un botiquín de primeros auxilios señalizada.

Figura 68. Señal de primeros auxilios



Fuente: NTC 1461

11.2.2 Iluminación. La estación de bombeo debe estar iluminada por luz artificial en su interior.

12. MANTENIMIENTO

El instructivo de mantenimiento de las estaciones de bombeo debe incluir un programa rutinario de labores de inspección, mantenimiento y reparación, determinando una serie de actividades diarias, semanales, mensuales y anuales. Para todos los niveles de complejidad del sistema, la persona prestadora del servicio público de acueducto debe elaborar y mantener actualizado el manual de mantenimiento de las estaciones de bombeo en el que se debe incluir como mínimo lo establecido en los siguientes numerales.

12.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

12.1.1 Mantenimiento en pozo de succión. En el caso del pozo de succión, se debe hacer limpieza y verificación de filtraciones, por lo menos una vez cada seis meses en los niveles de complejidad medio alto y alto. Se debe tener cuidado en el mantenimiento tanto de los tanques alimentadores, como en las bombas, para evitar que ingresen agentes contaminantes al sistema.

12.1.2 Mantenimiento de los equipos de bombeo. En los equipos de bombeo se deben realizar las siguientes labores de mantenimiento preventivo:

- Como actividad diaria debe realizarse una inspección general a los equipos de bombeo, el tablero de control y los niveles del agua. De igual forma, debe prestarse especial atención a las condiciones de operación, tales como cantidad de ruido y vibración.

- Con una frecuencia de un mes como mínimo, debe realizarse limpieza de los equipos de bombeo, verificación de la calidad del aceite de los motores y de las instalaciones eléctricas.
- Con una frecuencia de una vez cada año, o menor, debe realizarse alineación de los motores de las bombas y verificación del estado de las protecciones eléctricas.

12.1.3 Mantenimiento en los accesorios. Para el caso de los accesorios que forman parte de la estación de bombeo, se requieren las siguientes labores de mantenimiento: en el caso de las válvulas, debe verificarse el estado, la apertura, el cierre de válvulas, etc. Al menos una vez cada mes. Debe verificarse el funcionamiento y operación de las válvulas de cheque por lo menos cada seis meses.

En todo caso, el mantenimiento de válvulas y accesorios debe realizarse teniendo en cuenta las normas técnicas respectivas.

12.1.4 Mantenimiento en los equipos eléctricos. A los equipos eléctricos que forman parte de la estación de bombeo, el mantenimiento debe realizarse de acuerdo con los manuales de mantenimiento elaborados por cada empresa, los cuales deben basarse en lo establecido en el código eléctrico colombiano (Norma Técnica Colombiana NTC 2050) y los manuales de operación y mantenimiento de los fabricantes de los equipos eléctricos.

12.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Deben tomarse las medidas correctivas necesarias en caso de encontrar anomalías en cualquiera de los elementos de la estación.

12.3 REGISTRO DE MANTENIMIENTOS

Siempre que las personas prestadoras del servicio hagan labores de mantenimiento en las estaciones de bombeo y en las tuberías de succión e impulsión, deben cumplirse los siguientes requisitos:

1. Es obligatorio anotar la fecha del daño, el tipo de daño ocurrido, la causa del daño, los repuestos utilizados y los procedimientos de reparación, cuando se trate de enfrentar una situación de emergencia.
2. En el caso de mantenimientos preventivos, tanto de las líneas de tuberías como del equipo electromecánico, es obligatorio anotar la fecha del mantenimiento, el tipo de mantenimiento, los repuestos utilizados y los procedimientos desarrollados durante las labores de mantenimiento.
3. Las personas prestadoras del servicio deber tener una base de datos con los registros históricos de los daños ocurridos en la estación de bombeo y las tuberías, así como de los mantenimientos preventivos que se hagan esta.

12.4 DISPONIBILIDAD DE REPUESTOS

En el nivel de complejidad alto debe existir disponibilidad y/o adquisición inmediata de todos los insumos necesarios para reparación y mantenimiento.

13. INSTALACIÓN DE BOMBAS

En este numeral se describen los pasos más importantes de la instalación de las bombas centrífugas, para conocer el procedimiento detallado se debe recurrir al manual de instalación del fabricante.

13.1 DESEMPAQUE DEL EQUIPO

Se deberá revisar el contenido de cada una de las cajas enviadas por el proveedor, para ver si ha ocurrido alguna pérdida o daño durante el embarque. En caso de alguna anomalía debe comunicarse inmediatamente al proveedor.

13.2 PLANEAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

La bomba deberá ser colocada de modo que la tubería de succión y descarga puedan ser usadas directamente evitando emplear curvas, codos o accesorios; es decir, debe ser instalada tan cerca como sea posible del suministro de agua. La caseta de bombeo debe garantizar suficiente espacio en la instalación para permitir cualquier inspección y mantenimiento de la bomba y del equipo auxiliar.

13.3 CIMENTACIÓN

La base de concreto deberá colocarse adecuadamente antes de montar el equipo. Su superficie deberá ser horizontal y plana. La unidad completa se alinea con un nivel de burbuja (en el eje/lado de descarga) cuando se instala en la base preparada. Debe considerarse la distancia entre las dos mitades del acoplamiento,

como se indica en el manual de instrucciones de instalación, suministrado por el fabricante.

13.4 ALINEACIÓN DE LA BOMBA Y MOTOR

Cuando la plataforma de base está en una posición firme, el acoplamiento tiene que verificarse cuidadosamente y, en caso necesario, la bomba debe alinearse nuevamente con la máquina generadora de energía.

Es necesario revisar siempre el acoplamiento y realineamiento, aun cuando la bomba y el motor hayan sido instalados y acoplados en una plataforma de base común.

Una bomba está bien alineada cuando se coloca una regla axialmente sobre ambas mitades del acoplamiento y quedan equidistante de cada eje, a la vez que se mantiene en posición correcta.

14. CONCLUSIONES

- Con el desarrollo de este proyecto se afianza la relación entre la Universidad Industrial de Santander y Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A E.S.P logrando beneficios mutuos en el desarrollo de propuestas que aportan a la calidad de vida de las comunidades y el mejoramiento de la calidad del servicio prestado por la empresa.
- La aplicación del software EPANET fue de vital importancia en el desarrollo del proyecto ya que facilitó la etapa de diseño y simulación de las alternativas generadas para dar solución a los problemas de la planta, reflejados en los comportamientos hidráulicos y el comportamiento de los niveles de los tanques.
- A partir de la ayuda prestada por la Gerencia de Planeación se generan los planos topográficos de la planta de tratamiento de 'La Flora'.
- Se realizó la selección de la alternativa que mejor se ajustaba a las necesidades de la planta, consiguiendo reducir el número de sistemas de bombeo y generando ahorros significativos de energía e inversión en equipos.
- Con la alternativa seleccionada se cumplen los requisitos de presión y caudal requeridos en los tres sistemas de bombeo. Además, del suministro de agua para las comunidades adscritas por un periodo de 30 años.
- Siguiendo las condiciones de la normativa RAS se indicaron las condiciones necesarias para mantener los sistemas de bombeo en óptimas condiciones de operación, sugiriendo protocolos de mantenimiento y construcción para una buena ejecución del proyecto.
- Con la ejecución del proyecto se generarán mejoras operacionales correspondientes a tiempos menores de espera en disposición de tanques para operaciones de mantenimiento preventivo de filtros, así como una mejora en la presión de descarga en la tubería de Lavado, con la que se obtendrán mejores condiciones en la potabilización del agua para el servicio de los usuarios.

15. RECOMENDACIONES

- Es necesario que desde la Gerencia de Operaciones y la Jefatura de Planta de 'La Flora' se programe una jornada de capacitación para la unificación del proceso de lavado de filtros que enfatice en el tiempo necesario que según el diseño ha sido programado en 10-15 minutos según la necesidad del filtro. Además, es recomendable buscar una alternativa para reemplazar las válvulas de compuerta utilizadas en el proceso, con el fin que generen una mayor confianza y menor intervención del operario en el proceso.
- Para el sistema de bombeo de San Luis, es recomendable considerar la ampliación del tanque de almacenamiento con el fin de garantizar un mejor volumen de regulación y reducir el uso de la bomba, que generará ahorros energéticos y de mantenimiento a futuro.
- Se resalta también, la importancia de seguir generando proyectos en conjunto con empresas del sector productivo del país, que busquen el desarrollo integral del estudiante.

BIBLIOGRAFÍA

BENÍTEZ PRADA, Jorge. MÉNDEZ HERNÁNDEZ, Julet. MOSQUERA FORERO, Omar. Rediseño y optimización operacional del sistema de bombeo del suministro de agua potable del sector El Pablón para el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. 2014.

COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, Ciudad y Territorio, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Título B. Bogotá D.C.,: El Ministerio, 2010.

CRANE, John. Apéndice A. Propiedades físicas de algunos fluidos y características del flujo en válvulas, accesorios y tuberías. En: Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías. Traducido por VALFISA S.A. México, Mc. Graw Hill, 1987. P. 168-175.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS DANE. Boletín, Censo General 2005. Bogotá D.C, 2010.

LEWIS A, Rossman. EPANET 2.0 Users Manual. Traducido por Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, 2002.

ANEXOS

NOTA

**LOS ANEXOS DE ESTE PROYECTO PUEDEN SER CONSULTADOS EN LA
BIBLIOTECA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER-SALA
BASE DE DATOS**