

**OPTIMIZACIÓN OPERACIONAL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN
DE AGUA POTABLE EN LOS DISTRITOS BUENOS AIRES Y
MIRAFLORES**

**NINY JHOANNA BERMÚDEZ ALFONSO
ÓSCAR IVÁN CHAPARRO APARICIO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

**OPTIMIZACIÓN OPERACIONAL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN
DE AGUA POTABLE EN LOS DISTRITOS BUENOS AIRES Y
MIRAFLORES**

**NINY JHOANNA BERMÚDEZ ALFONSO
ÓSCAR IVÁN CHAPARRO APARICIO**

**Trabajo de grado en la modalidad investigación para optar por título de
Ingeniero Civil.**

**Director
ANDRÉS ALMEYDA ORTIZ
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación fue resultado del esfuerzo y disciplina dedicado a todas las personas que mediante su apoyo lo hicieron posible:

A Dios, por iluminar mi camino y permitirme llegar hasta aquí a pesar de mis momentos de carencia de fé, por estar siempre conmigo en todo momento concediéndome la sabiduría y la fuerza para seguir adelante.

A mi madre Floralba, por brindarme su apoyo incondicional y tener siempre fé en mí, por sus enseñanzas para luchar contra las dificultades de la vida, sus bendiciones y sacrificios para brindarme todo lo necesario en mi proceso de formación educativa.

A mi padre Darío, por sus esfuerzos, por darme todo lo necesario para desarrollar mis estudios, por regalarme las enseñanzas y ejemplo que me permitieron ser la persona que soy.

A mi hermano Rubén, por permitirme ser ejemplo de guía en su camino para que tenga una vida llena de éxitos.

A mi pareja, por ser motivo de apoyo y guía, por brindarme toda su comprensión y cariño en los momentos más difíciles.

A todos los familiares y amigos quienes con su ayuda, estímulo y acompañamiento hicieron posible la culminación de este proceso.

Niny Jhoanna Bermúdez Alfonso

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación fue resultado del esfuerzo y disciplina dedicado a todas las personas que mediante su apoyo lo hicieron posible:

Primero que todo le doy muchas gracias a Dios quien me ha iluminado en toda la trayectoria de mi carrera, concediéndome la sabiduría, fuerza para salir y seguir adelante.

A mi querida madre Luz Minta, quien siempre ha tenido fé en mí, por brindarme su apoyo día tras día, quien a pesar de las dificultades nunca me abandono y estuvo conmigo en las buenas y en las malas enseñándome a luchar contra las adversidades.

A mi padre Luis Eduardo, por ser ese hombre ejemplar quien dedico muchos esfuerzos y sacrificios en pro de mi bienestar, darme sus enseñanzas y estar siempre conmigo.

A mis hermanos, a pesar de ser menores siempre me acompañan y están en todo momento conmigo brindándome su apoyo.

A las personas que me acompañaron en los transcurso de mi carrera, amigos y conocidos.

Óscar Iván Chaparro Aparicio

AGRADECIMIENTOS

Nuestro sincero agradecimiento a la gente de la zona estudiada y al Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (amb) por la información brindada necesaria para llevar a cabo este trabajo de investigación.

Al ingeniero Andrés Almeyda Ortiz, director del proyecto, por su disposición y apoyo durante el desarrollo del proyecto de investigación.

Al ingeniero Luis Fernando Castañeda por su orientación, confianza y apoyo en este proceso de aprendizaje.

A nuestros docentes que tuvieron disposición para brindarnos sus conocimientos y guiarnos en este proceso durante toda la carrera.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. METODOLOGÍA	18
2. LOCALIZACIÓN GENERAL.....	19
3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL	21
3.1 FUENTE DE ABASTECIMIENTO	21
3.2 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO.....	22
3.3 RED DE DISTRIBUCIÓN	23
3.4 FORMAS DE DISTRIBUCIÓN	24
3.4.1 Sistema de impulsión.....	24
3.4.2 Conducción por gravedad.....	26
3.5 OPERACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA.....	27
4. PARÁMETROS DE DISEÑO	28
4.1 NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA.....	28
4.2 PERIODO DE DISEÑO.....	29
4.3 POBLACIÓN ACTUAL	29
4.4 POBLACIÓN FUTURA	29
4.5 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD ABSOLUTA	31
4.6 DOTACIÓN NETA	31
4.7 DOTACIÓN BRUTA.....	33
4.8 DEMANDA ACTUAL Y PROYECTADA.....	34
4.8.1 Caudal medio diario.	36
4.8.2 Caudal máximo diario.	36
4.8.3 Caudal máximo horario.	36

5. MODELACIÓN HIDRÁULICA	38
5.1 CURVA DE MODULACIÓN DE LA DEMANDA	38
6. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA	40
6.1 ANÁLISIS SISTEMA DE BOMBEO	41
6.1.1 Sistema de bombeo Buenos Aires.....	41
6.1.2 Sistema de bombeo Miraflores.	42
6.2 ANÁLISIS SISTEMA DE ALMACENAMIENTO.....	45
6.2.1 Sistema de almacenamiento Buenos Aires.....	45
6.2.2 Sistema de almacenamiento Miraflores.	45
6.3 ANÁLISIS RED DE DISTRIBUCIÓN.....	45
6.3.1 Análisis de presiones.	45
6.3.1.1 Presiones mínimas en la red.....	46
6.3.1.2 Presiones máximas en la red.....	47
6.3.2 Análisis de Velocidades.	47
6.3.2.1 Velocidades mínimas en la red.	48
6.3.2.2 Velocidades máximas en la red.	49
7. DISEÑO DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA.....	52
7.1 DISEÑO SISTEMA DE ALMACENAMIENTO.....	52
7.1.1 Volumen calculado del tanque.	53
7.1.2 Capacidad de demanda contra incendio.....	55
7.1.3 Capacidad de regulación.	55
7.1.4 Diseño del tanque de distribución.	56
7.1.5 Sistemas de rebose y desagüe.....	61
7.2 DISEÑO SISTEMA DE BOMBEO.....	63
7.2.1 Diámetro de impulsión (D.imp).....	64
7.2.2 Diámetro de succión (D.succ).....	65
7.2.3 Pérdidas de carga total.	65
7.2.4 Pérdidas por fricción en el sistema.	66

7.2.5 Cabeza de velocidad.	67
7.2.6 Altura dinámica total.	67
7.2.7 Potencia hidráulica.....	67
7.2.8 Potencia al freno.	68
7.2.9 Potencia requerida.	68
7.2.10 Selección de la bomba.....	68
7.2.11 Altura neta de succión positiva disponible.	70
7.3 DISEÑO RED DE DISTRIBUCIÓN	70
7.3.1 Válvulas sostenedoras.....	71
7.3.2 Válvulas reductoras.	73
7.3.3 Hidrantes.....	76
7.3.4 Ventosas.....	78
7.3.5 Remoción de biopelículas.	79
7.3.6 Golpe de Ariete.	80
8. ALTERNATIVA DE OPTIMIZACIÓN.....	81
9. CONCLUSIONES	82
BIBLIOGRAFÍA.....	85

LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Sistema de almacenamiento actual de Buenos Aires y Miraflores.....	23
Tabla 2.	Características RDAP del sistema actual.	24
Tabla 3.	Sistema de Bombeo actual.	25
Tabla 4.	Asignación del periodo de diseño.	29
Tabla 5.	Proyección de la población en Bucaramanga.....	30
Tabla 6.	Valores de Rugosidad absoluta - Darcy Weisbach.....	31
Tabla 7.	Porcentajes de consumo por estrato y uso de suelo para los distritos Buenos Aires y Miraflores.	32
Tabla 8.	Dotación neta - Habitante según el nivel de complejidad del sistema.	32
Tabla 9.	Parámetros de diseño calculados.	33
Tabla 10.	Valores para la demanda actual y proyectada.	37
Tabla 11.	Condiciones hidráulicas generales del modelo.	38
Tabla 12.	Variación del volumen -Tanque de distribución Buenos Aires actual..	43
Tabla 13.	Variación del volumen -Tanque de distribución Miraflores actual.	44
Tabla 14.	Zonas y puntos de falla por presiones y velocidades en la RDAP.	49
Tabla 15.	Velocidades máximas en la red de distribución según material de las tuberías.....	50
Tabla 16.	Diagnóstico general del sistema actual.....	50
Tabla 17.	Variación del volumen -Tanque de distribución Buenos Aires proyectado.	53
Tabla 18.	Variación del volumen - Tanque de distribución Miraflores proyectado.	54
Tabla 19.	Valores para volumen -Tanque de distribución.....	56
Tabla 20.	Variación del volumen requerido - Tanque de distribución Buenos Aires proyectado.	57
Tabla 21.	Variación del volumen requerido - Tanque de distribución Miraflores proyectado.	57

Tabla 22.	Valores para cálculo de la tubería de desagüe.....	63
Tabla 23.	Verificación diámetro de impulsión.	64
Tabla 24.	Verificación diámetro de succión.	65
Tabla 25.	Valores del coeficiente de Hazen según material de tubería.	65
Tabla 26.	Valores de la longitud equivalente de pérdidas por accesorios en la impulsión y succión Buenos Aires.....	66
Tabla 27.	Valores de la longitud equivalente de pérdidas por accesorios en la impulsión y succión Miraflores.	66
Tabla 28.	Valores para cálculo de altura dinámica total.	67
Tabla 29.	Valores para definir la curva de la bomba.....	68
Tabla 30.	Presiones aguas abajo y aguas arriba – válvula sostenedora.	72
Tabla 31.	Capacidad de las válvulas.	74
Tabla 32.	Presiones aguas abajo y aguas arriba – válvula reductora.....	75
Tabla 33.	Ubicación de hidrantes en la RDAP.....	77
Tabla 34.	Ubicación de ventosas en la RDAP.	79
Tabla 35.	Propuesta de optimización para el sistema.	81

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de flujo. Metodología general para la investigación.....	19
Figura 2. Localización general del proyecto.....	20
Figura 3. RDAP actual Buenos Aires y Miraflores.....	21
Figura 4. Ubicación sistema de almacenamiento. Tanques de distribución Buenos Aires y Miraflores.	22
Figura 5. Ubicación sistema de Bombeo y tanques de succión Buenos Aires y Miraflores.	25
Figura 6. Formas de distribución en el sistema actual.	26
Figura 7. Operación del sistema de distribución actual.....	27
Figura 8. Tendencia de crecimiento poblacional – Bucaramanga.....	30
Figura 9. Consumo de agua por estrato y uso.	32
Figura 10. Sectores de abastecimiento - Sistema actual.	35
Figura 11. Curva de modulación.	39
Figura 12. Variación de la presión y la velocidad en el sistema actual de los distritos Buenos Aires y Miraflores.....	40
Figura 13. Variación del volumen - Tanque de distribución Buenos Aires actual.....	42
Figura 14. Variación del volumen - Tanque de distribución Miraflores actual.	44
Figura 15. Zonas y puntos de falla por bajas presiones.....	46
Figura 16. Zonas y puntos de falla por altas presiones.....	47
Figura 17. Zona y puntos de falla por bajas velocidades.	48
Figura 18. Diseño Tanque de distribución Buenos Aires.	58
Figura 19. Variación del volumen del tanque de distribución Buenos proyectado.	59
Figura 20. Diseño Tanque de distribución Miraflores.....	59
Figura 21. Variación del volumen del tanque de distribución Miraflores proyectado.	60

Figura 22. Verificación tirante hidráulico para tubería de rebose en el tanque de distribución Buenos Aires.	61
Figura 23. Verificación tirante hidráulico para tubería de rebose en el tanque de distribución Miraflores.	62
Figura 24. Curva característica - Bomba diseñada para el distrito Buenos Aires.	69
Figura 25. Curva característica - Bomba diseñada para el distrito Miraflores.	69
Figura 26. Sectorización hidráulica con válvula sostenedora en la red de distribución Miraflores.	71
Figura 27. Tramos para la reposición de tubería.	73
Figura 28. Zona de sectorización. Válvula reductora.	74
Figura 29. Presiones aguas abajo – válvula reductora.	75
Figura 30. Ubicación de hidrantes en la RDAP.	77
Figura 31. Ubicación de ventosas en la RDAP.	78

RESUMEN

TÍTULO: OPTIMIZACIÓN OPERACIONAL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN LOS DISTRITOS BUENOS AIRES Y MIRAFLORES*.

AUTORES: NINY JHOANNA BERMÚDEZ ALFONSO
OSCAR IVAN CHAPARRO APARICIO**

PALABRAS CLAVES: Sistema de distribución, suministro de agua potable, modelación en software (EPANET), funcionamiento hidráulico, diagnóstico de problemas, rediseño y optimización operacional.

DESCRIPCIÓN:

En este proyecto de investigación se presenta el análisis del sistema de distribución, responsable del suministro de agua potable en los distritos Buenos Aires y Miraflores, de la ciudad de Bucaramanga; con el fin de generar su optimización operacional, asumiendo la infraestructura física e hidráulica existente y los criterios de diseño de la norma RAS 2000 Título B actualización 2012 y del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (amb S.A ESP).

Su estudio se centra en recolectar la mayor información posible sobre sistema, para conocer su comportamiento hidráulico actual mediante el uso un modelo de simulación en el software EPANET, a través del cual se hace un chequeo del sistema para generar el diagnóstico de los problemas presentados en la red de distribución, con el fin de establecer las condiciones físicas e hidráulicas actuales del sistema y elaborar su rediseño con base a los criterios de diseño para redes de acueducto.

Finalmente, se obtiene como resultado una propuesta de optimización para el sistema de distribución evaluado, el cual garantice las condiciones óptimas en la prestación del servicio de agua potable a la comunidad, para considerarse como un sistema redundante pese a la existencia de La Malaña, proyecto que actualmente opera en este sector del Área Metropolitana de Bucaramanga.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico- Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Andrés Almeyda Ortiz.

ABSTRACT

TITLE: OPERATIONAL OPTIMIZATION OF THE DRINKING WATER DISTRIBUTION SYSTEM IN THE DISTRICTS OF BUENOS AIRES AND MIRAFLORES*.

AUTHORS: NINY JHOANNA BERMÚDEZ ALFONSO
OSCAR IVAN CHAPARRO APARICIO**

KEYWORDS: Distribution system, drinking water supply, simulation, EPANET software, hydraulic working, problems diagnostic, redesign and operational optimization.

DESCRIPTION:

This research project presents the analysis on the distribution system, responsible for supplying drinking water into Buenos Aires and Miraflores districts, of the city Bucaramanga. In order to generate its operational optimization, by taking into account the existing physical and hydraulic infrastructure and the criteria of norm RAS 2000 Title B, actualization 2012 and of the Metropolitan Bucaramanga Aqueduct (amb S.A.ESP).

His study focuses on collect as much information as possible about system, to meet hydraulic behavior by using a simulation model in the EPANET software, through which a system check is done, for to generate the diagnosis of the problems present in the distribution network, with the purpose of establish the current physical and hydraulic conditions of the system and develop its redesign based on the design criteria for aqueducts networks.

Finally is obtained as result, an optimization proposal for the drinking water distribution system evaluated, which ensures optimal conditions of the provision of potable water to the community, to be considered as a redundant system, due to the existence of La Malaña, whose project currently it is operating in this sector the Metropolitan Area of Bucaramanga.

* Bachelor Thesis.

** Faculty of physical - mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director Andrés Almeyda Ortiz.

INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de un sistema de distribución de agua potable, se hace referencia a una serie de obras de ingeniería que conducen el agua desde la fuente de abastecimiento hasta los consumidores. Hoy en día, las poblaciones van en aumento generando mayores demandas de agua y reducción de los recursos; por ello, estos sistemas de distribución son más cruciales que antes y se hace indispensable su optimización.

Actualmente, el amb S.A ESP, responsable del abastecimiento de agua potable en la ciudad de Bucaramanga, maneja un proyecto denominado La Malaña, conformado por un sistema de impulsión entre la Planta La Flora y el Tanque La Malaña. Con este proyecto solucionó los inconvenientes presentados en el Sector Oriental, Comuna 14, y mejoró la prestación de servicio de agua potable en los Barrios Buenos Aires y Miraflores del Municipio de Bucaramanga, mediante un sistema de impulsión de carácter institucional que permitió suspender los bombeos internos de dichos barrios administrados en el pasado por la comunidad [1].

Sin embargo, el objetivo de esta investigación radica en plantear una alternativa de optimización que mejore las condiciones operativas del sistema de distribución de agua potable actual de Buenos Aires y Miraflores, de tal manera que opere como un sistema redundante en situaciones de suspensión del servicio de suministro de agua potable en “La Malaña”. Siendo parte fundamental en este proceso, la proyección del sistema para un periodo de diseño (según los criterios de la norma RAS 2000, actualización 2012) y la minimización de los recursos de infraestructura nueva, para el aprovechamiento de la existente.

1. METODOLOGÍA

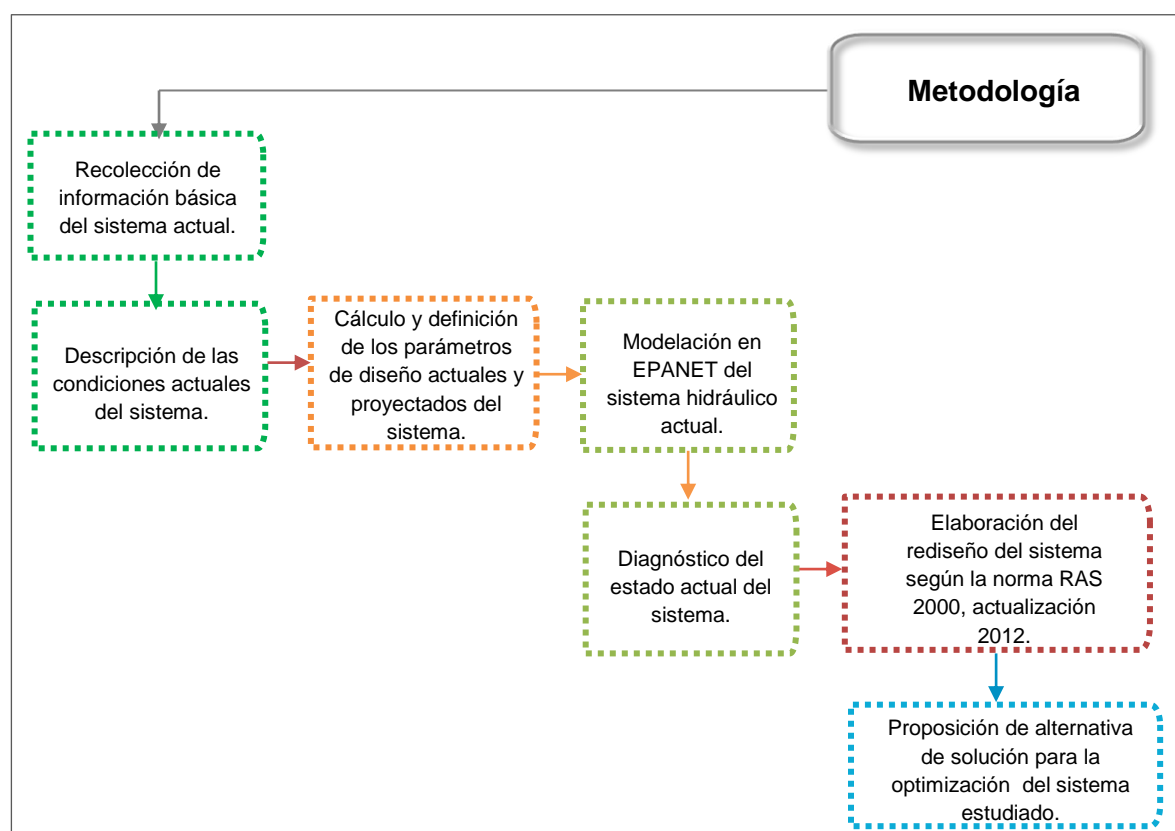
Para realizar la modelación hidráulica del sistema Buenos Aires y Miraflores, inicialmente se realiza la recolección de información básica de la RDAP “Red de Distribución de Agua Potable” a evaluar, (cuya información fue suministrada por el amb), de los datos de catastro de redes, consumos, suscriptores de la red y la ubicación topográfica de los diferentes elementos de control que afectan la operación del sistema, los cuales, se incluyen en el modelo de EPANET para su respectiva evaluación.

En este software se efectúa un seguimiento de los caudales en las tuberías, las presiones en los nodos y los niveles en los depósitos a lo largo del periodo de simulación en múltiples intervalos de tiempo empleando el Algoritmo del Gradiente Hidráulico [2]. De esta manera, se observa el comportamiento hidráulico del sistema de distribución actual, con el fin de generar el diagnóstico del mismo y rediseñar un modelo hidráulico de acuerdo a los parámetros de diseño de la norma RAS 2000, actualización 2012. El producto final, será el de generar una propuesta de optimización para el sistema, que garantice las condiciones de eficiencia en la prestación del servicio de agua potable de los distritos Buenos Aires y Miraflores. (Ver Figura 1).

2. LOCALIZACIÓN GENERAL

Los distritos Buenos Aires y Miraflores se localizan en la parte oriental de la ciudad de Bucaramanga sobre la vía que conduce a Cúcuta, en un sector que se compone en su gran mayoría de zonas montañosas; poseen un clima templado pese a que la temperatura media es 23°C^2 y su estrato social se encuentra entre los niveles 1, 2 y 3 (Figura 2).

Figura 1. Diagrama de flujo. Metodología general para la investigación.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

² Área Metropolitana de Bucaramanga. Datos Generales. Disponible en: <http://www.bucaramanga.gov.co/Contenido.aspx?Param=10>

Figura 2. Localización general del proyecto.

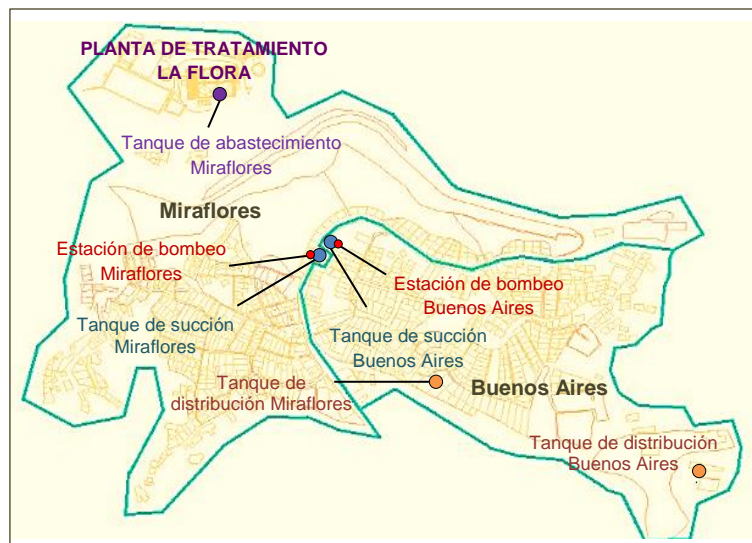


Fuente: Elaboración propia [Autores].

3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL

El sistema actual se compone de infraestructura que va, desde la fuente de abastecimiento (Planta de Tratamiento de agua potable La Flora) hasta los diferentes puntos de la red de los distritos Buenos Aires y Miraflores (ver Figura 3).

Figura 3. RDAP actual Buenos Aires y Miraflores.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

3.1 FUENTE DE ABASTECIMIENTO

Se compone por la planta de tratamiento La Flora, localizada en la parte alta Oriental de Bucaramanga en la zona de Morrórico, a la altura del kilómetro dos sobre la margen izquierda de la carretera que conduce a Cúcuta. Se encuentra entre las cotas 1170 y 1195 msnm y está destinada a tratar aguas provenientes de las fuentes del río Tona, para abastecer principalmente al sector oriental [3].

3.3 RED DE DISTRIBUCIÓN

Compuesta en su mayoría por tuberías en PVC y unas pocas en hierro galvanizado, además, incluye accesorios tales como codos y tees, según información del amb S.A ESP y luego de visitas de campo (ver Tabla 2).

Tabla 1. Sistema de almacenamiento actual de Buenos Aires y Miraflores.

TANQUE DE ABASTECIMIENTO MIRAFLORES		
Lugar de alimentación	PTAP La Flora	
Cota de elevación (<i>msnm</i>)	1190	
Material	Concreto Armado	
Lugar a que distribuye	Sector bajo del distrito de Miraflores	Tanques de succión Buenos Aires y Miraflores
TANQUES DE SUCCIÓN		
Característica	Buenos Aires	Miraflores
Cota de elevación (<i>msnm</i>)	1172	1175
Dimensiones (<i>m</i>)	5x2x3	5x2.2x3
Volumen del tanque (<i>m³</i>)	30	33
Volumen de almacenamiento (<i>m³</i>)	27	30
Área (<i>m²</i>)	15	15
Lugar a que distribuye	Tanque de distribución Buenos Aires	Tanque de distribución Miraflores
Lugar de alimentación	Tanque Miraflores	
Material	Concreto Armado	
TANQUES DE DISTRIBUCIÓN		
Característica	Buenos Aires	Miraflores
Cota de elevación (<i>msnm</i>)	1280	1228
Dimensiones (<i>m</i>)	5.5x3x4	5x3x4
Volumen del tanque (<i>m³</i>)	66	60
Volumen de almacenamiento (<i>m³</i>)	61.6	56
Área (<i>m²</i>)	22	20
Lugar a que distribuye	Red de Distribución Buenos Aires	Red de Distribución Miraflores
Lugar de alimentación	Tanque de Succión Buenos Aires	Tanque de Succión Miraflores
Material	Concreto Armado	

Fuente: amb S.A ESP. Elaboración propia [Autores].

Tabla 2. Características RDAP del sistema actual.

Características	Descripción
Material de las tuberías	PVC, HG
Número de tuberías	490
Diámetros comerciales de las tuberías (in)	1", 1.5", 2", 3", 4".
Longitud total de la Red (m)	5181.74

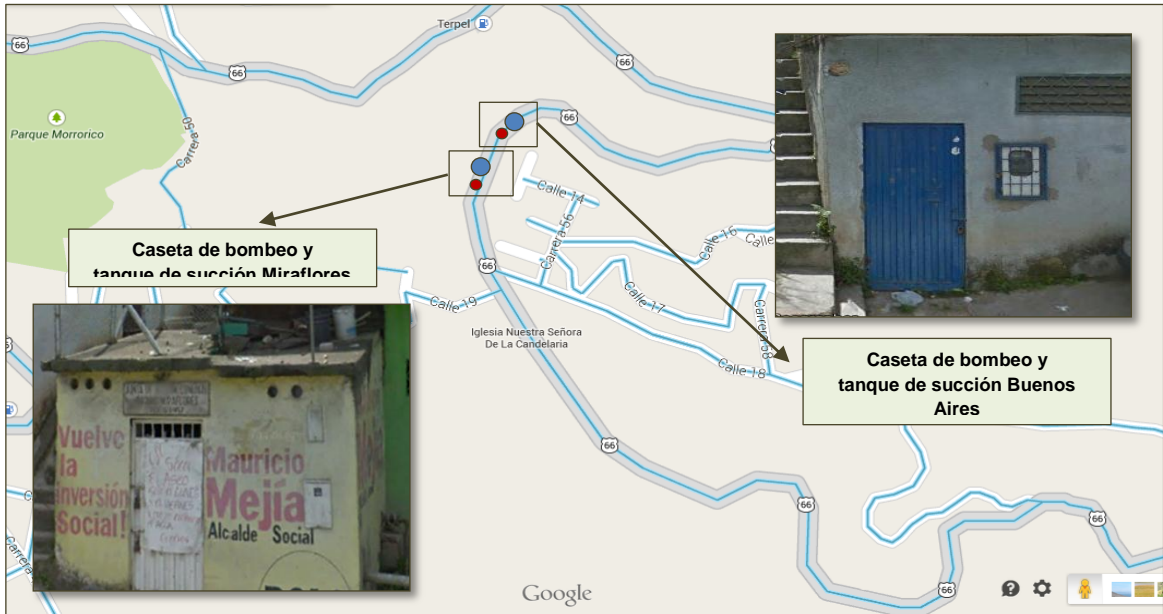
Fuente: EPANET. Elaboración propia [Autores].

3.4 FORMAS DE DISTRIBUCIÓN

La provisión del agua potable en el sistema actual de los distritos Buenos Aires y Miraflores trabaja con tuberías a presión, las cuales, debido a las condiciones de altitud en el área del proyecto, permiten el transporte del líquido de dos maneras: una por sistema de impulsión mediante bombeo y otra a través de la conducción por gravedad.

3.4.1 Sistema de impulsión. El sistema de bombeo "SB" actual trabaja mediante succión negativa y opera desde los tanques de succión (Tanque de succión Miraflores y Tanque de succión Buenos Aires), para impulsar el agua potable hasta los tanques de distribución respectivos (Tanque de distribución Miraflores y Tanque de distribución Buenos Aires).

Figura 5. Ubicación sistema de Bombeo y tanques de succión Buenos Aires y Miraflores.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

El SB actual consta de cuatro bombas (figura 5), 2 por distrito, con características similares, almacenadas en estaciones de bombeo que se ubican sobre la vía a Cúcuta. Las bombas son marca Hidromac, trabajan 18 horas en paralelo alternando su funcionamiento y suministran un caudal de 15.31 y 3.6 l/s con una potencia de 30 y 5 Hp respectivamente. Ver características Tabla 3.

Tabla 3. Sistema de Bombeo actual.

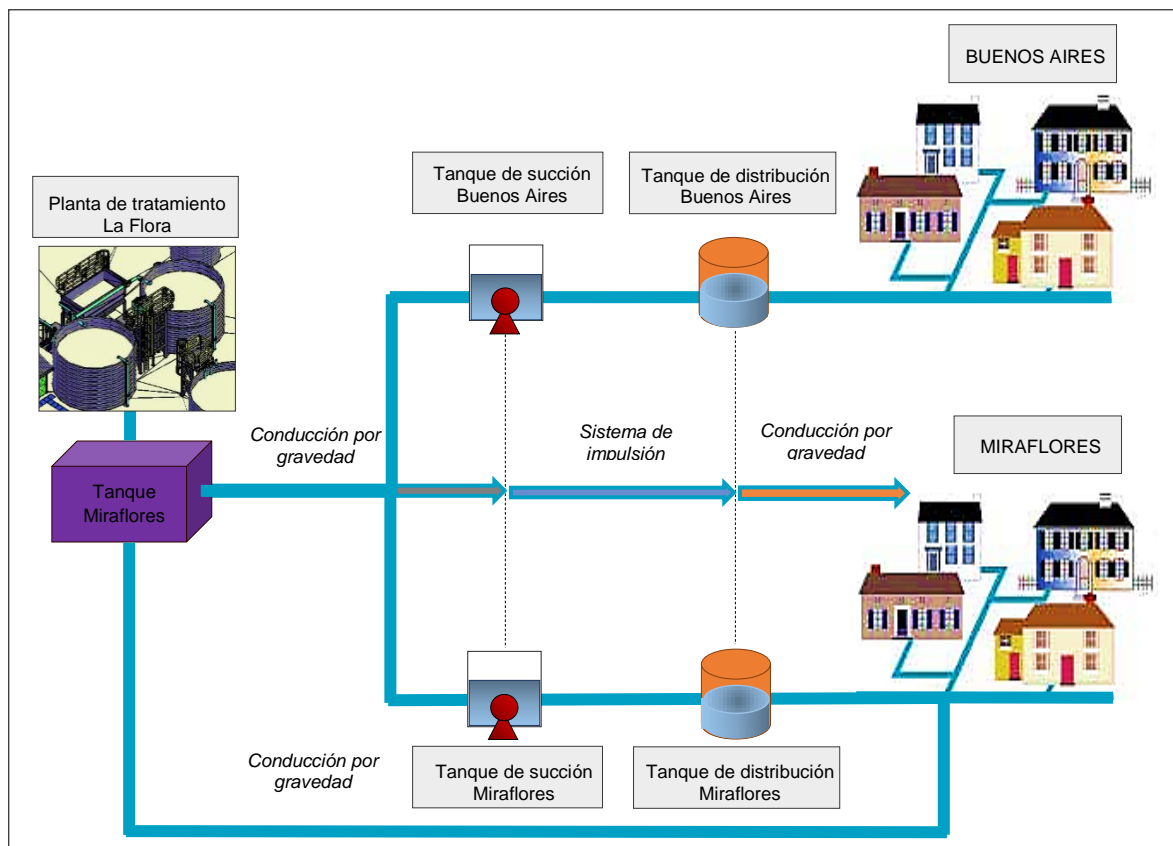
Característica	Buenos Aires	Miraflores
Ubicación	Carrera 55 n° 14-73	Carrera 55 n° 14-99
Cota de elevación (msnm)	1172	1175
IMPULSIÓN		
Material tubería impulsión	PVC	Hierro galvanizado
Diámetro de impulsión (in)	4"	4"
Longitud tub. Impulsión (m)	660.78	291.98
SUCCIÓN		
Material tubería succión	Hierro galvanizado	Hierro galvanizado
Diámetro de succión (in)	6"	6"
Longitud tub. Succión (m)	3.5	4.6

Fuente: amb S.A ESP. Elaboración propia [Autores].

3.4.2 Conducción por gravedad. En este sistema se emplea la conducción por gravedad para transportar el agua potable desde el Tanque Miraflores, hasta los tanques de succión respectivos y un sector bajo de la red Miraflores, el cual llamamos “Miraflores Bajo”.

Por otro lado, se emplea esta forma de conducción desde los dos tanques de distribución, hasta la red de Buenos Aires y el sector restante de la red Miraflores, como se muestra en la figura 6.

Figura 6. Formas de distribución en el sistema actual.



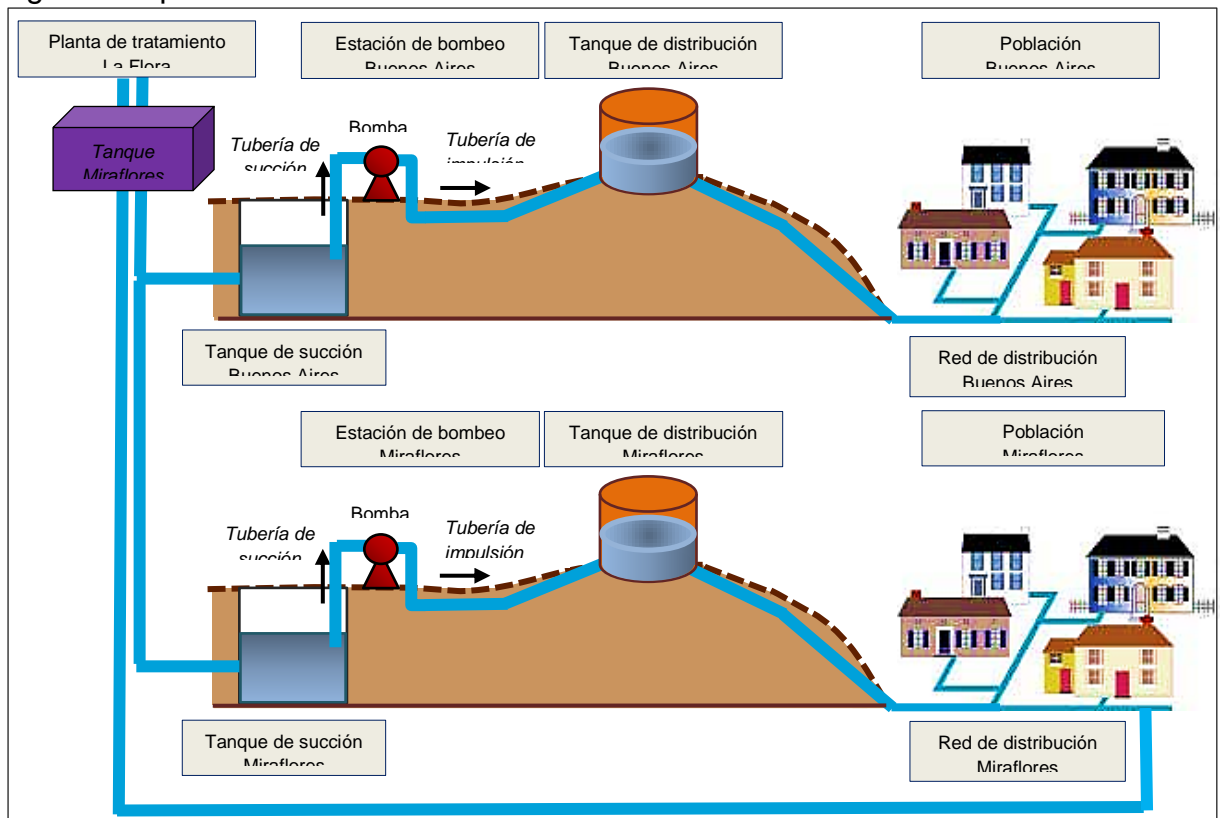
Fuente: Elaboración propia [Autores].

3.5 OPERACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA

La operación del sistema, antes de la puesta en marcha del proyecto La Malaña; inicia desde el Tanque Miraflores ubicado en la PTAP La Flora, proporcionando el agua mediante conducción por gravedad hasta Miraflores Bajo y los tanques de succión Buenos Aires y Miraflores (ver Figura 7).

Posterior a esto, se impulsa el agua por medio de un sistema de bombeo, desde los tanques de succión de cada distrito hasta los tanques de distribución respectivos, para luego conducirla por gravedad hasta los diferentes puntos de la red.

Figura 7. Operación del sistema de distribución actual.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

4. PARÁMETROS DE DISEÑO

Con el fin de realizar la modelación hidráulica del sistema actual, se deben asignar y calcular primero los parámetros de diseño actuales y proyectados como: el nivel de complejidad, el periodo de diseño, la población actual y futura, el coeficiente de rugosidad absoluta, la dotación neta, las pérdidas de agua en el sistema, la dotación bruta y la demanda de agua potable actual y proyectada. A continuación la asignación y cálculo de cada uno de estos parámetros:

4.1 NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA

La asignación del nivel de complejidad del sistema depende del valor de la población total para el municipio de Bucaramanga, definida en el último censo realizado por el DANE (año 2005) y según la tabla A.3.1 de la norma RAS 2000 Resolución 2320 (MAVDT) para la asignación del nivel de Complejidad del sistema (ver Tabla 4).

Tabla 4. Asignación del nivel de complejidad.

Nivel de complejidad	Población de la zona urbana (Hab.)	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	0-2500	Baja
Medio	2501-12500	Baja
Medio Alto	12501-60000	Media
Alto	>60000	Alta

Fuente: Tabla A.3.1. RAS 2000, Resolución 2320 (MAVDT).

Siendo 528269 el número de habitantes actual para la ciudad de Bucaramanga (Tabla 6), se determina que el nivel de complejidad del sistema es ALTO.

4.2 PERIODO DE DISEÑO

Según la tabla No 10 de la resolución 2320 del 2009 (MAVDT) (ver Tabla 5), se adopta que el periodo de diseño máximo establecido para este sistema, de acuerdo al nivel de complejidad es de 30 años.

Tabla 4. Asignación del periodo de diseño.

Nivel de complejidad del sistema	Período de diseño máximo
Bajo, Medio y Medio alto	25 años
Alto	30 años

Fuente: Tabla N° 10. Resolución 2320 del 2009 (MAVDT).

4.3 POBLACIÓN ACTUAL

Con base a la cantidad de suscriptores de Buenos Aires y Miraflores (1060 y 250) suministrada por el amb S.A E.S.P y al índice de ocupación por vivienda obtenido por el DANE (3.6³), se obtiene que la población actual de los distritos estudiados es de 3816 y 900 habitantes respectivamente.

4.4 POBLACIÓN FUTURA

Teniendo en cuenta las proyecciones para la población elaboradas por el DANE, según los resultados ajustados del Censo 2005 y la conciliación censal 1985- 2020 para la ciudad de Bucaramanga (Tabla 6), se obtiene gráficamente el factor de crecimiento poblacional para encontrar la población futura de Buenos Aires y Miraflores.

³ DANE. Información estadística. Estimaciones de población y proyecciones de población. Disponible en : <https://www.dane.gov.co/index.php/es/poblacion-y-registros-vitales/proyecciones-y-series-de-poblacion/proyecciones-de-poblacion>

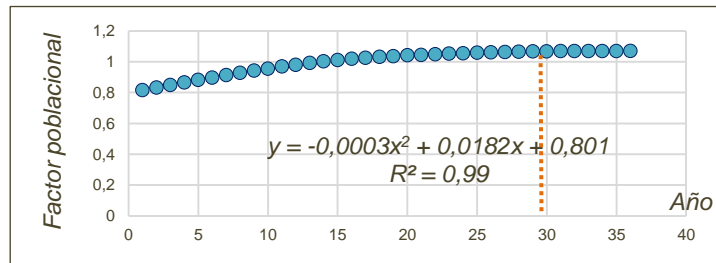
Tabla 5. Proyección de la población en Bucaramanga.

Año	Total	Factor poblacional	Año	Total	Factor poblacional
1985	402840	0.81561	2003	512380	1.03738
1986	411129	0.83239	2004	514544	1.04177
1987	419361	0.84905	2005	516460	1.04565
1988	427501	0.86554	2006	518260	1.04929
1989	435514	0.88176	2007	519920	1.05265
1990	443370	0.89766	2008	521435	1.05572
1991	451002	0.91312	2009	522806	1.05849
1992	458395	0.92808	2010	524030	1.06097
1993	465485	0.94244	2011	525119	1.06318
1994	472251	0.95614	2012	526056	1.06507
1995	478635	0.96906	2013	526827	1.06663
1996	484598	0.98114	2014	527451	1.0679
1997	490110	0.9923	2015	527913	1.06883
1998	495115	1.00243	2016	528269	1.06955
1999	499601	1.01151	2017	528497	1.07002
2000	503541	1.01949	2018	528610	1.07024
2001	506955	1.0264	2019	528610	1.07024
2002	509878	1.03232	2020	528480	1.06998

Fuente: DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística).

Con la gráfica de la Figura 8, se obtiene la ecuación que más se ajusta a la tendencia de crecimiento poblacional, en la que al reemplazar “X” (número de años correspondientes al periodo de diseño del sistema), se obtiene que “Y” (factor de crecimiento poblacional), es igual a 1.077 para el sector de estudio. Así se encuentra que la población futura para Buenos Aires y Miraflores en el año 2046, ajustada con base a su valor actual, sería de 4110 y 970 habitantes respectivamente.

Figura 8. Tendencia de crecimiento poblacional – Bucaramanga.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

4.5 COEFICIENTE DE RUGOSIDAD ABSOLUTA

Las pérdidas de carga en el sistema varían según el material de las tuberías; en este caso se trabaja con materiales en hierro galvanizado y PVC, por tanto, el valor asignado al coeficiente de rugosidad absoluta, según la ecuación de Darcy Weisbach es de 0.22 y 0.0015mm⁴ respectivamente (Tabla 7).

4.6 DOTACIÓN NETA

La dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un suscriptor, sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto. [4]

Tabla 6. Valores de Rugosidad absoluta - Darcy Weisbach.

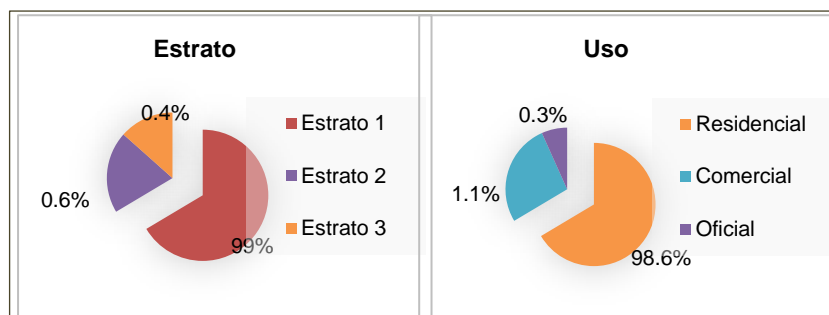
Material	ϵ (mm)	Material	ϵ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0.0015	Fundición asfaltada	0.06-0.18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0.01	Fundición	0.12-0.6
Tubos estirados de acero	0.0024	Acero comercial y soldado	0.03-0.09
Tubos de latón o cobre	0.0015	Hierro forjado	0.03-0.09
Fundición revestida de cemento	0.0024	Hierro galvanizado	0.06-0.24
Fundición con revestimiento bituminoso	0.0024	Madera	0.06-0.90
Fundición centrifugada	0.003	Hormigón	0.3-3.0

Fuente: Ingeniería Civil y Medio ambiente. Aguas. Calculo de pérdida de carga en tuberías.

En este estudio la dotación es principalmente de uso residencial, según las características de uso potencial del suelo descritas en la base de datos “Información Buenos Aires y Miraflores”, donde se especifican porcentajes de consumo por estrato y por uso de suelo (Figura 9) (ver Tabla 8).

⁴ Ingeniería Civil y Medio ambiente. Aguas. Calculo de pérdida de carga en tuberías. Darcy Weisbach. Disponible en: <http://www.miliarium.com/Prontuario/MedioAmbiente/Aguas/PerdidaCarga.asp>

Figura 9. Consumo de agua por estrato y uso.



Fuente: "Información Buenos Aires y Miraflores". Elaboración propia [Autores].

Debido a que se cuenta con datos históricos sobre consumos de agua potable por los suscriptores, se calcula la dotación por habitante conforme a la Tabla B.2.3 de la norma RAS 2000, actualización 2012 (Tabla 9) para el nivel de complejidad del sistema (ALTO) y clima (CÁLIDO) de la ciudad de Bucaramanga.

Tabla 7. Porcentajes de consumo por estrato y uso de suelo para los distritos Buenos Aires y Miraflores.

Característica		Cantidad de personas	Porcentaje (%)
Tipo de uso	Residencial	1383	98.6
	Comercial	12	1.1
	Oficial	3	0.3
Estrato	1	1379	99
	2	8	0.4
	3	12	0.6

Fuente: amb S.A E.S.P [Archivo electrónico] "Información Buenos Aires y Miraflores".

Tabla 8. Dotación neta - Habitante según el nivel de complejidad del sistema.

Nivel de complejidad del sistema	D. neta (l/hab.día) clima cálido	D. neta (l/hab.día) clima cálido
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio Alto	125	135
Alto	140	150

Fuente: Tabla B.2.3.RAS 2000, actualización 2012.

Así se determina que el valor de la dotación neta por habitante es de 150 L/hab.día (0.0063 l/s), teniendo en cuenta que la variación es poca con respecto al valor facturado en estas zonas por el amb S.A ESP, correspondiente a 15.76 m3/mes (0.0061 l/s), según datos de micromedición del archivo “Información Buenos Aires y Miraflores”.

4.7 DOTACIÓN BRUTA

El valor de la dotación bruta para el diseño de los diferentes elementos que conforman el sistema, se calcula teniendo en cuenta la Ecuación 1. Para su cálculo se considera el valor del porcentaje de pérdidas máximas admisibles que ocurren en el sistema, las cuales no deben superar el 25%⁵.

$$d \text{ bruta} = \frac{d \text{ neta}}{1 - \%Perdidas} \quad (1)$$

Según los datos registrados por el amb S.A. E.S.P en el proceso de suministro del agua, se registra un porcentaje de pérdidas de 21.3%, al incluir las pérdidas técnicas y comerciales. Sin embargo, para este estudio se tomará un valor de 25% asumiendo las condiciones físicas actuales de la red.

Dados los valores 150 L/hab.día y 0.25 de dotación neta y porcentaje de pérdidas máximas admisibles respectivamente, el valor calculado de la dotación bruta para el sistema estudiado es de 200 L/hab.día. En la Tabla 10 se muestra un resumen de los cálculos:

Tabla 9. Parámetros de diseño calculados.

<i>Parámetro</i>	<i>Buenos Aires</i>	<i>Miraflores</i>
Nivel de complejidad	Alto	
Periodo de diseño (<i>años</i>)	30	1175

⁵ REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Título B. Dotación Bruta, 37p.

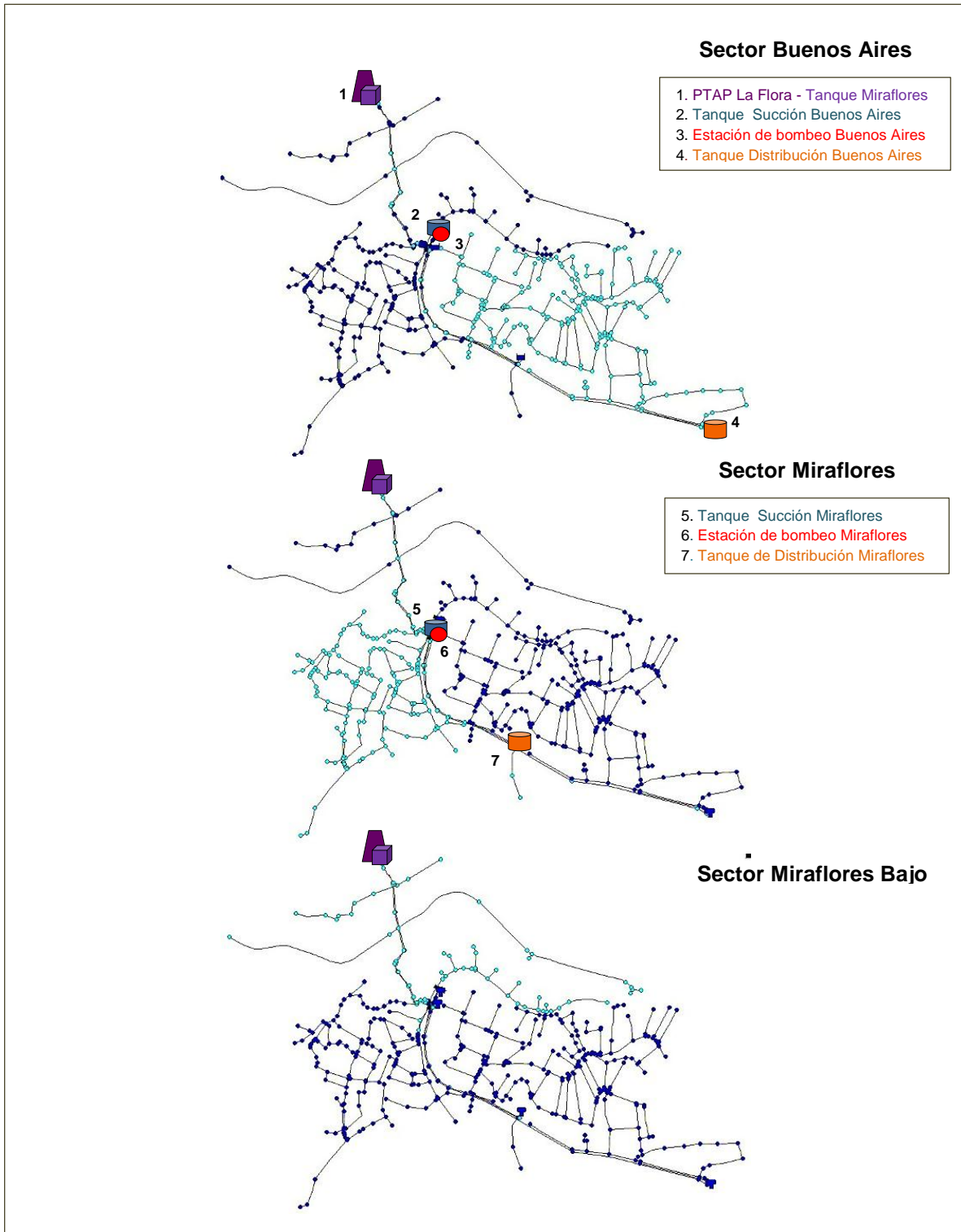
Población actual (<i>hab.</i>)	3816	900
Población futura (<i>hab.</i>)	4110	970
Coefficiente de rugosidad absoluta Darcy Weisbach para tubería de impulsión (<i>mm</i>)	0.0015	0.25
Coefficiente de rugosidad absoluta Darcy Weisbach para tubería de succión (<i>mm</i>)	0.25	0.25
Dotación neta (<i>L/hab.día</i>)	150	
Pérdidas técnicas en el sistema (%)	25	
Dotación bruta (<i>L/hab.día</i>)	200	

Fuente: Elaboración propia [Autores].

4.8 DEMANDA ACTUAL Y PROYECTADA

Al realizar un estudio de estanqueidad en la red de distribución actual, se identificaron los sectores de abastecimiento (color verde), con referencia a la ubicación del Tanque Miraflores, los tanques de succión y de distribución del sistema (Figura 10).

Figura 10. Sectores de abastecimiento - Sistema actual.



Fuente: EPANET. Elaboración propia [Autores].

4.8.1 Caudal medio diario. El caudal medio diario, Qmd, es el caudal calculado para la población, teniendo en cuenta el valor de la dotación bruta asignada. Se calcula mediante la Ecuación 2, asumiendo los valores de dotación bruta y población actual o futura. Así, el valor encontrado para el caudal medio diario actual es de 8.83 l/s y 2.09 l/s y el futuro es de 9.51 l/s y 2.25 l/s para los distritos Buenos Aires y Miraflores respectivamente.

$$Qmd = \frac{\text{Población} * d \text{ bruta}}{86400} \quad (2)$$

4.8.2 Caudal máximo diario. El caudal máximo diario, QMD, se define como el consumo máximo registrado durante 24 horas en un periodo de un año. Éste se determina mediante el producto entre el valor de Qmd por el coeficiente de consumo máximo diario K₁ asignado.

Dado que el nivel de complejidad del sistema estudiado es ALTO, el valor del coeficiente de consumo máximo diario K1 es de 1.3⁶ por tratarse de un sistema nuevo. Así, el caudal máximo diario actual es de 11.48 l/s y 2.72 l/s, y el futuro es de 12.36 l/s y 2.93 l/s para los distritos Buenos Aires y Miraflores respectivamente.

4.8.3 Caudal máximo horario. El caudal máximo horario, QMH, es el caudal máximo que se registra durante una hora en un periodo de un año sin tomar en cuenta el caudal de incendio. Se determina mediante el producto entre el valor de QMD por el coeficiente de consumo máximo horario K2 asignado.

Para efectos de su cálculo, se asigna un valor al coeficiente de consumo máximo horario K2 de 1.5⁷, el cual es manejado por el amb S.A E.S.P y asignado de

⁶ REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Título B. Caudal máximo diario, 39p.

⁷ REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Título B. Caudal máximo horario, 40p.

acuerdo a los parámetros establecidos en la norma RAS 2000, actualización 2012 por tratarse de un sistema nuevo.

De esta manera, el caudal máximo horario actual para los distritos Buenos Aires y Miraflores es 17.22 l/s y 4.08 l/s; y el futuro es 18.54 l/s y 4.40 l/s respectivamente (Tabla 11).

Tabla 10. Valores para la demanda actual y proyectada.

Parámetro		Buenos Aires	Miraflores
Q medio diario, Qmd (l/s)	Actual	8.83	2.09
	Futuro	9.51	2.25
Q máximo diario, QMD (l/s)	Actual	11.48	2.72
	Futuro	12.36	2.93
Q máximo horario, QMH (l/s)	Actual	17.22	4.08
	Futuro	18.54	4.40

Fuente: Elaboración propia [Autores].

5. MODELACIÓN HIDRÁULICA

El desempeño general del sistema está relacionado con la operación hidráulica de cada uno de los elementos que lo componen, desde la fuente de abastecimiento hasta el último punto de la red. Por esta razón, se acude al software de modelación para sistemas de acueducto EPANET, empleando el Algoritmo del Gradiente Hidráulico, con el fin de analizar el sistema de distribución de agua potable de los distritos Buenos Aires y Miraflores.

Para su modelación se incluyen las condiciones hidráulicas generales, tales como: cotas de elevación, diámetro de tuberías, rugosidad absoluta (Ver Tabla 12).

Tabla 11. Condiciones hidráulicas generales del modelo.

0	0.001
Peso específico del agua	0.9982
Unidad de cotas de elevación	msnm
Unidad de diámetro de tuberías	mm
Ecuación de pérdidas	Darcy – Weisbach (D-W)
Unidades de caudal	l/s

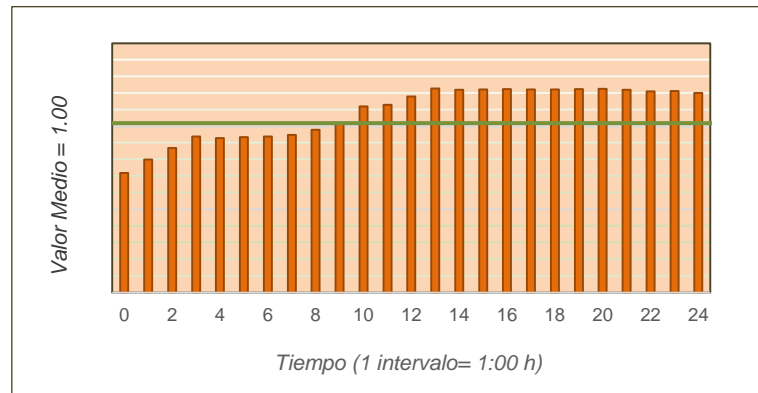
Fuente: Software EPANET 2.0.

5.1 CURVA DE MODULACIÓN 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 magnitud de un posible almacenamiento [5].

En este estudio, se tomó como base el patrón de consumo correspondiente al distrito Estadio; teniendo en cuenta que la variación no es considerable respecto a la de los distritos Buenos Aires y Miraflores (Figura 11).

Figura 11. Curva de modulación.



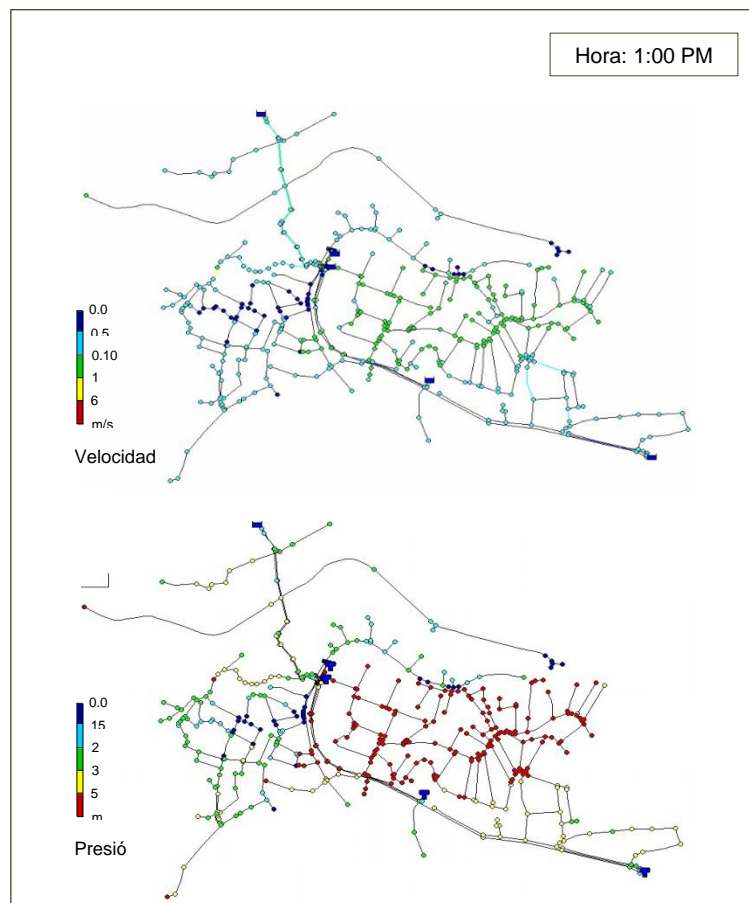
Fuente: Software EPANET 2.0. Elaboración propia [Autores].

Para generar la modelación del sistema de distribución actual de Buenos Aires y Miraflores, ésta se incluye en el software EPANET.

6. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA

A fin de interpretar los resultados obtenidos en la modelación por software, es necesario revisar la variación de la presión y la velocidad de las tuberías en la hora de máximo consumo (figura 12). El modelo debe arrojar valores dentro de los rangos definidos según literal 7.4.6 y 7.4.8 de la norma RAS 2000, actualización 2012; de no ser así, se puede identificar la existencia de fallas operativas en el sistema evaluado.

Figura 12. Variación de la presión y la velocidad en el sistema actual de los distritos Buenos Aires y Miraflores.



Fuente: EPANET. Elaboración propia [Autores].

Al observar el modelo en EPANET de la RDAP actual del sistema estudiado (figura 12), en el horario de máximo consumo (1: 00 pm), se identificaron algunas zonas de falla en la red (color azul oscuro), con valores de presión y velocidad por debajo de la mínima definida (15 m y 0.5 m/s), generando que el agua no llegue a algunos tramos de la red y se presenten problemas de depositación de sólidos en las tuberías. También, se identificaron zonas de falla en algunos tramos de la red (color rojo), con valores de presión y velocidad por encima de la máxima definida (50 m – 6 m/s), generando posibles estallidos de las tuberías y problemas de desgaste por abrasión en las mismas.

Dado que la modelación trata de un análisis general del sistema y no es posible establecer con precisión los elementos responsables de falla, se hace un análisis más detallado de cada uno:

6.1 ANÁLISIS SISTEMA DE BOMBEO

Para realizar el análisis del SB es necesario verificar que las bombas de impulsión que existen actualmente, tengan la capacidad de abastecer a la población según la demanda requerida.

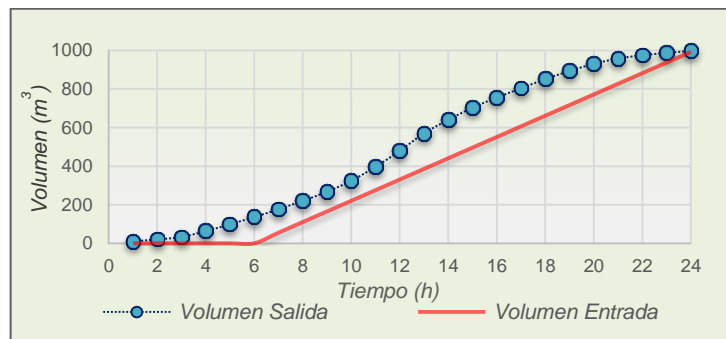
Para ello, se acude al análisis de las curvas de variación de volumen de los tanques de distribución actuales y al balance total del sistema actual de almacenamiento, en las cuales se maneja el balance entre el volumen de entrada al tanque y el volumen demandado, a fin de revisar la capacidad de suministro actual de las bombas en la hora de máximo consumo.

6.1.1 Sistema de bombeo Buenos Aires. Sabiendo que el tiempo de operación actual de las bombas es de 18 horas; el valor del caudal de bombeo de Buenos Aires, según el factor de horas de bombeo es de 15.31 l/s (55.10 m³/h), siendo

éste el volumen de entrada suministrado por la bomba de impulsión Buenos Aires al tanque de distribución respectivo.

Al analizar la curva de variación de volumen del tanque de distribución Buenos Aires (figura 13) y el balance total del sistema de almacenamiento actual de este distrito (tabla 13); se encuentra que el SB Buenos Aires no está suministrando el volumen de agua requerido por la población actual en la hora de máximo consumo.

Figura 13. Variación del volumen - Tanque de distribución Buenos Aires actual.



Fuente: EPANET 2.0. Elaboración propia [Autores].

Por ende, el SB Buenos Aires deberá diseñarse y proyectarse al periodo de diseño asignado al sistema de distribución, de tal forma que la nueva bomba tenga capacidad para compensar el déficit de suministro encontrado.

6.1.2 Sistema de bombeo Miraflores. Se analiza al igual que para el SB Buenos Aires, según la figura 14 y los resultados del balance total del sistema actual de almacenamiento para el distrito Miraflores (tabla 14), siendo 3.63 l/s (13.06 m³/h) el caudal de entrada que actualmente suministra la bomba en un factor de 18 horas de bombeo.

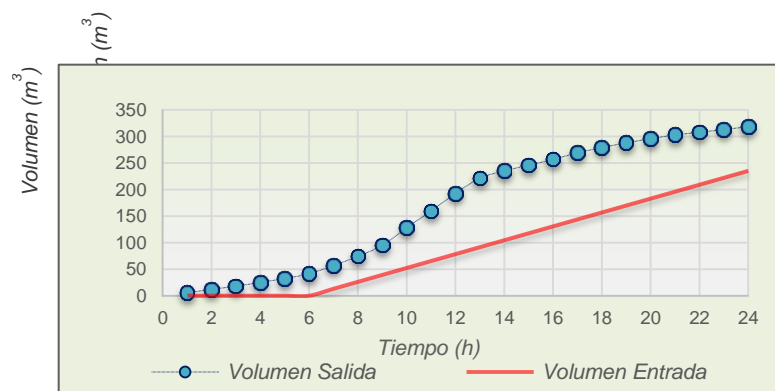
Se deduce entonces que en éste sistema, el volumen de entrada suministrado por la bomba de impulsión no compensa el volumen demandado por la población actual en la hora de máximo consumo; por tanto, deberá diseñarse el SB con la capacidad de suministrar el volumen de agua requerido por la población futura para el periodo de diseño proyectado.

Tabla 12. Variación del volumen -Tanque de distribución Buenos Aires actual.

Hor a	V entrad a (m ³)	V Demando (m ³)	Ventrada- Vdemanda do (m ³)	V entrada acumula do (m ³)	Vdemanda do acumulado (m ³)	Diferencia s acumulad as	Variación vol.Tanq ue (m ³)
1	0	9.7	-9.7	0	9.72	-9.7	51.88
2	0	10.5	-10.5	0	20.25	-20.25	41.35
3	0	12.2	-12.2	0	32.40	-32.40	29.20
4	0	30.8	-30.8	0	63.18	-63.18	-1.58
5	0	35.6	-35.6	0	98.82	-98.82	-37.22
6	0	37.3	-37.3	0	136.08	-136.08	-74.48
7	55.1	40.5	14.6	55.1	176.58	-121.48	-59.88
8	55.1	43.7	11.4	110.2	220.32	-110.12	-48.52
9	55.1	47.0	8.1	165.3	267.30	-102.00	-40.40
10	55.1	56.7	-1.6	220.4	324.00	-103.60	-42.00
11	55.1	72.9	-17.8	275.5	396.90	-121.40	-59.80
12	55.1	82.6	-27.5	330.6	479.52	-148.92	-87.32
13	55.1	90.7	-35.6	385.7	570.24	-184.54	-122.94
14	55.1	69.7	-14.6	440.8	639.90	-199.10	-137.50
15	55.1	63.2	-8.1	495.9	703.08	-207.18	-145.58
16	55.1	51.8	3.3	551	754.92	-203.92	-142.32
17	55.1	48.6	6.5	606.1	803.52	-197.42	-135.82
18	55.1	47.0	8.1	661.2	850.50	-189.30	-127.70
19	55.1	42.1	13.0	716.3	892.62	-176.32	-114.72
20	55.1	37.3	17.8	771.4	929.88	-158.48	-96.88
21	55.1	27.5	27.6	826.5	957.42	-130.92	-69.32
22	55.1	16.2	38.9	881.6	973.62	-92.02	-30.42
23	55.1	13.0	42.1	936.7	986.58	-49.88	11.72
24	55.1	9.7	45.4	991.8	996.30	-4.50	57.10

Fuente: Modelación de la variación de consumo. EPANET 2.0.

Figura 14. Variación del volumen - Tanque de distribución Miraflores actual.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

Tabla 13. Variación del volumen -Tanque de distribución Miraflores actual.

Hor a	V entrad a (m ³)	V Demando (m ³)	Ventrada- Vdemanda do (m ³)	V entrada acumula do (m ³)	Vdemanda do acumulado (m ³)	Diferencia s acumulad as	Variación vol.Tanq ue (m ³)
1	0	5.3	-5.33	0	5.33	-5.33	50.67
2	0	6.7	-6.67	0	12.00	-12.00	44.00
3	0	5.9	-5.87	0	17.87	-17.87	38.13
4	0	7.2	-7.20	0	25.07	-25.07	30.93
5	0	7.3	-7.33	0	32.40	-32.40	23.60
6	0	8.9	-8.93	0	41.33	-41.33	14.67
7	13.06	15.7	-2.61	13.06	57.00	-43.94	12.06
8	13.06	17.3	-4.27	26.12	74.33	-48.21	7.79
9	13.06	20.5	-7.47	39.18	94.87	-55.69	0.31
10	13.06	33.3	-20.27	52.24	128.20	-75.96	-19.96
11	13.06	31.3	-18.27	65.3	159.53	-94.23	-38.23
12	13.06	33.2	-20.14	78.36	192.73	-114.37	-58.37
13	13.06	28.7	-15.61	91.42	221.40	-129.98	-73.98
14	13.06	13.8	-0.74	104.48	235.20	-130.72	-74.72
15	13.06	10.3	2.73	117.54	245.53	-127.99	-71.99
16	13.06	11.3	1.73	130.6	256.87	-126.27	-70.27
17	13.06	12.0	1.06	143.66	268.87	-125.21	-69.21
18	13.06	10.2	2.86	156.72	279.07	-122.35	-66.35
19	13.06	8.7	4.39	169.78	287.73	-117.95	-61.95
20	13.06	8.0	5.06	182.84	295.73	-112.89	-56.89
21	13.06	7.0	6.06	195.9	302.73	-106.83	-50.83
22	13.06	5.0	8.06	208.96	307.73	-98.77	-42.77
23	13.06	5.2	7.86	222.02	312.93	-90.91	-34.91
24	13.06	5.3	7.73	235.08	318.27	-83.19	-27.19

Fuente: Modelación de la variación de consumo. EPANET 2.0.

6.2 ANÁLISIS SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

Se identificó la existencia de déficits de almacenamiento, mediante el análisis del balance total del sistema de almacenamiento actual:

6.2.1 Sistema de almacenamiento Buenos Aires. Al analizar el balance total del sistema de Buenos Aires (tabla 13), según el factor actual de horas de bombeo, se encuentra que el tanque de distribución tiene un déficit de almacenamiento de 145.58 m³, motivo por el cual deberá diseñarse, ajustando sus dimensiones a la capacidad de almacenamiento según la demanda proyectada al periodo de diseño.

6.2.2 Sistema de almacenamiento Miraflores. Teniendo en cuenta que en el análisis del balance total del sistema (tabla 14), se encuentra un déficit de almacenamiento en el tanque de distribución Miraflores de 74.72 m³, según el factor actual de horas de bombeo, éste también deberá ser diseñado realizando una ampliación de las dimensiones del tanque evaluado, de tal forma que pueda almacenar la demanda requerida por la población futura.

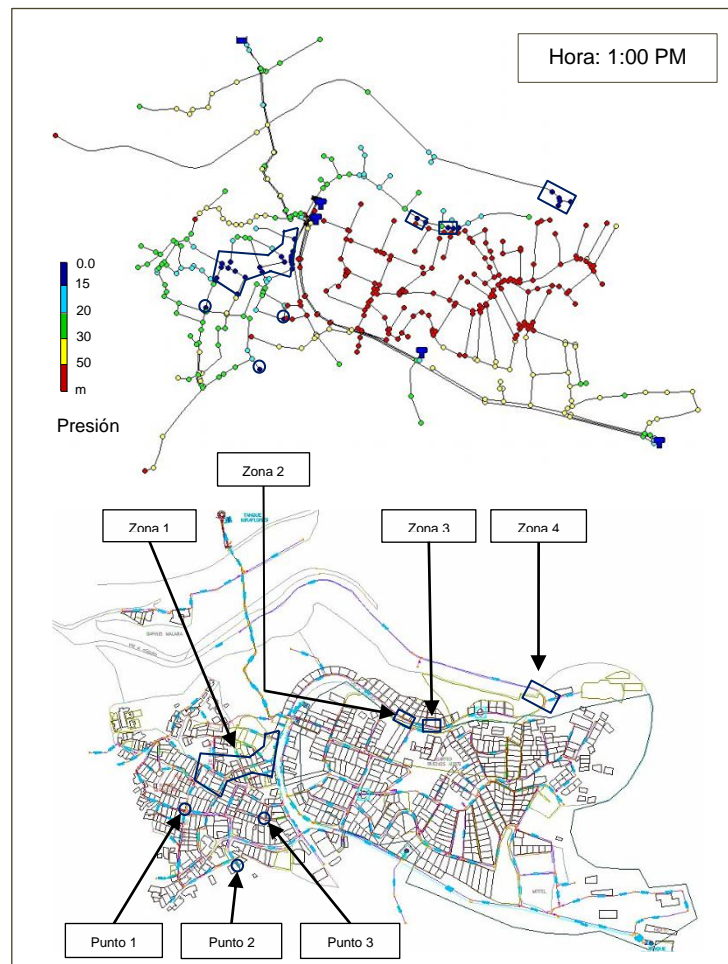
6.3 ANÁLISIS RED DE DISTRIBUCIÓN

Para efectos de su diagnóstico, se analiza la RDAP actual de Buenos Aires y Miraflores, a partir de la variación de la presión y velocidad en las tuberías, arrojados en la modelación por software del sistema en el horario de máximo consumo (figura 12).

6.3.1 Análisis de presiones. Se delimitaron las zonas de falla en la red, donde la presión en las tuberías presentó valores mayores y menores a la máxima y mínima definida en el literal 7.4.6 de la norma RAS 2000, actualización 2012.

6.3.1.1 Presiones mínimas en la red. Al observar el modelo del sistema actual en la hora de máximo consumo (figura 15), se encontraron zonas y puntos de color azul oscuro (tabla 15), con valores de presión dinámica entre 3.95 y 12.32 m, por debajo de la mínima definida para el nivel de complejidad del sistema; por tanto, éste sistema deberá diseñarse para garantizar que el agua llegue a la RDAP con presión y continuidad.

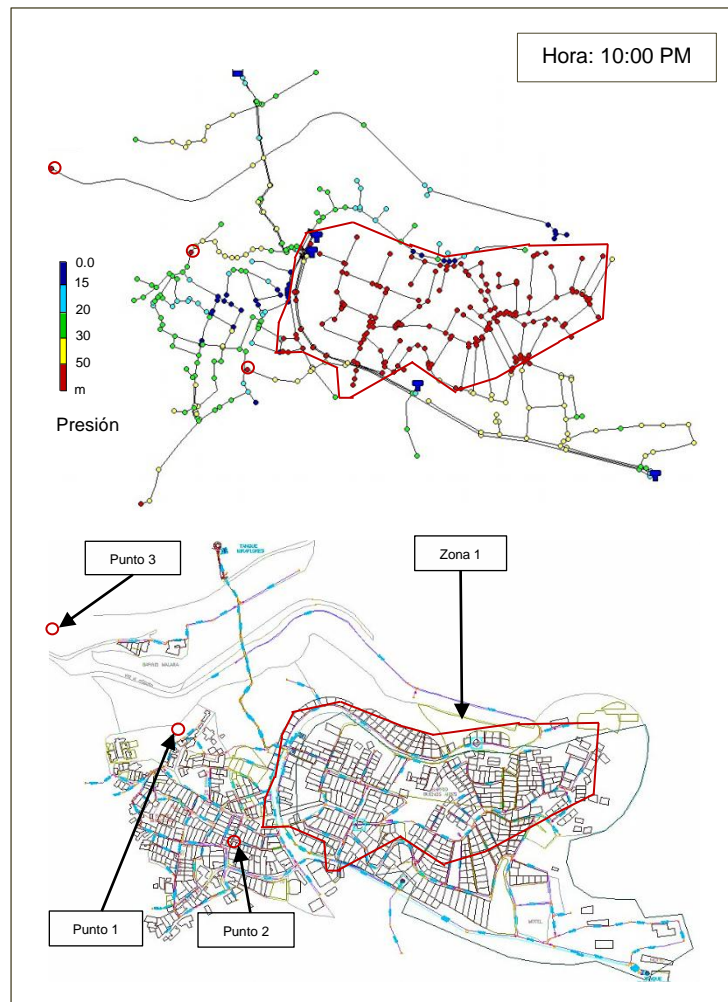
Figura 15. Zonas y puntos de falla por bajas presiones.



Fuente: EPANET. Elaboración propia [Autores].

6.3.1.2 Presiones máximas en la red. En la figura 16 se observa que en la hora de mínimo consumo existe una zona y puntos de falla de color rojo (tabla 15), delimitados por valores de presión estática entre 50.15 y 74.8 m, por encima de la máxima definida para el nivel de complejidad del sistema; razón por la cual éste sistema deberá diseñarse para evitar posibles estallidos en las tuberías de la red.

Figura 16. Zonas y puntos de falla por altas presiones.



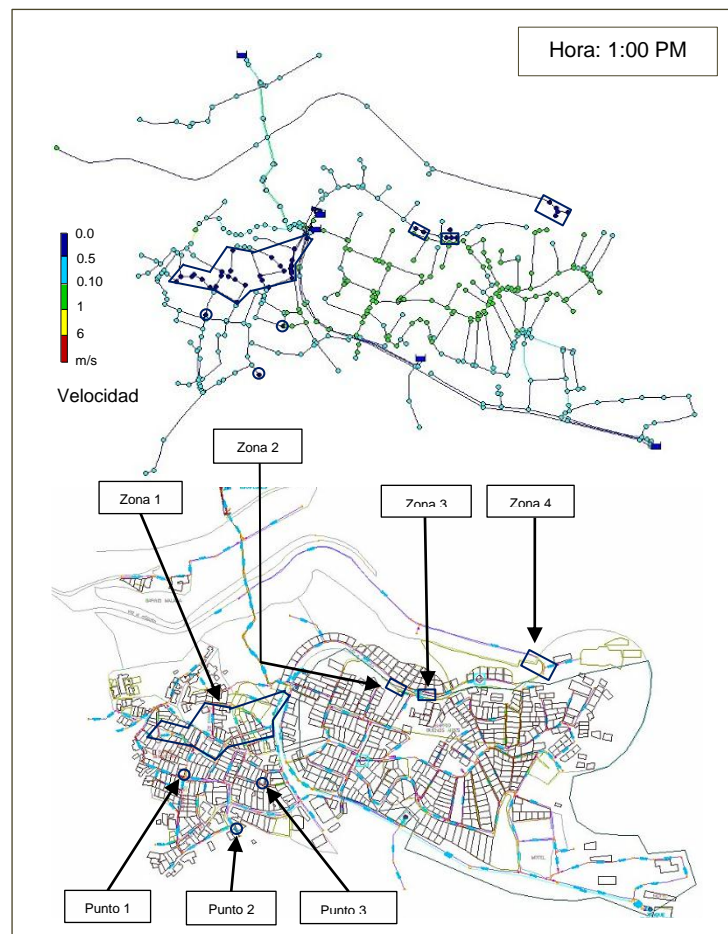
Fuente: EPANET. Elaboración propia [Autores].

6.3.2 Análisis de Velocidades. Se delimitaron las zonas de falla en la red, donde la velocidad en las tuberías presentó valores menores a la mínima definida para

velocidad de las tuberías en la red de distribución (literal 7.4.8 de la norma RAS 2000, actualización 2012).

6.3.2.1 Velocidades mínimas en la red. En la figura 17, en la hora de máximo consumo, se encontraron zonas y puntos de color azul oscuro (tabla 15), con valores de velocidad entre 0.03 y 0.4 m/s, por debajo de la mínima definida para el nivel de complejidad del sistema, ocasionando problemas en la calidad del agua suministrada.

Figura 17. Zona y puntos de falla por bajas velocidades.



Fuente: EPANET. Elaboración propia [Autores].

Dadas las condiciones es necesario diseñar el sistema de distribución, a fin de evitar estas zonas de falla debido a valores bajos de velocidad en las tuberías de la RDAP estudiada.

Tabla 14. Zonas y puntos de falla por presiones y velocidades en la RDAP.

Variable	Distrito	Zona / punto	Dirección	Valor
Presiones mínimas (m)	Miraflores	Zona 1	Cra 50 y 55 con cll 14	7.28-12.34
		Zona 2	Vía principal Bucaramanga -Cúcuta cll 13	11.72-12.32
		Zona 3	Vía principal Bucaramanga -Cúcuta cll 14	8.71-9.7
		Zona 4	Cll 14 con cra 52 y 52A	3.95-7.16
		Punto 1	Cra 53 con cll 21	7.43
		Punto 2	Cra 56 con cll 23	12.3
		Punto 3	Cra 54 con cll 18	4.74
Presiones máximas (m)	Buenos Aires	Zona 1	Cra 56 y 63 entre cll 14 y 18	50.15-74.8
	Miraflores	Punto 1	Cra 54 con cll 20	59.22
		Punto 2	Cra 56 con calle 23	57.37
		Punto 3	Cll 14 con cra 66	58.76
Velocidades mínimas (m/s)	Miraflores	Zona 1	Cra 48 y 55 con cll 14 y 17	0.03-0.4
		Zona 2	Vía principal Bucaramanga -Cúcuta cll 13	0.06-0.38
		Zona 3	Vía principal Bucaramanga -Cúcuta cll 14	0.22-0.37
		Zona 4	Cll 14 con cra 52 y 52 ^a	0.11-0.28
		Punto 1	Cra 53 con cll 23	0.17
		Punto 2	Cra 56 con cll 25	0.15
		Punto 3	Cra 54 ^a con cll 19	0.33

Fuente: Tabla B.7.6.RAS 2000, actualización 2012.

6.3.2.2 Velocidades máximas en la red. La velocidad máxima en las tuberías de la red de distribución, bajo condiciones de caudal máximo horario, se define en función de su material según la tabla B.7.6 de la norma RAS 2000, actualización 2012 de la tabla 16.

Tabla 15. Velocidades máximas en la red de distribución según material de las tuberías.

Material	Velocidad (m/s)
Acero sin revestimiento	5.0
Acero con revestimiento	4.0
Hierro ductil	4.0
CCP	5.0
PVC y PVCO	6.0
FEAD	5.0
CRP	6.0
Polipropileno	6.0

Fuente: Tabla B.7.6.RAS 2000, actualización 2012.

En la figura 12 no se presentaron zonas de falla, debido a valores de velocidad por encima de la máxima definida para el nivel de complejidad del sistema. Por ello, no es necesario evaluar elementos de control, en este caso para la disminución de velocidades altas en la RDAP.

El diagnóstico general del sistema de distribución actual de Buenos Aires y Miraflores se resume en la tabla 17:

Tabla 16. Diagnóstico general del sistema actual.

SISTEMA DE BOMBEO			
Análisis	Buenos Aires	Miraflores	Observaciones
Bomba impulsión de	No cumple	No cumple	Mediante análisis gráfico de la curva de variación de volumen del Tanque de distribución y del balance total del sistema de almacenamiento de Buenos Aires y Miraflores, se deduce que el SB actual de estos distritos no tiene la capacidad de suministrar la demanda requerida actual ni la futura.
SISTEMA DE ALMACENAMIENTO			
Análisis	Buenos Aires	Miraflores	Observaciones
Tanque de distribución	No cumple	No cumple	Mediante análisis del balance total del sistema de almacenamiento de Buenos Aires y Miraflores, se encuentra que éstos tienen un déficit de almacenamiento, por lo cual no tiene la capacidad de almacenar la demanda requerida actual ni la futura.
Tanque de	Cumple	Cumple	Dado el diagnóstico de los tanques de

succión			almacenamiento y los déficits encontrados, no se diseñan los tanques de succión, pero se debe analizar la continuidad del suministro para tiempos de mantenimiento.
RED DE DISTRIBUCIÓN			
Análisis	Buenos Aires	Miraflores	Observaciones
Presión mínima	Cumple	No cumple	Según figuras 12,13 y 14 se deduce que en la red de distribución actual Buenos Aires se presentan presiones máximas y en la red de Miraflores se presentan presiones y velocidades mínimas, al igual que presiones altas.
Presión máxima	No cumple	No cumple	
Velocidad mínima	Cumple	No Cumple	
Velocidad máxima	Cumple	Cumple	

Fuente: Elaboración propia [Autores].

7. DISEÑO DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA

Dados los resultados del diagnóstico del sistema de distribución de agua potable actual de Buenos Aires y Miraflores, se realiza el diseño del mismo con base a los criterios definidos en la RAS 2000, actualización 2012, con el fin de corregir las fallas operativas en el sistema actual y proyectar su operación al periodo de diseño.

7.1 DISEÑO SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

Para definir el volumen del tanque deben tenerse en cuenta las siguientes disposiciones: Primero se analiza en el balance total del sistema de almacenamiento proyectado, el factor de horas de operación de la bomba que más de ajusta a las variaciones entre el caudal de entrada al tanque y el consumo normal de la población futura a lo largo del día. De esta forma, se establecen las necesidades de demanda y las variaciones de consumo diarios en la red de distribución aguas abajo del tanque, con el fin de definir la magnitud del déficit de almacenamiento.

Debe realizarse un análisis por métodos gráficos, con base a las curvas de variación de la demanda de cada población y al balance total del sistema de almacenamiento proyectado, para encontrar el volumen que va a ser almacenado por el tanque de distribución, el cual es el volumen calculado multiplicado por un factor de 1.2⁸; además debe calcularse el volumen de agua para la protección de incendios y el volumen de regulación del tanque, el cual debe ser $\frac{1}{4}$ (6 horas)⁹ del volumen presentado en el día de máximo consumo, para el tiempo que implica la suspensión del servicio por mantenimientos preventivos o correctivos a la RDAP.

^{8,9} REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Título B. Capacidad de regulación, 392p.

Esto permite analizar la capacidad de regulación en el servicio de suministro, de tal forma que éste último sea menor que el volumen del sistema (volumen del tanque de succión actual + volumen almacenado por el tanque de distribución). Finalmente, el volumen del tanque de distribución debe ser la mayor cantidad obtenida entre la capacidad de regulación y la capacidad de demanda contra incendio (literal 9.4.7 RAS 2000, act. 2012).

7.1.1 Volumen calculado del tanque. Puesto que en el diagnóstico se encontró un déficit de almacenamiento en los tanques actuales de distribución; ahora se analizan con base en el análisis del balance total para el suministro de la demanda proyectada (tabla 18 y 19).

Tabla 17. Variación del volumen -Tanque de distribución Buenos Aires proyectado.

Hor a	V entrad a (m ³)	V Demando (m ³)	Ventrada- Vdemanda do (m ³)	V entrada acumula do (m ³)	Vdemanda do acumulado (m ³)	Diferencia s acumulad as	Variación vol.Tanq ue (m ³)
1	0.00	10.5	-10.5	0.00	10.5	-10.53	156.91
2	0.00	11.3	-11.3	0.00	21.9	-21.87	145.57
3	53.40	13.0	40.4	53.40	34.8	18.57	167.44
4	53.40	36.0	17.4	106.79	70.8	36.00	167.44
5	53.40	40.5	12.9	160.19	111.3	48.89	167.44
6	53.40	42.1	11.3	213.58	153.4	60.17	167.44
7	53.40	45.4	8.0	266.98	198.8	68.20	167.44
9	53.40	50.2	3.2	320.37	249.0	71.38	167.44
8	53.40	53.5	-0.1	373.77	302.5	71.31	167.38
10	53.40	68.0	-14.6	427.16	370.5	56.67	152.73
11	53.40	79.4	-26.0	480.56	449.9	30.68	126.75
12	53.40	89.1	-35.7	533.95	539.0	-5.02	91.04
13	53.40	94.0	-40.6	587.35	632.9	-45.59	50.48
14	53.40	79.4	-26.0	640.74	712.3	-71.57	24.49
15	53.40	68.0	-14.6	694.14	780.4	-86.22	9.85
16	53.40	59.9	-6.5	747.53	840.3	-92.76	3.30
17	53.40	56.7	-3.3	800.93	897.0	-96.07	0.00
18	53.40	51.8	1.6	854.32	948.8	-94.51	1.55
19	53.40	43.7	9.7	907.72	992.6	-84.86	11.21
20	53.40	38.9	14.5	961.11	1031.5	-70.34	25.72
21	53.40	24.3	29.1	1014.51	1055.8	-41.25	54.82
22	53.40	19.4	34.0	1067.90	1075.2	-7.29	88.77
23	0.00	16.2	-16.2	1067.90	1091.4	-23.49	72.57
24	0.00	13.0	-13.0	1067.90	1104.4	-36.45	59.61

Fuente: Modelación de la variación de consumo. EPANET 2.0.

Tabla 18. Variación del volumen - Tanque de distribución Miraflores proyectado.

Hor a	V entrad a (m ³)	V Demando (m ³)	Ventrad a-Vdemanda do (m ³)	V entrada acumula do (m ³)	Vdemanda do acumulado (m ³)	Diferencia s acumulad as	Variación vol.Tanq ue (m ³)
1	13.32	12.1	1.27	13.32	12.1	1.27	118.31
2	13.32	6.9	6.42	26.65	19.0	7.69	118.31
3	13.32	6.3	7.02	39.97	25.3	14.72	118.31
4	13.32	7.5	5.82	53.30	32.8	20.54	118.31
5	13.32	7.9	5.42	66.62	40.7	25.96	118.31
6	13.32	9.2	4.12	79.94	49.9	30.09	118.31
7	13.32	16.2	-2.88	93.27	66.1	27.21	115.43
8	13.32	17.9	-4.58	106.59	84.0	22.64	110.86
9	13.32	22.1	-8.78	119.91	106.1	13.86	102.08
10	13.32	35.1	-21.78	133.24	141.2	-7.92	80.31
11	13.32	33.4	-20.08	146.56	174.6	-27.99	60.23
12	13.32	35.6	-22.30	159.89	210.2	-50.29	37.93
13	13.32	30.1	-16.78	173.21	240.3	-67.07	21.16
14	13.32	14.3	-0.98	186.53	254.6	-68.04	20.18
15	13.32	11.2	2.12	199.86	265.8	-65.92	22.30
16	13.32	11.7	1.62	213.18	277.5	-64.29	23.93
17	13.32	12.8	0.52	226.50	290.3	-63.77	24.45
18	13.32	11.9	1.42	239.83	302.2	-62.35	25.88
19	13.32	8.7	4.65	253.15	310.8	-57.69	30.53
20	0.00	8.0	-8.00	253.15	318.8	-65.69	22.53
21	0.00	7.0	-7.00	253.15	325.8	-72.69	15.53
22	0.00	5.0	-5.00	253.15	330.8	-77.69	10.53
23	0.00	5.2	-5.20	253.15	336.0	-82.89	5.33
24	0.00	5.3	-5.33	253.15	341.4	-88.22	0.00

Fuente: Modelación de la variación de consumo. EPANET 2.0.

A partir del análisis del nuevo sistema de bombeo de cada distrito (numeral 7.2 de este artículo), se define que el factor de horas de bombeo que más se ajusta a la variación de consumo para Buenos Aires y Miraflores es de 20 y 19 h, y que su déficit de almacenamiento respecto a las condiciones de infraestructura actual y demanda proyectada es de 105.84 y 62.31 m³; teniendo en cuenta que el volumen actual de los tanques es de 61.6 y 56 m³ respectivamente.

Por ende, el volumen que va a ser almacenado por el tanque de distribución Buenos Aires y Miraflores sería de 200.93 y 141.97 m³, calculado a partir del valor del volumen determinado en el balance total del sistema (167.44 y 118.31 m³ respectivamente), por un factor de 1.2, como se mencionó anteriormente.

7.1.2 Capacidad de demanda contra incendio. Luego, se determina el volumen de agua para protección contra incendios, siendo (V_{in}) de Buenos Aires y Miraflores (literal 9.4.6 de la norma RAS 2000, actualización 2012) es de 914.4 y 453.6 m³, calculado mediante la Ecuación 3 y 4, a partir de los valores de población proyectada (P) para Buenos Aires y Miraflores (4110 y 970 habitantes), para un tiempo (T) de incendio de 2 horas¹⁰.

$$Q_{in}\left(\frac{m^3}{s}\right) = \frac{3.86}{60} \sqrt{\frac{P}{1000}} \left(1 - 0.01 \sqrt{\frac{P}{1000}}\right) \quad (3)$$

$$V_{in}(m^3) = Q_{in} * T \quad (4)$$

7.1.3 Capacidad de regulación. Por último, se analiza la capacidad de regulación, en el tiempo previsto para la suspensión del servicio por mantenimientos en la red según el volumen del sistema; de tal forma que se cumpla la continuidad en el de suministro de agua potable.

Siendo 12.36 l/s (44.5 m³/h) y 2.93 l/s (10.55 m³/h) el QMD futuro de Buenos Aires y Miraflores, ($V_{reg.}$), el volumen de regulación y ($V_{sist.}$) el volumen del sistema, se analiza la capacidad de regulación del sistema de almacenamiento:

Para el distrito Buenos Aires,

$$V_{regulación}(m^3) = QMD * 6h$$

$$V_{regulación}(m^3) = 44.5 m^3/h * 6h = 267m^3$$

$$V_{sistema}(m^3) = \sum T. succión + T. distribución alm.$$

$$V_{sistema}(m^3) = 27 m^3 + 200.93 m^3 = 227.93 m^3$$

$$V_{regulación} < V_{sistema}$$

$$267 m^3 < 227.93 m^3 \text{ No cumple}$$

$$Capacidad de regulacion = 267m^3$$

¹⁰ REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Título B. Capacidad de demanda contra incendio, 393p.

Para el distrito Miraflores,

$$V_{regulación}(m^3) = QMD * 6h$$

$$V_{regulación}(m^3) = 10.55 m^3/h * 6h = 63.3m^3$$

$$V_{sistema} (m^3) = \sum T. succión + T. distribución alm.$$

$$V_{sistema} (m^3) = 30 m^3 + 141.97m^3 = 171.97 m^3$$

$$V_{regulación} < V_{sistema}$$

$$63.3 m^3 < 171.97 m^3 \text{ Cumple}$$

$$Capacidad de regulacion = 171.97m^3$$

7.1.4 Diseño del tanque de distribución. Finalmente, al compararse los valores de capacidad de regulación para Buenos Aires y Miraflores (267 y 171.97 m³) y volumen de incendio (914.4 y 453.6 m³), se deduce que el volumen requerido por los tanques es de 914.4 y 453.6 m³, al ser la mayor cantidad obtenida (literal 9.4.7 de la RAS 2000, act.2012 (Tabla 20).

Tabla 19. Valores para volumen -Tanque de distribución.

Parámetro	Buenos Aires	Miraflores
Horas de bombeo proyectado(h)	20	19
Déficit de almacenamiento (infraestructura actual – SB y demanda proyectada) (m ³)	145.58	74.72
Factor de volumen	1.2	
Volumen encontrado - balance total del sistema (m ³)	167.44	118.31
Volumen calculado -factor de volumen (m ³)	200.93	141.97
Capacidad de demanda contra incendio (m ³)	914.4	453.6
Capacidad de regulación (m ³)	267	63.3
Volumen requerido por el tanque (m ³)	914.4	453.6

Fuente: Elaboración propia [Autores].

En la Tabla 21 y 22 se observa el balance total del sistema de almacenamiento de los distritos Buenos Aires y Miraflores, según la variación de consumos para la demanda proyectada al periodo de diseño del sistema y el volumen total requerido por los tanques de distribución, los cuales fueron definidos anteriormente.

Tabla 20. Variación del volumen requerido - Tanque de distribución Buenos Aires proyectado.

Hor a	V entrad a (m ³)	V Demando (m ³)	Ventrada- Vdemanda do (m ³)	V entrada acumula do (m ³)	Vdemanda do acumulado (m ³)	Diferencia s acumulad as	Variación vol.Tanq ue (m ³)
1	0.00	10.5	-10.5	0.00	10.5	-10.53	903.87
2	0.00	11.3	-11.3	0.00	21.9	-21.87	892.53
3	53.40	13.0	40.4	53.40	34.8	18.57	914.40
4	53.40	36.0	17.4	106.79	70.8	36.00	914.40
5	53.40	40.5	12.9	160.19	111.3	48.89	914.40
6	53.40	42.1	11.3	213.58	153.4	60.17	914.40
7	53.40	45.4	8.0	266.98	198.8	68.20	914.40
8	53.40	50.2	3.2	320.37	249.0	71.38	914.40
9	53.40	53.5	-0.1	373.77	302.5	71.31	914.34
10	53.40	68.0	-14.6	427.16	370.5	56.67	899.69
11	53.40	79.4	-26.0	480.56	449.9	30.68	873.71
12	53.40	89.1	-35.7	533.95	539.0	-5.02	838.00
13	53.40	94.0	-40.6	587.35	632.9	-45.59	797.44
14	53.40	79.4	-26.0	640.74	712.3	-71.57	771.45
15	53.40	68.0	-14.6	694.14	780.4	-86.22	756.81
16	53.40	59.9	-6.5	747.53	840.3	-92.76	750.26
17	53.40	56.7	-3.3	800.93	897.0	-96.07	746.96
18	53.40	51.8	1.6	854.32	948.8	-94.51	748.51
19	53.40	43.7	9.7	907.72	992.6	-84.86	758.17
20	53.40	38.9	14.5	961.11	1031.5	-70.34	772.68
21	53.40	24.3	29.1	1014.51	1055.8	-41.25	801.78
22	53.40	19.4	34.0	1067.90	1075.2	-7.29	835.73
23	0.00	16.2	-16.2	1067.90	1091.4	-23.49	819.53
24	0.00	13.0	-13.0	1067.90	1104.4	-36.45	806.57

Fuente: Modelación de la variación de consumo. EPANET 2.0.

Tabla 21. Variación del volumen requerido - Tanque de distribución Miraflores proyectado.

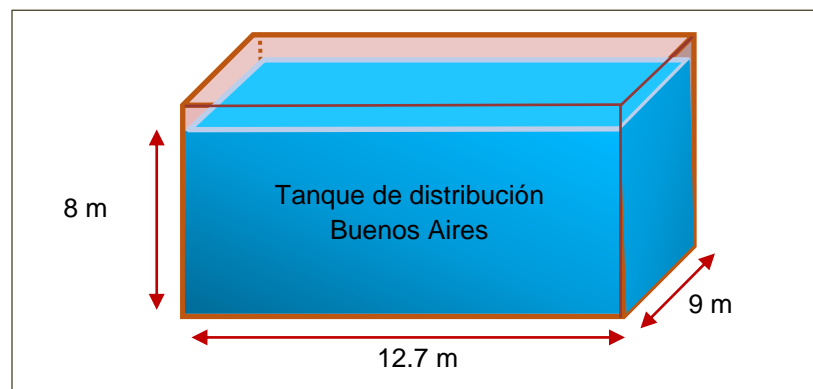
Hor a	V entrad a (m ³)	V Demando (m ³)	Ventrada- Vdemanda do (m ³)	V entrada acumula do (m ³)	Vdemanda do acumulado (m ³)	Diferencia s acumulad as	Variación vol.Tanq ue (m ³)
1	13.32	12.1	1.27	13.32	12.1	1.27	453.60
2	13.32	6.9	6.42	26.65	19.0	7.69	453.60
3	13.32	6.3	7.02	39.97	25.3	14.72	453.60
4	13.32	7.5	5.82	53.30	32.8	20.54	453.60
5	13.32	7.9	5.42	66.62	40.7	25.96	453.60
6	13.32	9.2	4.12	79.94	49.9	30.09	453.60
7	13.32	16.2	-2.88	93.27	66.1	27.21	450.72
8	13.32	17.9	-4.58	106.59	84.0	22.64	446.15

9	13.32	22.1	-8.78	119.91	106.1	13.86	437.37
10	13.32	35.1	-21.78	133.24	141.2	-7.92	415.60
11	13.32	33.4	-20.08	146.56	174.6	-27.99	395.52
12	13.32	35.6	-22.30	159.89	210.2	-50.29	373.22
13	13.32	30.1	-16.78	173.21	240.3	-67.07	356.45
14	13.32	14.3	-0.98	186.53	254.6	-68.04	355.47
15	13.32	11.2	2.12	199.86	265.8	-65.92	357.59
16	13.32	11.7	1.62	213.18	277.5	-64.29	359.22
17	13.32	12.8	0.52	226.50	290.3	-63.77	359.74
18	13.32	11.9	1.42	239.83	302.2	-62.35	361.17
19	13.32	8.7	4.65	253.15	310.8	-57.69	365.82
20	0.00	8.0	-8.00	253.15	318.8	-65.69	357.82
21	0.00	7.0	-7.00	253.15	325.8	-72.69	350.82
22	0.00	5.0	-5.00	253.15	330.8	-77.69	345.82
23	0.00	5.2	-5.20	253.15	336.0	-82.89	340.62
24	0.00	5.3	-5.33	253.15	341.4	-88.22	335.29

Fuente: Modelación de la variación de consumo. EPANET 2.0.

Teniendo en cuenta los valores encontrados, se propone la construcción del tanque de distribución Buenos Aires, con dimensiones de 12.7 m de ancho, 9 m de profundidad y 8.3 m de altura, para un borde libre de 0.3 m¹¹ y un volumen útil de 914.4 m³ (Figura 18).

Figura 18. Diseño Tanque de distribución Buenos Aires.

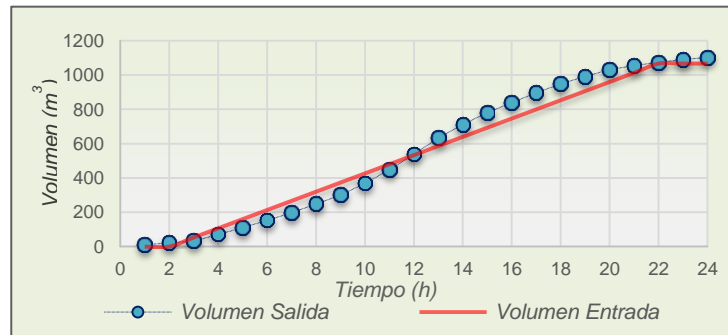


Fuente: Elaboración propia [Autores].

¹¹ REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Título B. Niveles, 397p.

Asumiendo que 20 horas es el tiempo de bombeo futuro y que 14.83 l/s (53.40 m³/h) es el valor del caudal de bombeo proyectado para Buenos Aires, se obtiene la curva de variación del volumen del sistema diseñado (Figura 19).

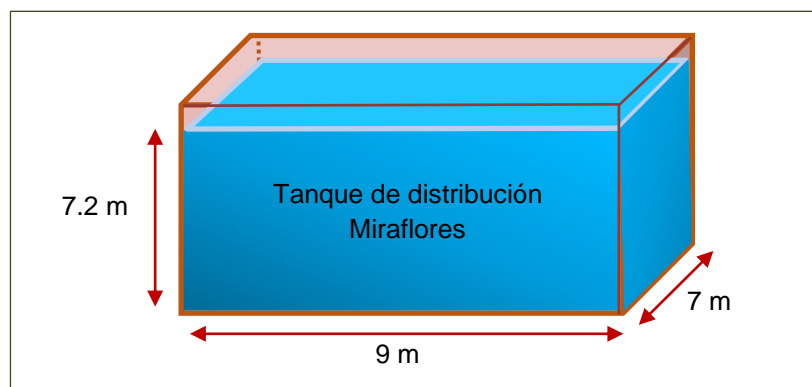
Figura 19. Variación del volumen del tanque de distribución Buenos proyectado.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

Para el diseño del sistema de almacenamiento Miraflores, se propone construir un tanque de distribución de 9 m de ancho, 7 m de profundidad y 7.5 m de altura, para un borde libre de 0.3 m y un volumen útil de 453.6 m³ (Figura 20).

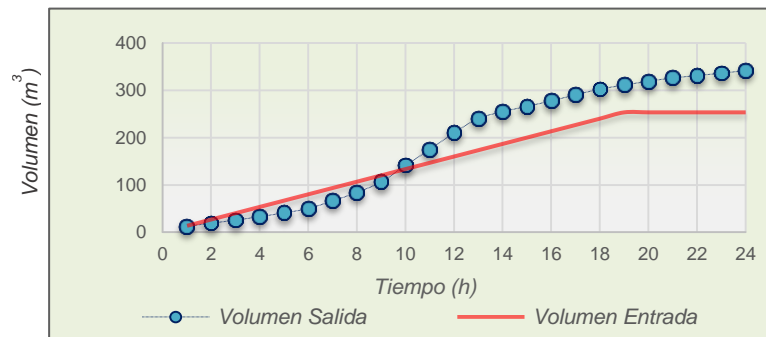
Figura 20. Diseño Tanque de distribución Miraflores.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

Asumiendo que 19 horas es el tiempo de bombeo futuro y que 3.70 l/s (13.32 m³/h) es el valor del caudal de bombeo proyectado para Miraflores, se obtiene la curva de variación del volumen del sistema diseñado (figura 21).

Figura 21. Variación del volumen del tanque de distribución Miraflores proyectado.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

Siendo 6.54 y 5.32 m el nivel mínimo encontrado en el balance total del sistema de almacenamiento para los tanques de distribución Buenos Aires y Miraflores (Tabla 21 y 22), con un volumen de 746.96 y 335.29 m³ respectivamente; se cumple que el nivel mínimo de los tanques se encuentre 1.0m¹² por encima del fondo de éstos.

Como se pudo observar en la Figura 19 y 21, el diseño justifica la expansión de los tanques para el periodo de diseño de las estructuras, ya que compensa la variación entre el caudal de entrada proveniente de la planta de tratamiento La Flora y el caudal de consumo futuro.

En cuanto al diseño propuesto para los tanques de distribución, cabe resaltar que se dispone del espacio suficiente para la construcción de las futuras ampliaciones, previendo el menor número de interrupciones posibles en el servicio de suministro (literal 9.5.2 de la norma RAS 2000, actualización 2012). Sin

¹² REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Título B. Niveles, 397p.

embargo, en el caso de los tanques de succión, no se evalúa el diseño, debido a las condiciones de infraestructura actual en la zona en que se encuentran ubicados, la cual no se presta para futuras ampliaciones.

Con respecto a la comprobación del diseño estructural, operación y comportamiento hidráulico de los tanques de distribución, se debe profundizar según lo establecido en el literal 9.6.9 y 9.4.16 de la norma RAS 2000, actualización 2012.

7.1.5 Sistemas de rebose y desagüe. Se recomienda el manejo de sistemas de rebose para los tanques de distribución diseñados, con el fin de evacuar los posibles caudales de exceso (literal 9.6.3 de la RAS 2000, actualización 2012).

En este estudio se sugiere un tubería de rebose para los tanques de distribución Buenos Aires y Miraflores, de 6 y 4” respectivamente en material PVC de 3 m, con una cámara de recolección y una rejilla de 0.1 m para cada uno. Los diámetros fueron verificados mediante el uso del software HCANALES, siendo 0.01483 m³/s y 0.0037m³/s respectivamente, el caudal de bombeo según el factor de horas de operación de las bombas (Figura 22 y 23).

Figura 22. Verificación tirante hidráulico para tubería de rebose en el tanque de distribución Buenos Aires.



Fuente: Software HCANALES.

Figura 23. Verificación tirante hidráulico para tubería de rebose en el tanque de distribución Miraflores.



Fuente: Software HCANALES.

También se recomienda la utilización de sistemas de desagüe a la hora de implementar actividades de limpieza, desinfección e inspección sanitaria, los cuales se deben realizar periódicamente para garantizar que el agua almacenada no se vea perjudicada en su calidad (literal 9.10.3 y 9.6.5 de la norma RAS 2000, actualización 2012).

En este caso, se sugiere una tubería para los tanques de distribución Buenos Aires y Miraflores de 8" y 6" de diámetro respectivamente, determinado mediante la ecuación 5 y 6, donde (A) es el área superficial del tanque, (h) es la cabeza sobre el desagüe, (m) es el coeficiente de contracción del desagüe, (a) el área de desagüe, (g) la aceleración de la gravedad y (T) el tiempo de vaciado; de tal forma que se puedan desocupar los tanques en en $4h^{13}$ (Tabla 23).

$$T(s) = \frac{2A\sqrt{h}}{m * a\sqrt{2g}} \quad (5)$$

¹³ REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Título B. Tiempo de vaciado y caudal de vaciado, 398p.

$$a(m^2) = \pi r^2 \quad (6)$$

En este caso se tomó un valor del coeficiente de contracción del desagüe de 0.5 para obtención de un mayor factor de seguridad.

Tabla 22. Valores para cálculo de la tubería de desagüe.

Parámetro	Buenos Aires	Miraflores
Área superficial del tanque (m^2)	114.3	63
Cabeza sobre el desagüe (m)	8	7.2
Coeficiente de contracción del desagüe	0.5	
Área de desagüe (m^2)	0.0202	0.0106
Aceleración de la gravedad (m/s^2)	9.81	
	453.6	
Tiempo de vaciado (s)	14400	

Fuente: Elaboración propia [Autores].

Sin embargo, por recomendación del amb S.A ESP, en este estudio se va a manejar un diámetro de desagüe de 8" en material novafort para los distritos Buenos Aires y Miraflores.

7.2 DISEÑO SISTEMA DE BOMBEO

Visto que actualmente el SB Buenos Aires y el de Miraflores no satisfacen la demanda requerida en un periodo de bombeo actual de 18 horas; éste se diseña según el análisis del balance total del sistema de almacenamiento del tanque de distribución Buenos Aires (Tabla 21) y del tanque de distribución Miraflores (Tabla 22) para la demanda proyectada, con el fin de generar la continuidad en el suministro en el periodo de diseño establecido para el sistema, en un tiempo de operación de 20 y 19 horas respectivamente.

Ya que el bombeo no se realizaría en forma continua durante las 24 horas para ninguno de los distritos estudiados, el valor del caudal de bombeo proyectado, según literal 8.4.2 de la RAS 2000, actualización 2012, para Buenos Aires y

Miraflores, a partir del factor de horas de bombeo es 14.83 l/s (0.01483 m³/s) y 3.7 l/s (0.0037m³/h).

7.2.1 Diámetro de impulsión (D.imp). Teniendo en cuenta el valor del caudal de bombeo proyectado (Q_b) para Buenos Aires y Miraflores y 20 y 19 el número de horas de bombeo por día (t), se obtiene con la Ecuación 7¹⁴ que el diámetro calculado es 0.15 y 0.07 m respectivamente.

$$D(m) = 1.2\sqrt{Qb} \quad (7)$$

Para asignar el diámetro comercial de las tuberías de impulsión, correspondiente al valor obtenido mediante cálculo, se analiza la velocidad en el diámetro comercial inmediatamente menor y mayor a éste, utilizando la Ecuación 8.

$$V(m/s) = \frac{Qb}{\frac{\pi}{4}D.imp^2} \quad V(m/s) = \frac{Qb}{\frac{\pi}{4}D.succ^2} \quad (8)$$

El valor encontrado no debe sobrepasar los límites para la velocidad en tuberías de impulsión, descritas en el literal 8.4.8.3 de la norma RAS 2000, actualización 2012.

En este caso, el diámetro de impulsión que cumple las condiciones de velocidad para Buenos Aires es el de 4" y para Miraflores de 2" (ver Tabla 24).

Tabla 23. Verificación diámetro de impulsión.

Distrito	Diámetro Comercial (in-m)		Vcalculada (m/s)	Vmínima (1m/s)	Vmáxima (6m/s)
Buenos Aires	4"	0.102	1.81	Cumple	Cumple
	6"	0.152	0.82	No cumple	Cumple
Miraflores	2"	0.051	1.81	Cumple	Cumple
	3"	0.076	0.81	No Cumple	Cumple

Fuente: Elaboración propia [Autores].

¹⁴ REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Título B. Diámetros de tuberías de succión e impulsión, 357p.

7.2.2 Diámetro de succión (D.succ). El diseño recomienda que el diámetro de la tubería de succión sea mayor que el de la tubería de impulsión por lo menos 50 mm. [6] Según lo anterior, se determina que el diámetro de succión indicado para Buenos Aires y Miraflores es de 6” y 4” respectivamente, al verificar que la velocidad en la tubería cumple con los valores mínimos y máximos establecidos en el literal 8.4.8.1 y Tabla B.8.2 RAS 2000, actualización 2012 (Tabla 25).

Tabla 24. Verificación diámetro de succión.

Distrito	Diámetro Comercial (in-m)		Vcalculada (m/s)	Vmínima (0.45m/s)	Vmáxima (1.3m/s)
Buenos Aires	6”	0.152	0.82	Cumple	Cumple
Miraflores	4”	0.102	0.45	Cumple	Cumple

Fuente: Elaboración propia [Autores].

7.2.3 Pérdidas de carga total. Las pérdidas de carga total del sistema de impulsión y succión (J), se calculan con la Ecuación 9¹⁵ para diámetros no inferiores a 50 mm, siendo (Qb) el caudal de bombeo, (D.imp–D.succ) el diámetro de impulsión y succión y (C) el coeficiente de Hazen asignado según el material de la tubería de impulsión (Tabla 26).

$$J = 10.643 \left(\frac{Q_{bombeo}^{1.85}}{D^{4.87} \cdot C^{1.83}} \right) \quad (9)$$

Tabla 25. Valores del coeficiente de Hazen según material de tubería.

Material, clase y estado del tubo	C
Tuberías de plástico nuevas	150
Tuberías muy pulidas	140
Tuberías de hierro nuevas y pulidas	130
Tuberías de hormigón armado	128
Tuberías de acero	120
Tuberías de palastro	114
Tuberías de acero usado	110
Tuberías de fundición nueva	100
Tuberías de palastro roblonado	97
Tuberías de fundición	90-80

Fuente: Libro cátedra de Ingeniería rural. Valores del coeficiente de Hazen William para distintos materiales.

¹⁵ Fórmulas empíricas para el cálculo de pérdidas de carga continuas en tuberías Disponible en: https://www.uclm.es/area/ing_rural/Trans_hidr/Tema7.PDF

7.2.4 Pérdidas por fricción en el sistema. Las pérdidas totales de impulsión y succión ($hf_{imp} - hf_{succ}$) resultan del producto entre la longitud equivalente de pérdidas por accesorios de impulsión y succión (L) para Buenos Aires y Miraflores (Tabla 27 y 28), y las pérdidas de carga total, calculadas anteriormente.

Tabla 26. Valores de la longitud equivalente de pérdidas por accesorios en la impulsión y succión Buenos Aires.

	Accesorios	Longitudes equivalentes (m)
Impulsión	Ampliación	0.612
	Válvula de retención	6.3
	Válvulas a compresión	0.5
	Codos 90°	15
	t paso directo	1.6
	Salida de la tubería	2.2
	Tramos rectos	660.85
	Total	687.062
Succión	Entrada de borda	3.2
	Válvula de pie	23
	Codos 90°	3.4
	Reducción	0.612
	Tramos rectos	4.6
	Total	34.812

Fuente: Diseño de acueductos y alcantarillado. Luis F. Silva G. y Manual de Hidráulica. José M. Acevedo.

Tabla 27. Valores de la longitud equivalente de pérdidas por accesorios en la impulsión y succión Miraflores.

	Accesorios	Longitudes equivalentes (m)
Impulsión	Ampliación	0.612
	Válvula de retención	6.3
	Válvulas a compresión	0.5
	Codos 90°	15
	t paso directo	1.6
	Salida de la tubería	2.2
	Tramos rectos	291.980
	Total	318.192
Succión	Entrada de borda	3.2
	Válvula de pie	23
	Codos 90°	3.4
	Reducción	0.91
	Tramos rectos	4.6
	Total	35.11

Fuente: Diseño de acueductos y alcantarillado. Luis F. Silva G. y Manual de Hidráulica. José M. Acevedo.

7.2.5 Cabeza de velocidad. Corresponde a la energía que posee el agua en virtud del movimiento con una velocidad V. [7] Se calcula mediante la Ecuación 10 y 11, siendo (A) el área de la tubería de impulsión y (g) la gravedad.

$$\text{Cabeza de Velocidad (m)} = \frac{Vi^2}{2g} \quad (10)$$

$$Vi(m/s) = \frac{Q_{bombeo}}{A} \quad (11)$$

7.2.6 Altura dinámica total. Siendo (HeT) el valor de la altura estática total, correspondiente a la diferencia de alturas entre los tanques de distribución y de succión para Buenos Aires y Miraflores, se determina que el valor de la altura dinámica total según la Ecuación 12¹⁶ es de 140.02 y 86.4 m respectivamente (Tabla 29).

$$HDT = HeT + \sum(hf. imp + hf. succ) + \frac{Vi^2}{2g} \quad (12)$$

Tabla 28. Valores para cálculo de altura dinámica total.

Parámetro	Buenos Aires	Miraflores
Coeficiente de Hazen	120	120
Pérdidas de carga total de impulsión (m)	0.046	0.104
Pérdidas de carga total de succión (m)	0.007	0.004
Pérdidas por fricción en impulsión (m)	31.60	33.09
Pérdidas por fricción en succión (m)	0.25	0.14
Cabeza de Velocidad (m)	0.17	0.17
Altura estática total (m)	108	53
Altura dinámica total (m)	140.02	86.4

Fuente: Elaboración propia [Autores].

7.2.7 Potencia hidráulica. Usando los valores de caudal de bombeo y de altura dinámica total para Buenos Aires y Miraflores se encuentra mediante la ecuación 3¹⁷, que la potencia hidráulica (Hhp) es de 27.32 y 4.21 hp respectivamente.

$$Hhp = \frac{1}{76} * Qb * HDT \quad (13)$$

¹⁶ LÓPEZ CUALLA. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Diseño del bombeo. Altura dinámica total.

^{17,18} HIDROSTAL. Conceptos básicos bombas centrífugas. Potencia hidráulica. Potencia al freno. Potencia requerida. Disponible en: [http://es.slideshare.net/mecanicadefluidos/bombas-centrifugas-7934169]

7.2.8 Potencia al freno. Siendo 0.65 el valor de la eficiencia, asignada entre el rango de 0.65 y 0.95, por tratarse de bombas de agua y tener factor de seguridad alto; se obtiene que la potencia al freno (Bhp) es de 42.03 y 6.48 hp para Buenos Aires y Miraflores, al dividir la potencia hidráulica entre la eficiencia.¹⁸

7.2.9 Potencia requerida. La potencia requerida por la bomba diseñada es de 46.23 hp para Buenos Aires y de 7.78 hp para Miraflores, calculada a partir de la suma de la potencia al freno y un incremento de altura debido a pérdidas de 0.2 , asignado de acuerdo al valor de la potencia al freno (Tabla 30).

Tabla 30. Incremento según potencia al freno de la bomba.

Potencia al freno (Hhp)	Incremento %
< 2 Hp	0.5
2-5 Hp	0.3
5-10 Hp	0.2
10-20 Hp	0.15
> 20 Hp	0.1

Fuente: Apuntes Instalaciones Hidráulicas. UIS.

7.2.10 Selección de la bomba. A fin de señalar la curva característica de la bomba para el SB de cada distrito, se tienen en cuenta los valores de caudal de bombeo, potencia requerida y altura dinámica total, los cuales definen la serie de la bomba que más se ajusta al diseño (ver Tabla 31).

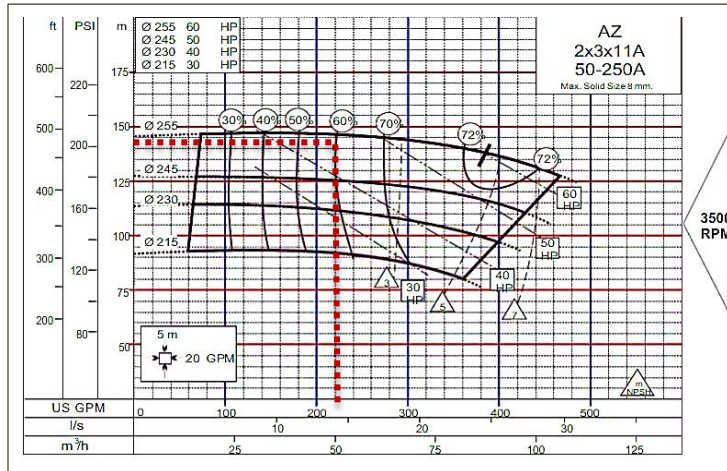
Tabla 29. Valores para definir la curva de la bomba.

Parámetro	Buenos Aires	Miraflores
Caudal de bombeo (l/s)	14.83	3.7
Potencia hidráulica (hp)	27.32	4.21
Eficiencia	0.65	0.65
Potencia al freno (hp)	42.03	6.48
Potencia requerida (hp)	46.23	7.78
Altura dinámica total (m)	140	87

Fuente: Elaboración propia [Autores].

Siendo 46.23 hp la potencia requerida por la bomba Buenos Aires para un valor comercial de 50 hp, se selecciona la serie AZ 2X3X11A 50-250A, marca Hidromac para el diseño de este SB (Figura 24).

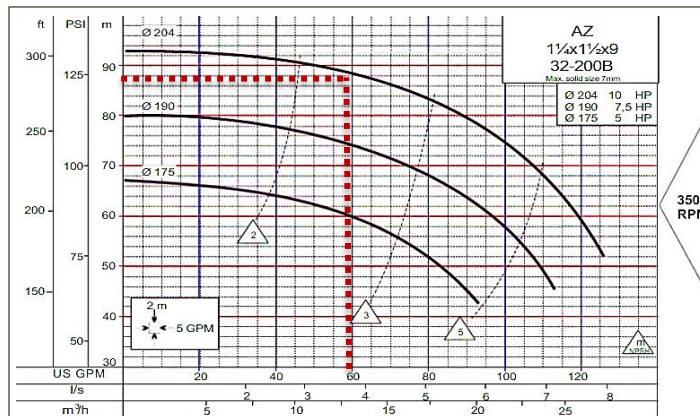
Figura 24. Curva característica - Bomba diseñada para el distrito Buenos Aires.



Fuente: Catálogo general Hidromac.

Para el sistema de bombeo Miraflores se selecciona la bomba de serie AZ 1 1/4 X 1 1/2 X9 32-200B de marca Hidromac, para una potencia comercial de 10 hp (Figura 25).

Figura 25. Curva característica - Bomba diseñada para el distrito Miraflores.



Fuente: Catálogo general Hidromac.

7.2.11 Altura neta de succión positiva disponible. Teniendo en cuenta que la presión atmosférica (P_{atm}) y la tensión de vapor (T_v) para la ciudad de Bucaramanga es 9.13 y 0.174 m, la altura estática de succión ($H_{estsucc.}$) (distancia entre el nivel del agua en el tanque de succión y el eje de la bomba¹⁹) es 1.5 y 1.6 m y las pérdidas por fricción en la succión ($h_{fsucc.}$) son de 0.25 y 0.14 m para Buenos Aires y Miraflores. Se encuentra mediante la Ecuación 14 que el valor de la cabeza neta de succión positiva disponible ($NPSH_{disp}$) es de 7.21 y 7.22 m respectivamente.

$$NPSH_{disp} = P_{atm} - \left(\frac{H_{estsucc} + H_{fsucc}}{1} \right) - T_v \quad (14)$$

A fin de que en el SB de Buenos Aires y Miraflores no ocurra el fenómeno de cavitación, se debe comprobar que la altura neta de succión positiva disponible ($NPSH_{disp}$) sea mayor que la altura neta de succión positiva requerida por el fabricante, en por lo menos un 20%, para las condiciones más adversas de operación. En ningún caso la diferencia puede ser menor que 0.5 m²⁰.

Según la Figura 24 y 25, las bombas seleccionadas para Buenos Aires y Miraflores trabajan en un rango aproximado del 60 y 50% de eficiencia, con un valor aproximado para la $NPSH_{req}$ de 2.5 y 2.8 m. Entonces se cumple el diseño para el SB Buenos Aires y Miraflores dado que:

Para el SB Buenos Aires: $7.21 - 2.5 = 4.71 > 20\%$

Para el SB Miraflores: $7.22 - 2.8 = 4.42 > 20\%$

7.3 DISEÑO RED DE DISTRIBUCIÓN

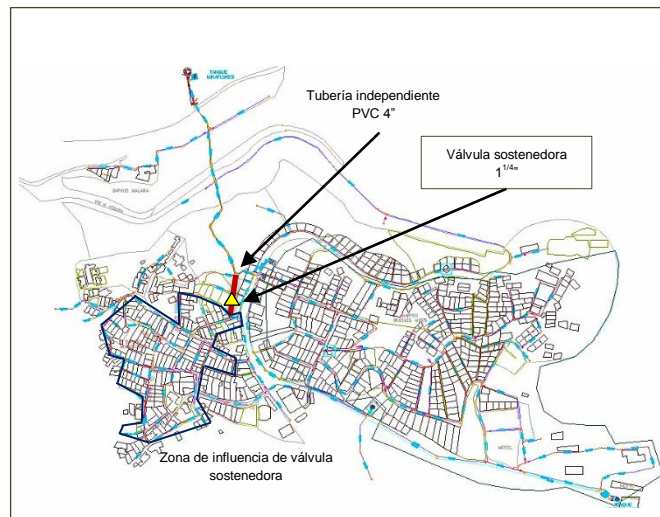
Debido a que en la evaluación operacional de la red de distribución actual, ésta presentó algunas fallas por presiones altas, velocidades bajas y presiones bajas

¹⁹ LÓPEZ CUALLA. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Diseño del bombeo. Altura estática de succión.
²⁰ REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Título B. Altura piezométrica neta de succión positiva, 357p.

en las tuberías; se diseñan algunos elementos de control para dar solución a estos inconvenientes mediante la ubicación de válvulas sostenedoras, reductoras, hidrantes y ventosas y la reposición de tuberías en la red.

7.3.1 Válvulas sostenedoras. Con el fin de mejorar las presiones mínimas encontradas en la hora crítica (1:00 pm), se propone realizar una sectorización hidráulica en la RDAP, considerando la adición de una tubería de 61 m de longitud y diámetro de 4" en PVC RDE 21, que parte desde un codo localizado en la calle 16 con carrera 54 hasta la calle 14 con carrera 55 en el distrito Miraflores (ver Figura 26).

Figura 26. Sectorización hidráulica con válvula sostenedora en la red de distribución Miraflores.



Fuente: Catastro de red. Elaboración propia [Autores].

Además, se sugiere la instalación de una válvula sostenedora de 1 1/4" de diámetro, ubicándola al final del tramo propuesto, de tal forma que se asegure una alimentación directa desde la planta La Flora y garantice presiones óptimas en la red.

Para corroborar su diseño, se verificó que el valor de la velocidad en la válvula (1.12 m/s) y la variación de la presión aguas abajo (Tabla 32), se encontraran entre los rangos establecidos, según el literal 7.4.6 y 7.4.8 la RAS 2000, actualización 2012.

Este tipo de válvulas se utilizan con el objetivo de mantener una presión determinada aguas arriba de ellas, sin tener en cuenta las posibles variaciones del caudal. [8] Así, mediante estos elementos de control, se logró compensar la variación de las presiones bajas en la zona 1 y puntos 1,2 y 3, encontradas en el diagnostico actual (Figura 15).

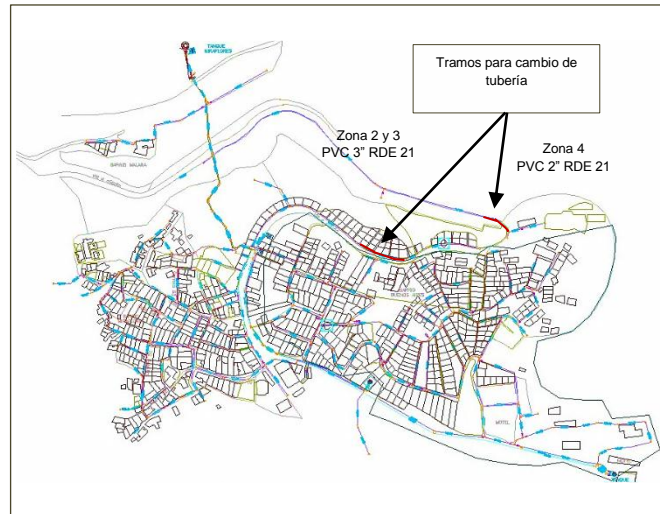
Tabla 30. Presiones aguas abajo y aguas arriba – válvula sostenedora.

Hora	Presión antes de instalar la válvula (m)		Presión después de instalar la válvula (m)	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
1	16.6	3.95	16.2	15.03
2	17.6	4.1	17.3	15.04
3	17.7	4.3	17.6	16.7
4	17.7	3.5	17.8	16.9
5	18.2	4.7	18.3	16.8
6	18.5	4.86	18.2	16.1
7	18.5	4.94	18.1	16.8
8	18.9	4.9	19.3	16.8
9	19	5.6	20.12	17.4
10	19.8	5.8	21.2	17.9
11	20.3	5.93	20.14	17.9
12	20.1	6.1	20.4	18.1
13	19.2	6.4	21.3	18.2
14	19.4	6.4	20.7	18.3
15	18.6	6.7	20.12	18.5
16	20.3	6.9	20.3	18.9
17	21.5	7.01	21.45	19.1
18	21.09	7.02	22.1	19
19	22.2	6.95	22.3	19.3
20	21.5	6.82	21.8	19.4
21	20.4	6.8	21.5	20.1
22	17.5	6.78	21.3	20.1
23	17.4	6.86	20.4	20.3
24	17.3	7.16	18.9	19.2

Fuente: Modelación de la variación de consumo. EPANET 2.0.

En cuanto a las presiones bajas identificadas en las zonas 2 y 3 (Figura 15), se recomienda cambiar la tubería de 2" a 3" de diámetro en una longitud de 72.96 m; y en la zona 4 cambiar la tubería de 2" a 4" de diámetro en una longitud de 27 m, todas en material PVC RDE 21 (Figura 27).

Figura 27. Tramos para la reposición de tubería.



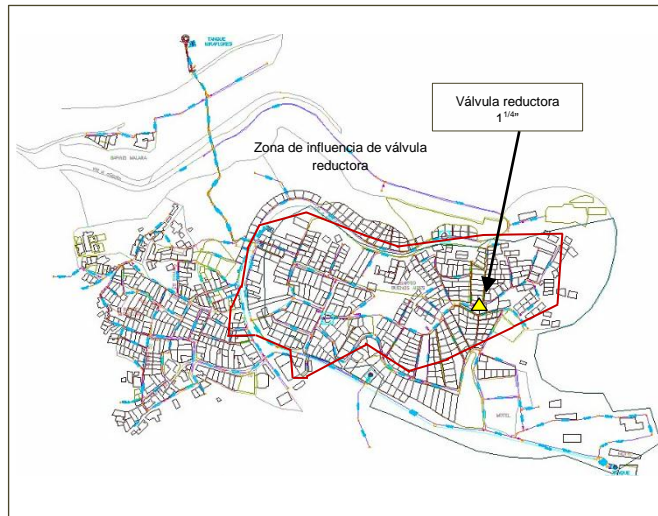
Fuente: Catastro de red. Elaboración propia [Autores].

7.3.2 Válvulas reductoras. Para tratar las presiones altas en la red de distribución se propone el uso de una válvula reductora de presión, la cual garantiza que la presión sea constante aguas abajo de la ubicación del dispositivo ²¹.

El setting de la válvula reductora recomendado es de 40.65 m con un diámetro de 11/4", al encontrarse ubicada sobre una tubería de 3", en la carrera 58 con calle 17 en Buenos Aires (Figura 28), con una velocidad de 1.27 m/s, verificada en el modelo software según literal 7.4.8 de la norma RAS 2000, actualización 2012 y un caudal mínimo, mayor a 0.9 m/s, según Tabla 33.

²¹ REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Título B. Válvula reductora de presión, 292p.

Figura 28. Zona de sectorización. Válvula reductora.



Fuente: Catastro de red. Elaboración propia [Autores].

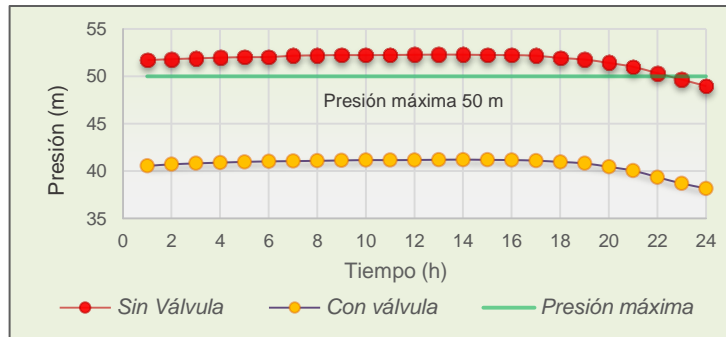
Tabla 31. Capacidad de las válvulas.

Dimensiones de la válvula (in)	Gasto Mínimo Agua		Gasto Máximo Normal Agua		Gasto Intermitente Máximo Agua	
	I/s	GPM	I/s	GPM	I/s	GPM
1 ^{1/4}	0.9	15	6.0	93	7	115
1 ^{1/2}	0.9	15	8.0	125	10	160
2	0.9	15	13.0	208	16	260
2 ^{1/2}	1.2	20	19.0	300	22	370
3	1.9	30	29.0	460	34	570
4	3.0	50	50.0	800	63	1000
6	7.0	115	113.5	1800	158	2500
8	13.0	200	195.5	3100	234	3900
10	19.0	300	309.0	4900	378	6000
12	25.0	400	442.0	7000	516	8600
14	31.5	500	536.0	8500	630	10500
16	41.0	600	694.0	11000	840	14000

Fuente: Acueductos Teoría y diseño. Fredy Corcho R. y José Duque S.

A través de este elemento de control se compensa la variación de las presiones altas en la zona 1, encontrada en el diagnóstico de la red actual; manteniendo una presión constante aguas abajo de la válvula (ver Figura 29) (Tabla 34).

Figura 29. Presiones aguas abajo – válvula reductora.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

Tabla 32. Presiones aguas abajo y aguas arriba – válvula reductora.

Hora	Presión antes de instalar la válvula (m)		Presión después de instalar la válvula (m)	
	Aguas arriba	Aguas abajo	Aguas arriba	Aguas abajo
1	40.81	51.72	40.65	40.56
2	40.9	51.82	40.81	40.72
3	40.99	51.9	42.9	40.82
4	41.16	51.98	43.99	40.9
5	41.18	52.03	43.06	40.98
6	41.23	52.04	41.11	41.03
7	41.27	52.18	41.13	41.06
8	42.2	52.22	41.27	41.09
9	42.24	52.25	42.3	41.13
10	42.26	52.24	43.29	41.17
11	42.27	52.26	41.26	41.16
12	42.3	52.28	41.27	41.18
13	42.29	52.3	41.3	41.2
14	42.27	52.29	41.29	41.22
15	42.25	52.26	41.27	41.19
16	42.19	52.24	42.3	41.17
17	42.01	52.18	42.29	41.11
18	40.71	51.94	41.27	40.97
19	40.55	51.78	41.25	40.82
20	40.16	51.42	41.19	40.45
21	39.49	51.01	41.05	40.05
22	38.85	50.33	39.49	39.36
23	38.18	49.66	40.3	38.7
24	38.16	48.98	39.2	38.18

Fuente: Modelación de la variación de consumo. EPANET 2.0.

Para verificar el diseño de la válvula reductora, se analiza la cavitación mediante la Ecuación 15, de tal manera que el valor encontrado sea mayor a 1 ²².

$$\delta = \frac{P2 + Patm - Pv}{P1 - P2 + \left(\frac{V^2}{2g}\right)} \quad (15)$$

Siendo (P1) la presión a la entrada de la válvula (74.8m), (P2) presión a la salida de la válvula (41.2m), (v) velocidad del agua (1.27 m/s), (Pv) presión de vapor (0.43m) y (Patm) presión atmosférica para la ciudad de Bucaramanga (9.63m), se encuentra que el valor de la cavitación es de 1.5. Por tanto, se comprueba que el diseño de la válvula reductora es correcto y que puede considerarse en 20 años ²³ la vida útil de ésta.

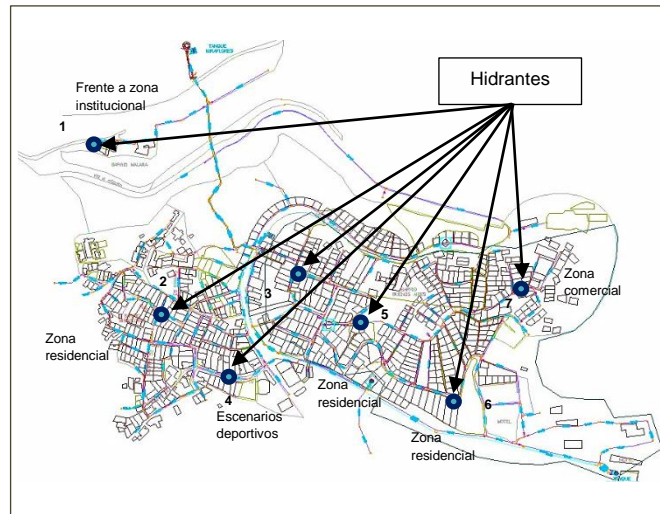
En el caso de los puntos 1, 2 y 3 (Figura 16), cuyas presiones estáticas son mayores a 50 m; para este estudio son valores admisibles, debido a que corresponden al 5% del área de la zona de presión con valores menores a 60 m (literal 7.4.6 de la norma RAS 2000, actualización 2012).

7.3.3 Hidrantes. Son elementos de un sistema de acueducto que permiten la adaptación de mangueras especiales utilizadas en extinción de incendios y otras actividades autorizadas previamente por la entidad prestadora del servicio de acueducto. [9] También se utilizan para la implementación de rutinas de operación como aperturas de hidrantes o purgas programadas, para garantizar que no se pierda la calidad del agua debido a velocidades bajas, las cuales pueden ocasionar la depositación de sólidos en la RDAP (literal 7.7.12 y 7.4.7.3 de la norma RAS 2000, actualización 2012).

^{22,23} CORCHO ROMERO F. Acueductos teoría y diseño. Diseño de válvulas, 251p.

En la Figura 30 se propone la instalación de hidrantes en material de hierro dúctil (HD), ubicados con preferencia en zonas institucionales, sectores residenciales y zonas comerciales a una distancia máxima de 300 m (literal 2.9.2 y 7.7.12 de la norma RAS 2000, actualización 2012).

Figura 30. Ubicación de hidrantes en la RDAP.



Fuente: Catastro de red. Elaboración propia [Autores].

Ver en la Tabla 35 la ubicación de los hidrantes en la red de distribución estudiada.

Tabla 33. Ubicación de hidrantes en la RDAP.

N°	Diám tub. (in)	Diám hidrante (in) ²⁴	Tipo	Ubicación
1	3"	3"	Milán	Calle 14 con calle 50.
2	3"	3"	Milán	Carrera 52 con calle 18.
3	3"	3"	Milán	Carrera 57 con calle 14.
4	3"	3"	Milán	Calle 17 entre carrera 56.
5	3"	3"	Milán	Calle 19 entre carrera 54A.
6	3"	3"	Milán	Carrera 58 con calle 18.
7	3"	3"	Milán	Carrera 58 con calle 16.

Fuente: Elaboración propia [Autores].

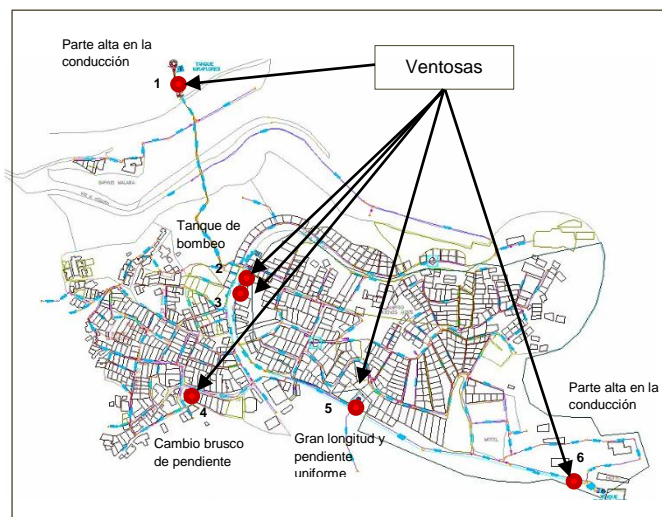
²⁴ REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Título B. Diámetros de hidrantes, 261p.

Para comprobar el diseño, se verifica la demanda mínima contra incendios en el modelo EPANET, al ser servida la zona con dos hidrantes, cada uno con un caudal mínimo de 10 l/s²⁵. En los niveles de complejidad ALTO el número de hidrantes depende de la protección exigida por los edificios públicos, las escuelas, colegios etc [10].

7.3.4 Ventosas. Las ventosas son dispositivos sencillos e imprescindibles en todo tipo de redes de distribución de agua. Su misión principal es evitar presiones negativas en las redes y sobrepresiones generadas por la presencia de aire en las tuberías.²⁶

En la Figura 31 y la Tabla 36 se ubican algunas ventosas en la red de distribución estudiada. En este caso se propone utilizar ventosas en material de hierro dúctil.

Figura 31. Ubicación de ventosas en la RDAP.



Fuente: Catastro de red. Elaboración propia [Autores].

²⁵ REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Título B. Demanda mínima contra incendios, 41p.

²⁶ DURMAN. Tubosistemas. Ventosas. Disponible en: <http://www.durman.com.co/Productos/Sistema%20Acueducto.html>

Tabla 34. Ubicación de ventosas en la RDAP.

N°	Diam tub. (in)	Diam ventosa (in)²⁷	Tipo	Ubicación
1	6"	3"	Trifuncional	Aguas abajo del Tanque Miraflores-PTAP La Flora.
2	4"	3"	Trifuncional	Aguas abajo del Tanque de succión Buenos Aires Carrera 55 calle 14-73.
3	4"	3"	Trifuncional	Aguas abajo del Tanque de succión Miraflores Carrera 55 calle 14-99.
4	3"	2"	Trifuncional	Calle 17 carrera 54-32.
5	3"	2"	Trifuncional	Calle 17 carrera 60 ^a (esquina).
6	3"	2"	Trifuncional	Aguas abajo del tanque de distribución Buenos Aires.

Fuente: Elaboración propia [Autores].

Estas se instalan con preferencia en los puntos altos de la línea de conducción, en los picos y cambios de pendiente, donde la tubería está por encima del nivel del suelo, antes de las válvulas de retención, a la salida de los tanques de bombeo y en las tuberías de gran longitud y pendiente uniforme (literal 6.7.2.4 de la RAS 2000).

7.3.5 Remoción de biopelículas. Para el nivel de complejidad del sistema alto, se debe contemplar la necesidad del lavado de las tuberías con el fin de controlar las biopelículas y los depósitos inorgánicos de diferentes orígenes que se puedan depositar al interior de las tuberías (literal 6.2.10 de la norma RAS 2000, actualización 2012).

Mediante el uso de hidrantes en puntos muertos de (literal 7.4.9 de la norma RAS 2000, actualización 2012), se implementa un sistema de control para el desprendimiento de biopelículas y depósitos inorgánicos al interior de las tuberías

²⁷ REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Título B. Válvulas de ventosa, 195p.

de la red de distribución, de tal forma que no afecte la calidad del agua potable suministrada a la población.

7.3.6 Golpe de Ariete. Para todos los niveles de complejidad del sistema, una vez finalizada la instalación de la red de distribución, debe realizarse una prueba para verificar condiciones de sobrepresión, subpresión en el sistema de distribución y cambios en el sentido de la velocidad del flujo. [11]

Dada la complejidad del fenómeno del golpe de ariete, en este estudio no se va a tener en cuenta el cálculo, sin embargo, se recomienda su análisis con detenimiento en el proceso de diseño de la conducción, identificando y evaluando los diferentes errores o fallas que se puedan presentar en su operación tal como se especifica en el literal B.6.5.8.2 de la norma RAS 2000, actualización 2012.

8. ALTERNATIVA DE OPTIMIZACIÓN

Se propone una alternativa de optimización para el sistema de distribución de los distritos Buenos Aires y Miraflores, basada en el rediseño hidráulico y físico propuesto en este artículo; a través del cual se pretende dar fin a los problemas de suministro y a la inadecuada operación de los elementos que conforman el sistema; de acuerdo a los resultados arrojados en el diagnóstico actual (ver Tabla 37).

Tabla 35. Propuesta de optimización para el sistema.

SISTEMA DE BOMBEO		
Se realizó el diseño del sistema de bombeo de Buenos Aires y Miraflores para el periodo de diseño proyectado.		
Elemento	Buenos Aires	Miraflores
Bomba (<i>serie</i>)	AZ 1 ^{1/4} X1 ^{1/2} X932-200B marca Hidromac	AZ2X3X11A50-250 ^a marca Hidromac
D. impulsión (<i>in</i>)	4"	2"
D. succión (<i>in</i>)	6"	4"
SISTEMA DE ALMACENAMIENTO		
Se realizó el diseño del sistema de almacenamiento de Buenos Aires y Miraflores para el periodo de diseño proyectado. Se recomienda la implementación de sistemas telemétricos, tubería de desagüe y rebose para el control del nivel de los tanques; y la realización de actividades de desinfección para mantener la calidad del agua suministrada.		
Elemento	Buenos Aires	Miraflores
Dimensiones Tanque de distribución (<i>m</i>)	12.7x8.3x9	9x7.8x7
D. rebose (<i>in</i>)	6"	4"
D. desagüe (<i>in</i>)	8"	8"
RED DE DISTRIBUCIÓN		
Se realizó el diseño de la red de distribución para el periodo de diseño proyectado, mediante la instalación de ventosas e hidrantes para la realización de purgas en puntos muertos de la red y la remoción de biopelículas; la instalación de una válvula reductora en Buenos Aires; una válvula sostenedora y sectorización en la red en Miraflores; y la reposición de redes en Miraflores Bajo.		
Elemento	Buenos Aires	Miraflores
D.Válvula sostenedora (<i>in</i>)	-	1 ^{1/4} " PVC RDE 21
Tubería independiente (<i>in</i>)	-	4" (61m) PVC
D.Válvula reductora (<i>in</i>)	1 ^{1/4} " PVC	-
D. Hidrantes (<i>in</i>)	3" HD	3" HD
D. Ventosas (<i>in</i>)	2", 3" HD	2", 3" HD
Cambio de tubería (<i>in</i>)	-	Miraflores bajo 3" (72.96 m), 4" (27 m) PVC

Fuente: Elaboración propia [Autores].

9. CONCLUSIONES

- Como resultado de este proyecto de investigación se generó una alternativa de optimización y rediseño para el sistema hidráulico estudiado.
- En la búsqueda de la optimización del sistema de acueducto Buenos Aires y Miraflores se analizó a detalle cada uno de los elementos que la conforman, aplicando un criterio prioritario a la hora de evaluar y diseñar las fallas presentadas actualmente, a fin de generar el mínimo costo de operación.
- Es importante actualizarse en el manejo general de diversos sistemas de información y criterios de verificación, diseño e implementación para los sistemas de acueducto, con el fin de generar un resultado de optimización adecuado.
- A la hora de evaluar y diseñar una red de acueducto, se hace indispensable el cumplimiento estricto de la norma, para asegurar el correcto funcionamiento de la red de distribución.
- Se recomienda realizar el monitoreo de caudales y presiones en la red una vez se construya el proyecto, con la finalidad de asegurar lo que se diseñó.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A ESP. Usos, oferta y demanda de agua potable gestión 2013. Sistema de Distribución. Disponible en: (<http://www.amb.com.co/Indicadores/Archivos/1gestion2012usos.pdf>)

[2] ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A ESP. Estudios y diseños de los componentes del Proyecto del Plan Maestro de Acueducto del Municipio de Pinchote. Bucaramanga. Septiembre 2011.

[3] ALMEYDA REMOLINA WILSON. Evaluación de riesgo sísmico del sistema de acueducto de Bucaramanga a partir del estudio de microzonificación sísmica indicativa de Bucaramanga. Ensayo. Compañía del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/uni/ponen3.pdf>.

[4] REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS 2000, ACTUALIZACIÓN 2012 [recurso electrónico]. Título B. Dotación neta por suscriptor. 2 edición. Bogotá D.C. Universidad de los Andes. 2010, 30p.

[5] REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS 2000, ACTUALIZACIÓN 2012 [recurso electrónico]. Título B. Curva de variación horaria de la demanda. 2 edición. Bogotá D.C. Universidad de los Andes. 2010, 40p.

[6] REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS 2000, ACTUALIZACIÓN 2012 [recurso electrónico].

Título B. Diámetros de tuberías de succión e impulsión. 2 edición. Bogotá D.C. Universidad de los Andes. 2010, 353p.

[7] M. E. GUEVARA A. HIDRÁULICA. Energía cinética por unidad de peso o cabeza de velocidad. Disponible en: <http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/introduccion.pdf>

[8] REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS 2000, ACTUALIZACIÓN 2012 [recurso electrónico]. Título B. Válvulas sostenedoras de presión. 2 edición. Bogotá D.C. Universidad de los Andes. 2010, 293 p.

[9] DECRETO 302 DE 2000. Disposiciones generales. Definiciones. Hidrante público. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4636>

[10] REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS 2000, ACTUALIZACIÓN 2012 [recurso electrónico]. Título B. Hidrantes. 2 edición. Bogotá D.C. Universidad de los Andes. 2010, 308 p.

[11] REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO RAS 2000, ACTUALIZACIÓN 2012 [recurso electrónico]. Título B. Golpe de ariete. 2 edición. Bogotá D.C. Universidad de los Andes. 2010, 321 p.

BIBLIOGRAFÍA

ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A ESP. Estudios y diseños de los Componentes del Proyecto del Plan Maestro de Acueducto del Municipio de Pinchote. Bucaramanga. Septiembre 2011.

CORCHO ROMERO, Freddy; DUQUE SERNA, José. Acueductos teoría y diseño. Primera edición, diciembre 2009.

IZUARIETA, Jorge; FRANCO, Luis; ALVARES, Héctor. Comisión Nacional del Agua: Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento. Diciembre 2007.

LOPEZ CUALLA, Ricardo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Segunda edición, 2008.

REPUBLICA DE COLOMBIA MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO DIRECCION DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. Reglamento Técnico del Sector de agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000 Título B {En línea}. {Citado Mayo 2014} disponible en: (http://cra.gov.co/apc-aa-files/3738382666265633962316339623934/4._Sistemas_de_acueducto.pdf)