

**OPTIMIZACIÓN OPERACIONAL DE LOS DISTRITOS HIDRAULICOS
COLORADO Y PABLÓN DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA.**



CRISTIAN CAMILO ARCINIEGAS SERRATO

EDISON FABIAN CEPEDA CASTRO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2014**

**OPTIMIZACIÓN OPERACIONAL DE LOS DISTRITOS HIDRAULICOS
COLORADO Y PABLÓN DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA.**

CRISTIAN CAMILO ARCINIEGAS SERRATO

EDISON FABIAN CEPEDA CASTRO

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

**DIRECTOR
ANDRES ALMEYDA ORTIZ
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2014**

DEDICATORIA

Cada vez que decidimos avanzar, nos damos cuenta que en el trayecto de nuestra vida vamos sembrando triunfos y fracasos pero tenemos que vencer estos obstáculos, que se nos presentan, para así anhelar la meta que me he planteado.

Por eso doy gracias a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado la vida para así poder lograr mis objetivos, a mis padres Luis Alfonso Cepeda y María Tulia Castro por brindarme toda su entrega, dedicación, comprensión, paciencia y sobre todo por brindarme su inmenso amor, en especial durante estos años de formación como ingeniero civil, a mis sobrinos que han sido el incentivo para salir adelante, y a todas las demás personas que han formado parte activa de mi vida y que me han permitido dejar huella en la suya.

EDISON CEPEDA

DEDICATORIA

Doy gracias a DIOS por guiarme, por no dejarme decaer a pesar de los obstáculos, por enseñarme el valor de las cosas, por demostrarme que cuando se desea de corazón todo se puede lograr.

A mi padre Enrique Arceniegas Barbosa, a mi madre Gladys Serrato Benavidez, a mi hermano Carlos Mauricio Arceniegas Serrato y a todas aquellas personas que estuvieron en este proceso les agradezco de corazón su apoyo, su confianza y más que eso el cariño brindado en cada momento, en cada situación, a pesar de las circunstancias siempre estuvieron hay con una palabra de aliento, de motivación, brindándome la fuerza necesaria para poder cumplir este objetivo.

Deseo poder algún día retribuir todo este cariño y apoyo que me brindaron en estos 5 años, porque sin ustedes esto no hubiera sido posible.... De corazón GRACIAS....

CRISTIAN ARCENIEGAS

AGRADECIMIENTOS

Nuestro sincero agradecimiento al acueducto metropolitano de Bucaramanga (amb), Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), a la Universidad Industrial de Santander (UIS), por brindarnos información relevante, próxima pero muy cercana a la realidad de nuestras necesidades.

Al ingeniero Andrés Almeyda Ortiz Director del proyecto, por su disposición y apoyo durante el desarrollo del proyecto de grado, para que este proyecto sea de gran importancia.

A la Ing. (a). Yurley Jaimes por su orientación, confianza y apoyo en este proyecto de investigación.

A la Ing. (a). Paola Deantonio por su apoyo y colaboración en este proceso de aprendizaje.

A nuestros docentes que siempre nos entregaron su cordial amistad y nos brindaron sus conocimientos e ideales, para ser competitivo en la vida profesional y siempre tendremos presente lo aprendido en las aulas universitarias.

A los familiares y amigos que de una u otra forma colaboraron al desarrollo de nuestra carrera por su orientación, confianza y apoyo en esta investigación.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS DISTRITOS HIDRÁULICOS COLORADO – PABLÓN	19
1.1. LOCALIZACIÓN	19
1.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	19
1.2.1. Distritos Hidráulicos Angelinos	20
1.2.1.1. Tanque Angelinos	21
1.2.2. Distritos Hidráulicos Colorado	21
1.2.2.1. Tanque los Colorados	22
1.2.2.2. Red de distribución	22
1.2.3. Distritos Hidráulicos el Pablón	23
1.2.3.1. Sistema de Bombeo el Pablón	23
1.2.3.1.1. Tanque se succión	24
1.2.3.1.2. Tanque elevado	25
1.2.3.1.3. Sistema de bombeo	26
1.2.3.2. Red de distribución	27
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	28

3. METODOLOGÍA UTILIZADA	29
4. DIAGNOSTICO	30
5. CÁLCULOS DE PARÁMETROS DE DISEÑO	31
5.1. NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA	31
5.2. DETERMINACIÓN DE LA POBLACIÓN FUTURA	32
5.2.1. Periodo de diseño	32
5.2.2. Población proyectada	33
5.3. DOTACIÓN	35
5.3.1. Dotación neta	35
5.3.2. Dotación bruta	36
5.4. DEMANDA	37
5.4.1. Caudal medio diario	37
5.4.2. Caudal máximo diario	39
5.4.3. Caudal máximo horario	40
6. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	42
6.1. CAUDAL DE BOMBEO	44
6.2. DIAMETRO DE IMPULSIÓN	45
6.3. DIAMETRO DE SUCCIÓN	46
6.4. ALTURA DINÁMICA TOTAL	49
6.5. POTENCIA	49

6.6. ALTURA PIEZOMETRICA NETA DE SUCCIÓN	51
6.7. ANÁLISIS DE LA CONDUCCIÓN ANGELINOS-COLORADOS	53
6.8. ANÁLISIS DE PRESIONES	54
6.8.1. Análisis del distrito hidráulico Colorados	54
6.8.1.1. Presión mínima	54
6.8.1.2. Presión Máxima	57
6.8.2. Análisis del distrito hidráulico Pablón	58
6.8.2.1. Presión mínima	58
6.8.2.2. Presión Máxima	59
6.8.2.3. Variación de presiones	59
6.9. ANÁLISIS DE VELOCIDADES	60
6.10. GOLPE DE ARIETE	63
6.11. VENTOSAS	63
6.12. HIDRANTES	66
6.13. ANÁLISIS TANQUE PABLÓN	70
6.14. ANÁLISIS TANQUE COLORADOS	74
7. CONCLUSIONES	75
BIBLIOGRAFÍA	76
CITAS	77

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. Diámetros, longitudes y materiales del distrito Colorados	22
TABLA 2. Diámetros, longitudes y materiales del distrito el Pablón	27
TABLA 3. Población 2005	31
TABLA 4. Asignación del nivel de Complejidad	32
TABLA 5. Periodo de Diseño	33
TABLA 6. Total habitantes distritos Colorado-Pablón	34
TABLA 7. Dotación neta según Nivel de Complejidad del Sistema	35
TABLA 8. Opciones hidráulicas utilizadas en el software EPANET	42
TABLA 9. Caudal máximo diario proyectado	45
TABLA 10. Caudal de la bomba	45
TABLA 11. Diámetro de impulsión	45
TABLA 12. Perdidas por accesorios de la impulsión	47
TABLA 13. Perdidas por accesorios de la Succión	48
TABLA 14. Incremento, dependiendo de la Potencia al Freno (Hp)	50
TABLA 15. Resultados potencia y caudales	51
TABLA 16. Detalles de tuberías a reponer	62
TABLA 17. Ubicación y características de los hidrantes distrito Colorado	68

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Esquema actual sectores Colorado-Pablón	20
FIGURA 2. Distritos hidráulicos Colorados	21
FIGURA 3. Distritos hidráulicos Pablón	23
FIGURA 4. Sistema de bombeo el Pablón	24
FIGURA 5. Fotografía tanque de succión	25
FIGURA 6. Fotografía tanque el Pablón	25
FIGURA 7. Grafica de caudal de bombeo actual	26
FIGURA 8. Fotografía bombas de impulsión	27
FIGURA 9. Proyección Poblacional mediante línea de Tendencia	34
FIGURA 10. Índice de agua no contabilizada (IANC)	37
FIGURA 11. Curva de modulación	43
FIGURA 12. Variación de volúmenes actual	44
FIGURA 13. Curva característica bomba	53
FIGURA 14. Sector de la sostenedora	55
FIGURA 15. Sectorización del sector en estudio	55
FIGURA 16. Sector independiente	56
FIGURA 17. Parte baja los colorados con carrera 21	57

FIGURA 18. Parte alta los colorados con carrera 22	58
FIGURA 19. Pablón alto, carrera 11 con calle 13	59
FIGURA 20. Variación de presión actual	60
FIGURA 21. Variación de presiones optimizado	60
FIGURA 22. Carrera 23 y 24	61
FIGURA 23. Avenida 54N	62
FIGURA 24. Ubicación de ventosas distrito Colorados	64
FIGURA 25. Ubicación de ventosas distrito Pablón	65
FIGURA 26. Ubicación de hidrantes Distrito Colorados	67
FIGURA 27. Ubicación de ventosas distrito el Pablón	68
FIGURA 28. Variación de presiones con dos hidrantes	69
FIGURA 29. Ubicación de volúmenes tanque actual	70
FIGURA 30. Tanque elevado actual	71
FIGURA 31. Ampliación tanque elevado	71
FIGURA 32. Variación de volúmenes según aplicación de tanque	72
FIGURA 33. Dimensiones de la ampliación tanque de succión	73

RESUMEN

TITULO: OPTIMIZACIÓN OPERACIONAL DE LOS DISTRITOS HIDRAULICOS COLORADO Y PABLÓN DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA*.

AUTORES: CRISTIAN CAMILO ARCINIEGAS SERRATO
EDISON FABIAN CEPEDA CASTRO**

PALABRAS CLAVES: red de distribución, perímetro sanitario, red existente.

DESCRIPCION:

El proyecto de investigación muestra las soluciones a los problemas encontrados en la red de distribución de agua potable actual de los distritos hidráulicos Colorados y Pablón del municipio de Bucaramanga. Tomando como base la infraestructura existente, los criterios mostrados en el Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000, y del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (amb S.A.E.S.P.); se realiza un análisis del sistema.

El trabajo inicia con la descripción de los distritos hidráulicos y la proyección de la población para el año 2043, se sigue con el cuerpo del trabajo que se divide en 2 partes, la primera es el análisis de cada uno de los factores que intervienen en el sistema (bombas, red de distribución, tanques), debido a que la bomba de impulsión no cuenta con la capacidad suficiente para cubrir la demanda de 8.69 Lps, la red de distribución tiene una variación de presiones y velocidades en sectores localizados en la calle 58, carrera 11, carrera 21, carrera 22, carrera 23 y carrera 24 y el almacenamiento de los tanques, ya que estos cuentan con la capacidad suficiente. La segunda parte se basa en la alternativa de solución para cada uno de los problemas encontrados.

Este trabajo de grado se centra en la optimización operacional de la red de distribución de agua potable de estos distritos para garantizar un servicio constante hasta el año 2043.

* Proyecto de Grado.

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

ABSTRACT

TITLE: OPERATIONAL OPTIMIZATION OF DISTRICTS HYDRAULIC AND COLORADO TOWN PABLÓN BUCARAMANGA*.

AUTHORS: CRISTIAN CAMILO ARCINIEGAS SERRATO
EDISON FABIAN CEPEDA CASTRO**

KEYWORDS: distribution network, sanitary perimeter, existing network.

DESCRIPTION:

The research project shows the solutions to the problems encountered in the distribution of current drinking water Pablón the Colorados and the municipality of Bucaramanga water districts Based on the existing infrastructure, the criteria shown in the Technical Regulations of the drinking water and basic sanitation RAS 2000 and Aqueduct Metropolitano de Bucaramanga (amb SA ESP); system analysis is performed.

The work begins with a description of the water districts and the projected population for the year 2043 , it follows the body of the work is divided into 2 parts , the first is the analysis of each of the factors involved in the system (pumps, distribution network, tanks) , because the circulation pump does not have enough capacity to meet the demand of 8.69 Lps , the distribution has a variation of pressures and speeds in areas located on 58th Street race 11 race 21 , race 22 , race 23 and race 24 and storage tanks, as these have sufficient capacity. The second part is based on the alternative market solution to one of the problems encountered.

This work focuses on grade operational optimization of the distribution of potable water in these districts to ensure continuous service until 2043.

* Graduation Project.

** Faculty of Engineering physico - mechanical. School of Civil Engineering. Directed by Andrés Almeyda Ortiz.

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta que cada día la población aumenta y requiere mayores recursos, como lo es en este caso el agua potable, es necesario que constantemente se esté verificando y analizando el sistema de acueducto que existe actualmente. Esto permite que al transcurrir un periodo de tiempo el sistema vaya a la par con el crecimiento y las necesidades que la población requiera.

Una de las partes del sistema hidráulico a la cual se le debe prestar atención es a la red de distribución de agua potable, siendo esta la parte principal por la cual se transporta el agua al usuario, su adecuado funcionamiento y mantenimiento garantiza un flujo constante y permanente a la totalidad del sistema.

Para los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Girón el agua es suministrada por el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga (amb S.A E.S.P); entidad encargada de abastecer a toda la población urbana que se encuentre dentro del perímetro sanitario. Es de gran importancia para el amb mantener un análisis constante de toda su infraestructura hidráulica, pero en ocasiones los problemas aparecen, como en el caso de los distritos hidráulicos de Colorados y el Pablón, que han venido presentando una serie de inconformidades con el servicio prestado debido a bajas presiones en el sistema.

Este proyecto tiene como fin la optimización operacional de la red de distribución de agua potable, de estos dos distritos hidráulicos ubicados al norte del municipio de Bucaramanga.

Para este proyecto se requiere describir los parámetros y especificaciones que deben aplicarse para el diseño de la red de distribución de agua potable según el RAS 2000 Titulo B versión 2012 (Reglamento técnico del sector de agua potable

y de saneamiento básico), al igual que la normatividad manejada por el P.O.T (Plan de ordenamiento territorial) del municipio Bucaramanga, decreto Nacional 4002 de 2004 [1].

El objetivo del proyecto es plantear una alternativa para mejorar las condiciones de abastecimiento de agua potable a los habitantes que residen en esta área del municipio de Bucaramanga, optimizando el sistema de distribución de agua potable para esta comunidad, lo que permitirá a su vez el fortalecimiento de la situación socioeconómica de la zona.

1. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS DISTRITOS HIDRÁULICOS COLORADO-PABLÓN

1.1. LOCALIZACIÓN

El proyecto se centra en la zona norte del municipio de Bucaramanga, según la división político urbana se denomina comuna 1 norte y está conformada por los siguientes barrios: El Rosal, Colorados, Café Madrid, Las Hamacas, Altos del Kennedy, Kennedy, Balcones del Kennedy, Las Olas, Villa Rosa (sectores I, II y III), Omagá (sectores I y II), Minuto de Dios, Tejar Norte, Miramar, Miradores del Kennedy, El Pablón (Villa Lina, la Torre, Villa Patricia, Sector Don Juan, Pablón Alto y Bajo) [2]. Para su ingreso se tiene dos vías principales como son (vía Bucaramanga y vía al Mar), su estrato social se encuentra en los niveles 1 y 2, sus vías de acceso son de tipo terciario, debido a su ubicación tiene un alto grado de amenaza sísmica ya que la mayor parte de su perímetro está rodeado de zona montañosa.

Para el caso en estudio nos ubicaremos en los distritos hidráulicos Colorados y Pablón que comprenden los barrios el Rosal, Miradores de los Colorados, barrio nuevo, ICBF, sub-estación de energía los palos, barrio los colorados, Villa Lina, la Torre, Villa Patricia, Sector Don Juan, Pablón Alto y Bajo

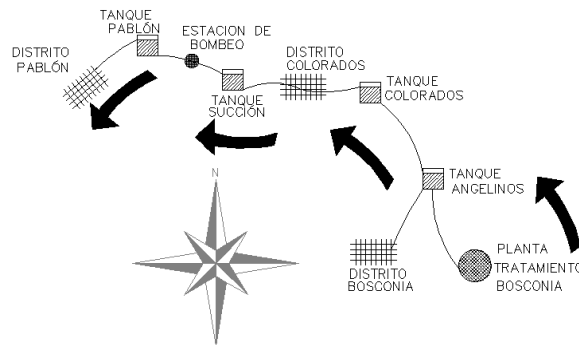
1.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema está conformado por dos distritos hidráulicos el cual consta de cuatro tanques de almacenamiento, tres de ellos semienterrados (Tanque Angelinos, Tanque Colorados y Tanque de Succión) y un tanque elevado el Pablón.

El funcionamiento del sistema de abastecimiento inicia con la toma de agua del río surata y es transportada a la planta de tratamiento de agua potable Bosconia,

donde posteriormente es bombeada al tanque Angelinos; este distribuye el agua al sector de Bosconia y al tanque Colorados mediante una conducción de 8" de asbesto cemento, el a su vez distribuye el agua por gravedad al distrito hidráulico Colorados y al tanque de succión del Pablón, donde este por medio de bombeo abastece al tanque elevado ubicado en el barrio el Pablón alto y distribuye el agua por gravedad al distrito hidráulico el Pablón (ver figura 1).

Figura 1: Esquema actual sectores Colorado-Pablón.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

El área de estudio que comprende este proyecto se basa en el sistema de distribución que parte del tanque Angelinos hasta llegar al distrito el Pablón.

1.2.1. Distrito Hidráulico Angelinos.

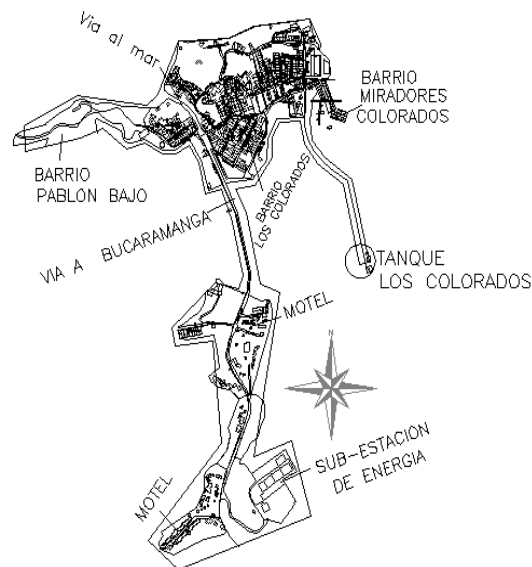
Este distrito no es objeto de este estudio por lo tanto no se tendrá en cuenta en la respectiva optimización, pero es necesario describir el tanque de almacenamiento.

1.2.1.1. Tanque Angelinos.

Ubicado a una cota de 887.9 msnm. Con un volumen 115 m³ y tiene una capacidad de almacenamiento de 105 m³ y un área de 25 m² de concreto armado.

1.2.2. Distrito Hidráulico Colorados.

Figura 2: Distrito Hidráulico Colorados.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

Este distrito comprende los barrios el Rosal, Miradores de los Colorados, Pablón Bajo, barrio nuevo, ICBF, sub-estación de energía los palos y al barrio los colorados, cuenta con una población actual de aproximadamente 5231 habitantes. Se abastece del tanque Angelinos mediante gravedad y distribuye el agua al distrito Colorados y al distrito el Pablón, adicionalmente cuenta con un tanque de almacenamiento, denominado tanque colorados.

1.2.2.1. Tanque los Colorados.

Ubicado a una cota de 858.5 msnm. Con un volumen 1129.59 m³ y tiene una capacidad de almacenamiento de 1022.01 m³ y un área de 268.95 m² de concreto armado, es alimentado por gravedad mediante una conducción de 8" asbesto cemento con una longitud de 1838.8 metros desde el tanque Angelinos.

Actualmente el tanque se encuentra en buen estado, al igual que los sistemas hidráulicos usados para controlar el ingreso y la salida de agua.

1.2.2.2. Red de distribución.

La red de distribución existente del distrito hidráulico Colorados, está conformados por tuberías de diámetros de 1", 2", 3", 4", 6" y 8", siendo estas de material de PVC y Asbesto Cemento, las longitudes y respectivo material se pueden observar en la tabla 1. Para la optimización operacional nos apoyaremos en el cumplimiento del reglamento técnico RAS 2000 Título B actualizado FEB-2012.

Tabla 1: Diámetros, longitudes y materiales del distrito Colorados.

DIÁMETRO (in)	LONGITUD TOTAL (m)	MATERIAL	RUGOSIDAD (mm)
1"	70.42	PVC	0.0015
2"	1717.3	PVC	0.0015
3"	2739.17	PVC	0.0015
4"	1492.98	PVC	0.0015
6"	527.08	PVC	0.0015
6"	294.75	AC	0.03
8"	586.06	AC	0.03

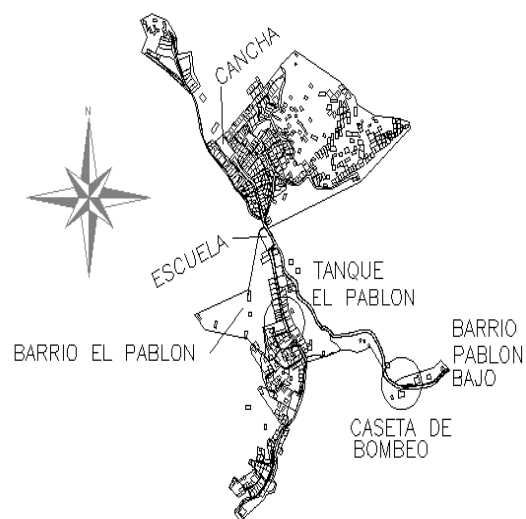
Fuente: Elaboración propia [Autores].

PVC: Policloruro de vinilo

AC: Asbesto Cemento

1.2.3. Distrito Hidráulico el Pablón.

Figura 3: Distrito hidráulico el Pablón.



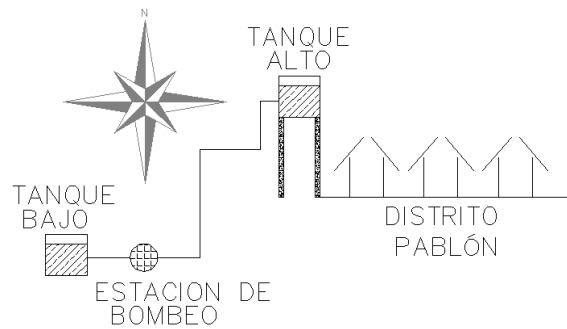
Fuente: Elaboración propia [Autores].

Este distrito comprende los barrios Villa Lina, la Torre, Villa Patricia, Sector Don Juan, Pablón Alto y Bajo, cuenta con una población actual de aproximadamente 2167 habitantes; posee un sistema de bombeo tanque bajo-tanque alto para abastecer a la población.

1.2.3.1. Sistema de bombeo el Pablón.

Este sistema está conformado por una estación de bombeo, un tanque bajo (succión) y un tanque elevado que se describen a continuación (ver figura 4).

Figura 4: Sistema de bombeo el Pablón.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

1.2.3.1.1. Tanque de succión.

Ubicado a una cota de 817 msnm. Con un volumen 22.4 m³ y tiene una capacidad de almacenamiento de 16.8 m³ y un área de 14 m² de concreto armado, es alimentado directamente por las redes de distribución del tanque los colorados.

Actualmente debido a los químicos usados para el tratamiento del agua (cloro), se ven afectadas las tuberías de entrada al tanque, al igual que los pasos de ingreso y salida del mismo producto de la corrosión.

Figura 5: Fotografía tanque de succión.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

1.2.3.1.2. Tanque elevado.

Ubicado a una cota de 915 msnm. Con un volumen 64.26 m³ y tiene una capacidad de almacenamiento de 49.14 m³ y un área de 37.8 m² de concreto armado, con una altura de 11 m sobre el nivel del suelo aproximadamente.

Su perímetro se encuentra rodeado de una malla de seguridad para evitar el ingreso de los habitantes, se observó el tanque se encuentra en buen estado, al igual que las tuberías que permiten la entrada y salida del agua.

Figura 6: Fotografía tanque el Pablón.

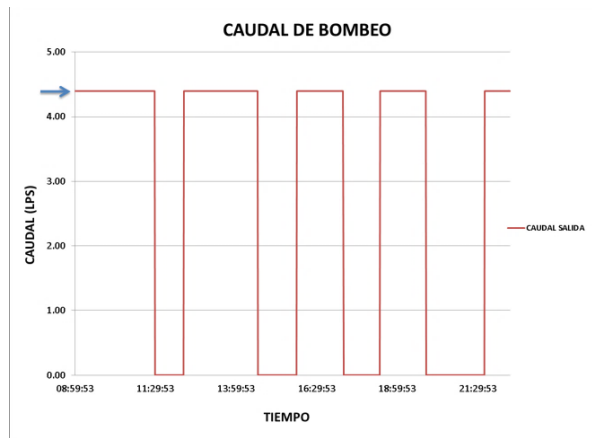


Fuente: Elaboración propia [Autores].

1.2.3.1.3. Sistema de bombeo.

El sistema de bombeo del Pablón cuenta con 2 bombas de serie AZ 1¼X1½X11A las cuales trabajan en paralelo, alternando su funcionamiento. Estas bombas suministran un caudal de salida de aproximadamente 4.4 LPS con una potencia de 30 HP. En la siguiente imagen se muestra el caudal de bombeo actual.

Figura 7: Grafica de caudal de bombeo actual.



Fuente: amb S.A E.S.P.

El cuarto de bombas se encuentra en una zona de inestabilidad con asentamientos y movimientos constantes, provocando en la estructura fisuras; debido a la vibración en las tuberías de impulsión se hizo necesario la apertura de un hueco en la pared para evitar daños en la tubería, en el caso de las bombas se recomienda realizar mantenimientos preventivos para asegurar un mejor funcionamiento, y la reconstrucción de la caseta de bombeo.

Figura 8: Fotografía bombas de impulsión.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

1.2.3.2. Red de distribución

La red de distribución existente del distrito hidráulico el Pablón, está conformados por tuberías de diámetro 1", 2", 3" y 4", siendo estas en PVC, las longitudes y respectivo material se pueden observar en la tabla 2. Para la optimización operacional nos apoyaremos en el cumplimiento del reglamento técnico RAS 2000 Título B actualizado FEB-2012.

Tabla 2: Diámetros, longitudes y materiales del distrito hidráulico el Pablón.

DIÁMETRO (in)	LONGITUD TOTAL (m)	MATERIAL	RUGOSIDAD (mm)
1"	47.64	PVC	0.0015
2"	1020.71	PVC	0.0015
3"	731.24	PVC	0.0015
4"	252.82	PVC	0.0015

Fuente: Elaboración propia [Autores].

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los servicios de agua potable y saneamiento básico son elementos esenciales para asegurar una buena salud de los habitantes de estos sectores, las deficiencias en algunos de estos sistemas deben ser identificados; por esta razón es de gran importancia el diagnóstico físico y operativo de la infraestructura actual de la red de distribución, cuyo análisis muchas veces llega a concluir que primero es necesario restaurar plenamente la capacidad de un sistema antes de pensar en ampliaciones, ya que renovar y optimizar componentes que estén dentro de su periodo de vida útil será más económico[3].

Una vez analizada la problemática del sector Colorado-Pablón, la comunidad en diferentes reuniones y secciones de trabajo focalizo como problema principal y de mayor envergadura, la deficiente presión en el servicio de agua potable en algunos sectores [3].

El problema al que nos enfrentamos es la falta de abastecimiento de agua potable en algunas horas del día debido a bajas presiones, generando la no continuidad del servicio que se ve reflejada en las quejas y reclamos de la comunidad.

Con la finalidad de solucionar esta situación el presente estudio, propone un análisis, mejoramiento y optimización del sistema de distribución de los distritos hidráulicos Colorados y Pablón para garantizar presiones óptimas y la continuidad del servicio.

3. METODOLOGÍA UTILIZADA

Para realizar la modelación hidráulica del sector de estudio, se hace necesario contar con la siguiente información: catastro de redes, catastro de suscriptores, catastro urbanístico, topología de la red, curvas de nivel, ubicación de tanques y elementos de control, así como es fundamental disponer de los datos de los consumos (demanda), gastos de entrada y salida al sector de la red, información suministrada por amb S.A E.S.P.

Fue necesario realizar visitas técnicas, ya que no se contaba con información de las dimensiones de los tanques utilizados para la posterior modelación en el software, también se generaron evidencias fotográficas.

Se trabajó con una curva de modulación suministrada por el amb S.A E.S.P para variar la demanda. Una vez terminado lo anterior, se hizo un análisis detallado del comportamiento de la red de distribución, bombas, tanques y las conducciones.

Según los resultados obtenidos y el análisis de los mismos, proponemos una alternativa para el mejoramiento del sistema de la red de distribución de los distritos hidráulicos Colorados y Pablón.

4. DIAGNOSTICO

Con la finalidad de materializar la problemática observada, se utilizó el software EPANET para realizar un modelo hidráulico del sistema. Este programa efectúa un seguimiento de los caudales en las tuberías, las presiones en los nodos, los niveles en los depósitos, a lo largo del periodo de simulación en múltiples intervalos de tiempo, empleando para tal fin el Algoritmo del Gradiente Hidráulico [4].

Los resultados observados al correr el modelo actual, nos indican que existen fallas en el sistema. Estas fallas ocurren debido a que en algunas zonas de la red existen presiones menores a las mínimas que generan inconformidad en el servicio prestado y en otras zonas las presiones superan las máximas establecidas por el RAS-2000 FEB-2012 que pueden generar posibilidad de rotura por estallido en las tuberías, también tenemos tramos donde las velocidades son menores a las recomendadas ocasionando pérdida en la concentración de cloro residual.

También se observa que en el momento de hacer mantenimientos correctivos de la red de distribución, los tanques del sistema el Pablón no tienen la capacidad de abastecer a la población en un periodo de suspensión de 8 horas.

En el sistema existen varios factores por los cuales puede haber fallas, uno de ellos se encuentra en la capacidad de la bomba actual del sistema el Pablón.

5. CÁLCULOS DE PARÁMETROS DE DISEÑO

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos según el censo realizado por el DANE en el año 2005 para el municipio de Bucaramanga.

Tabla 3: Población 2005.

Año	Sector Urbano Habitantes	Sector Rural Habitantes	Total Habitantes
2005	509,135	7,325	516,460

Fuente: (CENSO DANE-2005).

Para el caso en estudio tomaremos los habitantes de la zona urbana del municipio de Bucaramanga.

5.1. NIVEL DE COMPLEJIDAD DEL SISTEMA

Para asignar el Nivel de Complejidad del sistema se tuvo en cuenta:

- La población total para la zona urbana del municipio de Bucaramanga es de 509.135 habitantes (ver tabla 3).
- La asignación del Nivel de complejidad del sistema para zona abastecida por el amb S.A E.S.P, se realizó siguiendo los lineamientos establecidos en el capítulo A3 del RAS 2000 resolución 2320 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT).

Tabla 4: Asignación del Nivel de Complejidad.

Nivel de Complejidad	Población en la Zona Urbana (Habitantes)	Capacidad Económica de los Usuarios
Bajo	0-2.500	Baja
Medio	2.501-12.500	Baja
Medio Alto	12.501-60.000	Media
Alto	> 60.000	Alta

Fuente: RAS-2000 Resolución 2320 (MAVDT).

Con base en lo anterior se clasifico como **ALTO**, el Nivel de Complejidad del municipio de Bucaramanga.

5.2. DETERMINACIÓN DE LA POBLACIÓN FUTURA

5.2.1. Periodo de Diseño.

Teniendo en cuenta las condiciones básicas del proyecto como la demanda futura y la factibilidad de ampliación de la tasa de crecimiento de la población, con base en la resolución número 2320 expedida el día 27 de noviembre de 2009 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), se determinó el periodo de diseño.

Tabla 5: Periodo de Diseño.

Nivel de Complejidad del Sistema	Periodo de diseño
Bajo, Medio y Medio alto	25 años
Alto	30 años

Fuente: Tabla B.4.2, RAS-2000 FEB-2012.

El municipio de Bucaramanga al tener un nivel de complejidad ALTO se toma como periodo de diseño 30 años y se proyecta la población hasta el año 2043.

5.2.2. Población proyectada.

Se tienen en cuenta las proyecciones de Población elaboradas por la Dirección de Censos y Demografía del DANE “Departamento Administrativo Nacional de Estadística” para los años de 1985-2020.

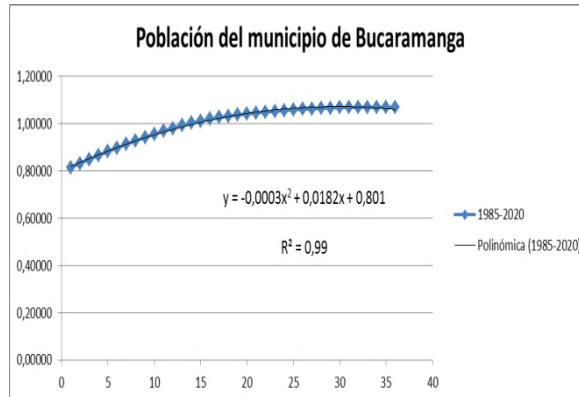
Estas proyecciones fueron realizadas tomando como base los resultados ajustados de población del Censo 2005 y la conciliación censal 1985-2005 [5].

Se graficaron los datos de población del municipio de Bucaramanga de 1985-2020 elaborados por DANE , para posteriormente obtener la ecuación del tipo de tendencia que más se ajustaba al comportamiento de los datos, para de esta forma realizar la proyección de la población hasta el año 2043.

Se obtuvo la siguiente ecuación que más se ajustó al crecimiento poblacional donde “Y= Población” y “X=Año” obteniendo así los habitantes proyectados para el año 2043:

$$y = -0,0003x^2 + 0,0182x + 0,801 \quad (1)$$
$$R^2 = 0,9964$$

Figura 9: Proyección Poblacional mediante línea de Tendencia.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

Mediante la ecuación de crecimiento poblacional se obtuvo un factor de 1.077; Por lo tanto se obtiene una población futura de Colorados y Pablón para el año 2043 de 7968 habitantes para el final del periodo de diseño.

A continuación se definirá más detalladamente el total de habitantes actuales y proyectados para el año 2043 de cada distrito hidráulico y en conjunto.

Tabla 6: Total habitantes distritos Colorado-Pablón.

	Pablón	Colorados	Pablón-colorados
Población Actual 2013	2167	5231	7398
Población Futura 2043	2334	5634	7968

Fuente: Elaboración propia [Autores].

Para la proyección de la población futura de estos sectores, se tuvo en cuenta que la zona es de alto grado de amenaza sísmica y por su ubicación no es posible el crecimiento territorial, por lo tanto se mantiene el mismo perímetro de

servicio. Su crecimiento poblacional será por redensificación de las áreas ya construidas.

5.3. DOTACIÓN

5.3.1. Dotación Neta.

La dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto. En el presente estudio la dotación del suministro de agua es principalmente de uso residencial de acuerdo con las características de uso potencial del suelo.

Tabla 7: Dotación neta según Nivel de Complejidad del Sistema.

Nivel de Complejidad del Sistema	Dotación neta máxima para poblaciones de clima frío o templado. L/hab-día	Dotación neta máxima para poblaciones de clima cálido. L/hab-día
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio-Alto	125	135
Alto	140	150

Fuente: Tabla B.2.3, RAS-2000 FEB-2012.

El municipio de Bucaramanga se encuentra localizados a una elevación promedio sobre el nivel del mar de 959 m y el nivel de complejidad del sistema es **Alto** por lo tanto la dotación neta máxima será de 150 L/hab-día.

5.3.2. Dotación Bruta

La Dotación bruta es la cantidad máxima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante considerando para su cálculo el porcentaje de pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto.

La Dotación bruta para el diseño de cada uno de los componentes que conforman un sistema de acueducto, indistintamente del nivel de complejidad, se debe calcular conforme a la siguiente ecuación:

$$D_{bruta} = \frac{d_{neta}}{(1-\%P)} \quad (2)$$

Dónde:

dbruta: dotación bruta

dneta: dotación neta

%p: pérdidas máximas admisibles

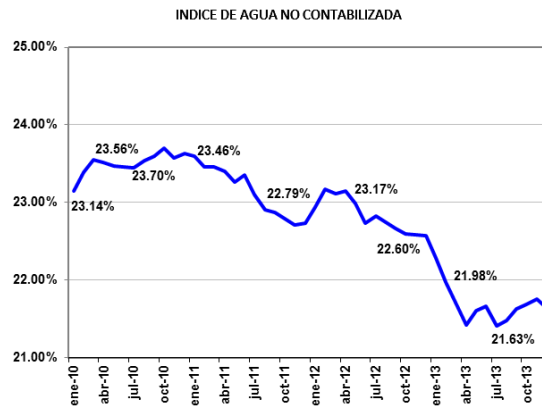
El porcentaje de pérdidas máximas admisibles no deberá superar el 25% (ver figura 10).

El valor del porcentaje de pérdidas administrado por el amb S.A E.S.P para el municipio de Bucaramanga es del 22%.

$$D_{bruta} = \frac{150}{(1 - 0.22)} = 192.31 \text{ litros/hab} - \text{ día}$$

La dotación bruta es de 192.31 litros/hab – día, pero para obtener un mayor factor de seguridad se toma una dotación bruta de 200 litros/hab – día.

Figura 10: Índice de agua no contabilizada (IANC).



Fuente: amb S.A E.S.P.

5.4. DEMANDA

5.4.1. Caudal medio diario.

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

$$Q_{md} = \frac{P * D_{bruta}}{86400} \quad (2)$$

Dónde:

Q_{md} : caudal medio diario

P: número de habitantes proyectado

dbruta: dotación bruta dada en L/hab•día.

Sector el Pablón

Caudal medio diario actual

$$Q_{md\ 2013} = \frac{2167 * 200}{86400} = 5.016\ Lps$$

Caudal medio diario proyectado

$$Q_{md\ 2043} = \frac{2334 * 200}{86400} = 5.403\ Lps$$

Sector los Colorados

Caudal medio diario actual

$$Q_{md\ 2013} = \frac{5231 * 200}{86400} = 12.109\ Lps$$

Caudal medio diario proyectado

$$Q_{md\ 2043} = \frac{5634 * 200}{86400} = 13.042\ Lps$$

Caudal medio diario Colorado y Pablón

Caudal medio diario actual

$$Q_{md\ 2013} = \frac{7398 * 200}{86400} = 17.125\ Lps$$

Caudal medio diario proyectado

$$Q_{md\ 2043} = \frac{7968 * 200}{86400} = 18.444\ Lps$$

5.4.2. Caudal máximo diario

El caudal máximo diario, QMD, corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas durante un periodo de un año. Se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, K1.

El caudal máximo diario se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{MD} = Q_{md} * K_1 \quad (3)$$

Para el nivel de complejidad **Alto** el valor del coeficiente de consumo máximo diario k1 es de 1.30 para sistemas de acueductos nuevos, establecido por el RAS-2000 FEB-2012 [6].

Sector el Pablón

Caudal máximo diario actual

$$Q_{MD\ 2013} = 5.016 * 1.3 = 6.521\ Lps$$

Caudal máximo diario proyectado

$$Q_{MD\ 2043} = 5.403 * 1.3 = 7.024\ Lps$$

Sector los Colorados

Caudal máximo diario actual

$$Q_{MD\ 2013} = 12.109 * 1.3 = 15.742\ Lps$$

Caudal máximo diario proyectado

$$Q_{MD\ 2043} = 13.042 * 1.3 = 16.955\ Lps$$

Caudal máximo diario Colorado y Pablón

Caudal máximo diario actual

$$Q_{MD\ 2013} = 17.125 * 1.3 = 22.263\ Lps$$

Caudal máximo diario proyectado

$$Q_{MD\ 2043} = 18.444 * 1.3 = 23.977\ Lps$$

5.4.3. Caudal máximo horario

El caudal máximo horario, QMH, corresponde al caudal máximo registrado durante una hora en un periodo de un año sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente máximo horario, K2.

El caudal máximo horario se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{MH} = Q_{MD} * K_2 \quad \mathbf{(4)}$$

Donde, k2: Coeficiente de consumo máximo horario

En el caso de sistemas de acueductos nuevos, el coeficiente de consumo máximo horario con relación al consumo máximo diario, k2, corresponde a un valor comprendido entre 1.3 y 1.7 de acuerdo con las características locales.

El coeficiente de consumo máximo horario K2 es de 1.50 valor recomendado por el amb S.A E.S.P.

Sector el Pablón

Caudal máximo horario actual

$$Q_{MH\ 2013} = 6.521 * 1.5 = 9.781\ Lps$$

Caudal máximo horario proyectado

$$Q_{MH\ 2043} = 7.024 * 1.5 = 10.535\ Lps$$

Sector los Colorados

Caudal máximo horario actual

$$Q_{MH\ 2013} = 15.742 * 1.5 = 23.612\ Lps$$

Caudal máximo horario proyectado

$$Q_{MH\ 2043} = 116.955 * 1.5 = 25.431\ Lps$$

Caudal máximo horario Colorado y Pablón

Caudal máximo horario actual

$$Q_{MH\ 2013} = 22.263 * 1.5 = 33.394\ Lps$$

Caudal máximo horario proyectado

$$Q_{MH\ 2043} = 23.977 * 1.5 = 35.967\ Lps$$

6. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La interpretación de los resultados obtenidos por el software se hizo de la siguiente manera, observando las variaciones de presión, velocidades máximas y mínimas, siendo estos los factores más importantes para el funcionamiento del sistema.

Las opciones de trabajo del software nos permiten escoger el método por el cual trabajar el sistema, en la siguiente tabla se muestran algunos componentes con los cuales se trabajó el programa.

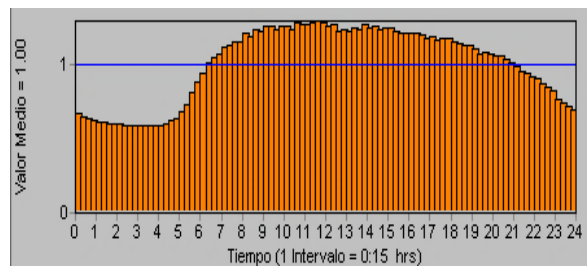
Tabla 8: Opciones hidráulicas utilizadas en el software EPANET.

Opciones Hidráulicas de calculo	
Unidad de Caudal	LPS
Ecuación de Perdidas de Darcy - Weisbach	D-W
Peso específico del agua	0.9982
Precisión	0.001
Diámetro de la tubería	mm

Fuente: Elaboración propia [Autores].

Para un análisis más realista de la red de distribución es necesario tener una curva de modulación que varíe la demanda de consumo en periodos de tiempo establecidos (ver figura11). Para el caso en estudio fue necesario tomar el patrón de consumo donde se ve reflejada la variación de la demanda en el tiempo para el distrito estadio; para los distritos hidráulicos Colorados y Pablón este patrón no debe variar considerablemente al establecido para este distrito debido a que presentan similitudes tanto hidráulicas como en la variación del consumo.

Figura 11: Curva de modulación.



Fuente: amb S.A E.S.P.

Se inicia el análisis del sistema de la red de distribución de agua potable verificando si la bomba de impulsión actual del distrito hidráulico el Pablón es capaz de abastecer a la población.

$$Qb = \frac{QMD * 24 h}{18 h} \quad (5)$$

Qb : Caudal de bombeo (lps)

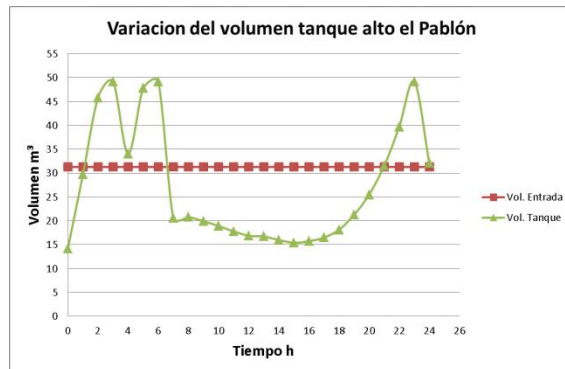
QMD : Caudal máximo diario (lps)

$$Qb = \frac{6.521 * 24 h}{18 h}$$

$$Qb = 8.69 \text{ lps}$$

Según los cálculos realizados observamos que actualmente la bomba debe suministrar un caudal de 8.69 Lps en un periodo de trabajo de 18 horas. Por lo tanto es necesario cambiar las bombas debido a que estas ya no satisfacen la demanda requerida (ver figura 12).

Figura 12: Variación de volúmenes actual.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

Como podemos observar en la figura 12 actualmente la bomba no satisface la demanda, debido a que el volumen demandado, es mayor que el volumen de entrada al tanque, suministrado por la bomba.

Se realiza un diseño, para escoger la bomba que cumpla con los requerimientos necesarios para satisfacer la demanda actual y futura en un periodo de 30 años, para posteriormente revisar la capacidad de almacenamiento de los tanques. A continuación se muestran los cálculos realizados:

6.1. CAUDAL DE BOMBEO

$$Q_b = \frac{QMD * 24 h}{16 h}$$

Q_b : Caudal de bombeo (lps)

QMD : Caudal máximo diario (lps)

El tiempo de funcionamiento de la bomba se establece como 16 horas. Debido a que las bombas necesitan un periodo de descanso, sin embargo es necesario chequear el volumen de almacenamiento, ya que el tanque alto es limitado.

Tabla 9: Caudal máximo diario proyectado.

Q Máximo Diario	7.024	Lps
-----------------	-------	-----

Fuente: Elaboración propia [Autores].

Tabla 10: Caudal de la bomba.

Qbomba	10.54	Lps
Qbomba	0.011	m ³ /s

Fuente: Elaboración propia [Autores].

6.2. DIÁMETRO DE IMPULSIÓN

El diámetro de impulsión se calcula con la siguiente ecuación:

$$D(m) = 0.5873 * N^{0.25} * \sqrt{Qb} \quad (6)$$

Dónde:

$D(m)$: Diámetro (m)

Qb : Caudal de bombeo (m³/s)

N : Número de horas de trabajo de la bomba

Tabla 11: Diámetro de Impulsión.

Diámetro Impulsión	0.123	m
--------------------	-------	---

Fuente: Elaboración propia [Autores].

Se toma un diámetro por encima y uno por debajo del calculado en la impulsión y se verifican velocidades máximas y se toma el que cumpla las dos condiciones.

$$V_{max} = 6 \text{ m/s}$$

$$V_{min} = 1 \text{ m/s}$$

Estas velocidades de impulsión son establecidas en el Ítem 8.4.8.3 RAS-2000 FEB-2012.

	D (mm)	V m/s	Vmin m/s	Vmax m/s
Diámetro 4"	0.102	1.30	CUMPLE	CUMPLE
Diámetro 6"	0.152	0.58	NO CUMPLE	CUMPLE

Es necesario analizar la impulsión y establecer el diámetro que cumpla con las dos condiciones de velocidad; se determinó un diámetro de 4" para la impulsión donde actualmente la tubería cumple con el diámetro requerido de 4".

6.3. DIÁMETRO DE LA SUCCIÓN

El diámetro de la succión es el inmediatamente mayor al elegido en la impulsión, y se verifican las velocidades máximas y mínimas.

$$V_{max} = 1.45 \text{ m/s}$$

$$V_{min} = 0.45 \text{ m/s}$$

Estas velocidades de succión son establecidas en el Ítem 8.4.8.2 RAS-2000 FEB-2012.

	D (mm)	V m/s	Vmin m/s	Vmax m/s
Diámetro 6"	0.152	0.58	CUMPLE	CUMPLE

Es necesario analizar la succión y establecer el diámetro que cumpla las dos condiciones de velocidad; se determinó un diámetro de 6" para la succión donde actualmente la tubería cumple con el diámetro requerido de 6".

Para determinar la altura dinámica total es necesario calcular las pérdidas por fricción del sistema.

hf. imp: Pérdidas totales de la impulsión

Acc. imp: Pérdidas por accesorios de la impulsión

Tabla 12: Pérdidas por accesorios de la Impulsión.

Accesorios	Longitud equivalente (m)
Ampliación	1.22
válvula de retención	6.30
válvula a compresión	0.50
Codos 90°	15.00
T paso directo	1.60
Salida de la Tubería	2.20
Tramos Rectos	343.04
	369.86

Fuente: Elaboración propia [Autores].

Para calcular las pérdidas unitarias de la impulsión y la succión se hace mediante la siguiente ecuación:

$$J = \frac{hf \cdot imp}{L} \quad J = \frac{hf \cdot succ}{L}$$

J 4" (m/m)	0.025	H-W	C=120
hf. imp 4"	9.30	m	

J: Pérdidas unitarias (m/m)

L: Longitud tubería (m)

C: Coeficiente de rugosidad de Hazen para acero galvanizado.

Se calcula las pérdidas por fricción más accesorios de la succión ($hf \cdot succ + Acc \cdot succ$).

$hf \cdot succ$: Pérdidas totales de la succión

$Acc \cdot succ$: pérdidas por accesorios de la succión

Tabla 13: Pérdidas por accesorios de la Succión.

Accesorios	Longitud equivalente (m)
Entrada de Borda	3.20
Válvula de Pie	23.00
Codos 90°	3.40
Reducción	0.91
Tramos Rectos	4.50
	35.01

Fuente: Elaboración propia [Autores].

J 6" (m/m)	0.003	H-W	C=120
<i>hf.succ</i> 6"	0.122	m	

6.4. ALTURA DINÁMICA TOTAL

$$HDT = HeT + \Sigma(hf.imp + Acc.imp + hf.succ + Acc.succ) + \frac{Vi^2}{2 * g} \quad (7)$$

Dónde:

HDT: Altura dinámica total (m)

HeT = Altura estática total (m)

$\frac{Vi^2}{2 * g}$: Cabeza de velocidad (m)

g: Gravedad (m/s)

HeT	98.00	m
$\Sigma Hf+acc$	9.42	m
$Vi^2/2g$	0.09	m

Altura dinámica total <i>HDT</i>	107.51	m.c.a
Altura dinámica total <i>HDT</i>	108.00	m.c.a

Para el cálculo de la altura dinámica total se requiere la altura estática total + la sumatoria de pérdidas de impulsión + las pérdidas de succión + la cabeza de velocidad y se obtiene una altura dinámica de 108 m.c.a

6.5. POTENCIA

$$Potencia = Bhp * Incremento \quad (8)$$

Hallamos la potencia de la bomba.

$$Hhp = \frac{1}{76} * Qb * HDT \quad (9)$$

Dónde:

Hhp: Potencia hidráulica (hp)

Qb: Caudal de bombeo (lps)

HDT: Altura dinámica total (m)

$$Bhp = \frac{Hhp}{\varepsilon} \quad (10)$$

Bhp= Potencia al freno (hp)

ε : Eficiencia de la bomba

$$0.65 < \varepsilon < 0.8$$

Para este caso se selecciona una eficiencia $\varepsilon = 0.65$ para tener un mayor factor de seguridad.

Tabla 14: Incremento, dependiendo de la Potencia al Freno (Hp).

Potencia al Freno (Hp)	Incremento
< 2Hp	0.50
2 - 5 Hp	0.30
5 -10 Hp	0.20
10 - 20 Hp	0.15
> 20 Hp	0.10

Fuente: Elaboración propia [Autores].

H_{hp}	14.97	Hp	ε	0.65
B_{hp}	23.03	Hp	> 20 Hp	
Potencia Requerida	25.34	Hp		

En la siguiente tabla se muestran los valores de potencia y caudal para la bomba actual y a futuro.

Tabla 15: Resultados potencia y caudales.

	Potencia (Hp)	Caudal (lps)
Bomba actual	30	4.4
Bomba futura	25.34	10.54

Fuente: Elaboración propia [Autores].

Se concluye que Las bombas actuales tienen la potencia requerida pero no tienen la capacidad necesaria para suministrar el caudal (ver tabla 9).

6.6. ALTURA PIEZOMETRICA NETA DE SUCCIÓN

$$NPSH_{Disp} = P_{atm} - (H_{est_{succ}} + H_{f.succ}) - Tv \quad (11)$$

$NPSH$: Altura piezometrica neta de succión (m)

P_{atm} : Presión atmosférica (m)

$H_{est_{succ}}$: Altura estática de succión (m)

Tv : Tensión de vapor (m)

Ciudad	At Nivel del mar (m)	Patm (m)
Bucaramanga	959.00	9.13

Ciudad	Temperatura C°	TV (m)
Bucaramanga	15.00	0.17

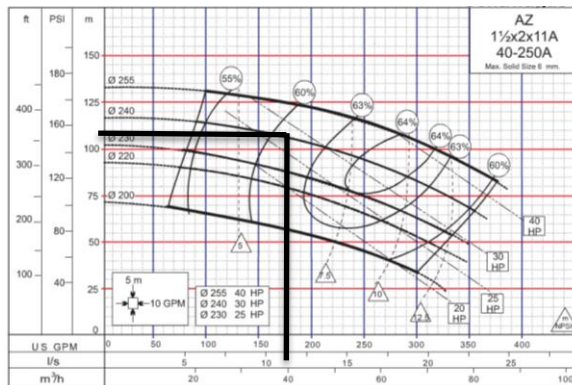
Patm	9.13	m
He succión	2.00	m
Hf succión	0.12	m
<i>Tv</i>	0.17	m

NPSH disponible	6.83	mca
-----------------	------	-----

Se observa que el caudal de bombeo debe ser de 10.54 lps, para una altura dinámica total de 108 m.c.a y su potencia es de 25.34 Hp; donde actualmente las bombas suministran un caudal de bombeo de 4.4 lps aproximadamente y tienen una potencia de 30 HP.

Es necesario cambiar las bombas según los datos obtenidos de diseño, se elige una bomba que cumpla con los requerimientos. La bomba seleccionada es de referencia AZ 1½x2x11A 40-250A de marca HIDROMAC, esta marca no es la única que existe en el mercado, es una opción que se propone.

Figura 13: Curva característica bomba.



Fuente: Catalogo Hidromac.

Según la figura 13 la bomba seleccionada tiene una potencia de 35 Hp, trabaja en un rango del 60% para garantizar un caudal de 10.54 lps.

Teniendo el sistema de bombeo revisado, se procede a analizar las presiones máximas y mínimas del sistema de la red de distribución.

6.7. ANÁLISIS DE LA CONDUCCIÓN ANGELINOS-COLORADOS

Para el análisis de la conducción se tiene en cuenta el caudal máximo transportado y la demanda futura para los distritos hidráulicos Colorados y Pablón en un periodo de 30 años.

El caudal transportado por la conducción es de 32 lps, siendo este valor mayor que el demandado por la población futura de 23.977 lps. Por lo tanto la conducción tiene la capacidad hidráulica para soportar el crecimiento de la demanda a 30 años.

Esta conducción es de asbesto cemento con una longitud 1901.22 metros, se recomienda reponerla por tubería PVC RDE-13.5, debido a que no se está considerando el efecto de golpe de ariete y tiene presiones máximas estáticas de 133.66 m.c.a. que pueden ocasionar rotura por estallido de la tubería.

6.8. ANÁLISIS DE PRESIONES

Se observan los resultados obtenidos del modelo hidráulico para cada uno de los distritos en estudio.

6.8.1. Análisis del distrito hidráulico Colorados.

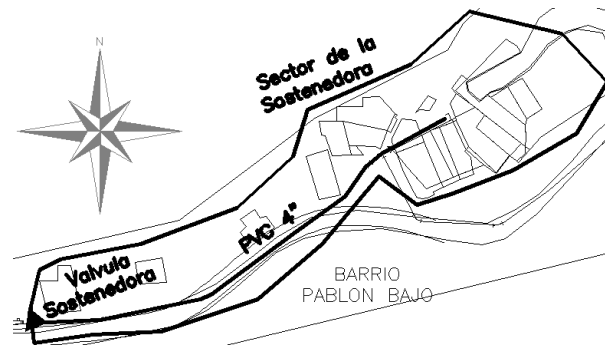
6.8.1.1. Presión mínima.

La presión dinámica mínima para los niveles de complejidad del sistema medio alto y alto debe ser 147.2 kPa (15 m.c.a.) [6].

La presión mínima que se tiene en el distrito se encuentra en el nodo más cercano al tanque de succión (ver figura14) con un valor de 0.93 m.c.a, ya que el tanque abate la presión piezométrica disponible.

Como se puede observar no cumple con la condición de la presión dinámica mínima, por lo tanto se debe plantear una solución que mejore el sistema.

Figura 14: Sector de la sostenedora.

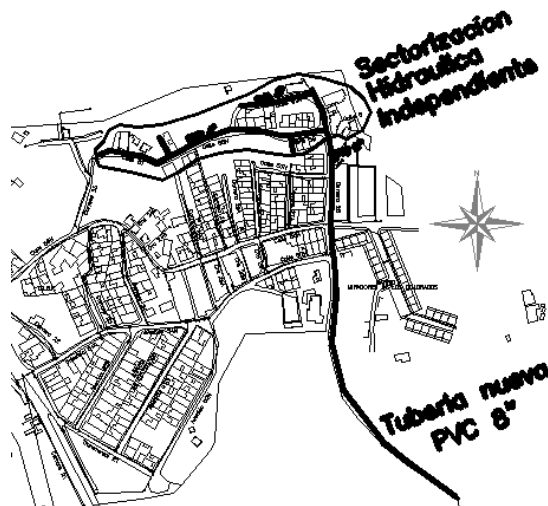


Fuente: Elaboración propia [Autores].

La solución que se propone para aumentar la presión en este nodo es colocar una válvula sostenedora de presión que permite garantizar presiones por encima de la mínima con un valor en el nodo crítico de 20 m.c.a., y de esta forma a su vez controlar el caudal de llegada al tanque.

También existen presiones mínimas en la hora crítica (11:45 am), con valores entre 11.53 m.c.a y 15.23 m.c.a. en los tramos comprendidos entre las calles 57, 58, 58N y 59N con carreras 23 y 28 del barrio los Colorados.

Figura 15: Sectorización del sector en estudio.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

Figura 16: Sector independiente.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

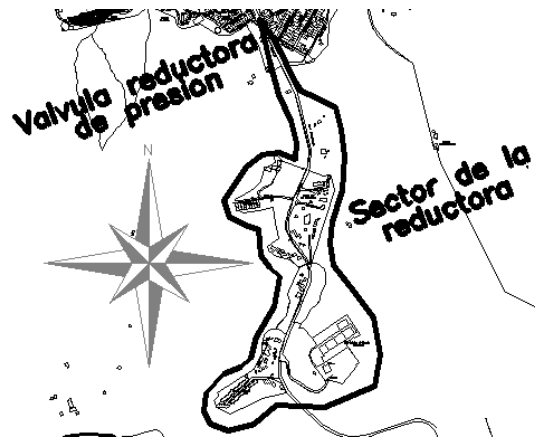
En este tramo encontramos que las presiones son muy bajas debido a la altura donde se encuentran (cota del tramo 836 msnm y cota del tanque 858.5 msnm). La solución que se propone es hacer una respectiva sectorización hidráulica que permita disminuir las pérdidas por fricción asegurando una alimentación directa desde la línea de distribución del tanque (ver figura 15). Para esto es necesario realizar un cierre de la válvula que se encuentra en la carrera 26, también se deben instalar válvulas de cierre en la calle 57 con carrera 23 y en la calle 58 con carrera 28. Siendo ya un sector independiente, (ver figura 16) se proyecta una tubería con longitud de 460.72 metros y un diámetro de 8" PVC que parte del codo localizado a 256.03 metros del tanque los Colorados y debe conectar al sector localizado en la calle 58 con carrera 28, la cual servirá de refuerzo para mejorar las presiones dinámicas a la hora crítica, (11:45 am) con valores entre 15.79 m.c.a. y 19.86 m.c.a. para así cumplir con las presiones mínimas recomendadas.

6.8.1.2. Presión Máxima.

Para todos los niveles de complejidad del sistema la presión estática máxima debe ser de 490.5 kPa (50 m.c.a.)[6].

En el caso de estudio encontramos un sector localizado en la parte baja del barrio los Colorados con carrera 21, donde las presiones estáticas superan las máximas debido a valores de 49.67m.c.a. y 50.66 m.c.a.

Figura 17: Parte baja los colorados con carrera 21.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

Este no es el único sector en donde las presiones superan las máximas, también encontramos que en la parte alta de la carrera 22 las presiones están por encima de las máximas permitidas con valores de 48.28 m.c.a. y 51.25 m.c.a.

Figura 18: Parte alta los colorados con carrera 22.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

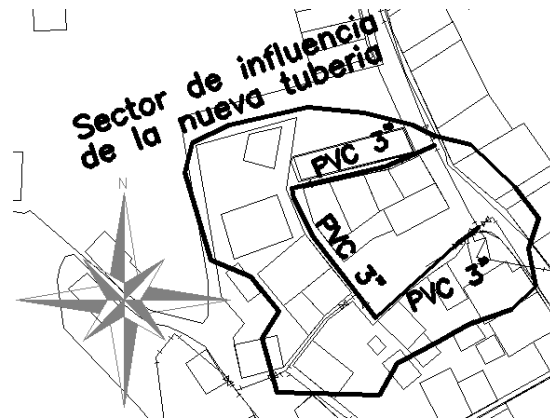
La alternativa que se propone para la solución de este problema es instaurar válvulas reductoras de presión en la carrera 21 con avenida 54N (ver figura 17), en la carrera 22 con calle 56N (ver figura 18) las cuales garantizan presiones constantes aguas abajo del dispositivo, el setting de las válvulas es de 37.2 m.c.a. su diámetro es de 3" y su velocidad de 0.52 m/s. En la zona comprendida de la carrera 21 las presiones se redujeron a un rango de 36.2 m.c.a. y 39.19 m.c.a, en la zona de la carrera 22 las presiones se estabilizaron a 35.2 m.c.a. y 44.15 m.c.a.

6.8.2. Análisis del distrito hidráulico Pablón.

6.8.2.1. Presión mínima.

Es este distrito encontramos presiones mínimas en la carrera 11 con calle 13 con valores de 13.37 m.c.a y 14.02 m.c.a, donde el diámetro de tubería es de 2".

Figura 19: Pablón alto, carrera 11 con calle 13.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

Se propone reponer la tubería de este tramo que actualmente es de 2" por una de 3" PVC (ver figura 19), esto garantizaría disminuir pérdidas por fricción y aumentar la presión dinámica disponible a 17.69 m.c.a en la hora crítica.

6.8.2.2. Presión Máxima.

Para el análisis de las presiones máximas en este distrito, no se encontraron presiones que superen las recomendadas, debido a que estas presiones están en el orden de 27.14 m.c.a.

6.8.2.3. Variación de presiones.

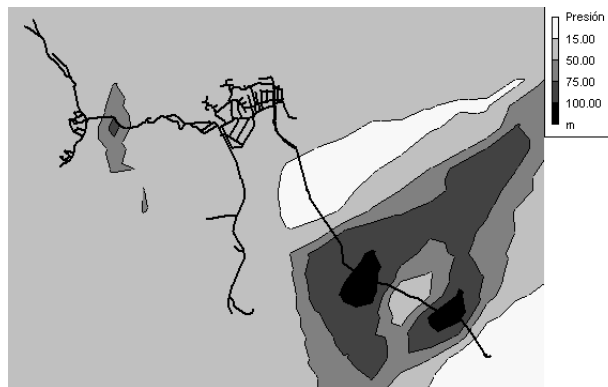
Para corroborar el análisis y la optimización propuesta, se muestran a continuación las gráficas de variación de presiones para antes y después de la optimización.

Figura 20: Variación de presiones actual.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

Figura 21: Variación de presiones optimizado.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

Realizando en el modelo hidráulico las respectivas soluciones que se plantearon anteriormente, se observó que la variación de presiones del sistema se encuentra en el rango de 15 a 50 m.c.a. que garantiza un óptimo funcionamiento (ver figura 21).

6.9. ANÁLISIS DE VELOCIDADES

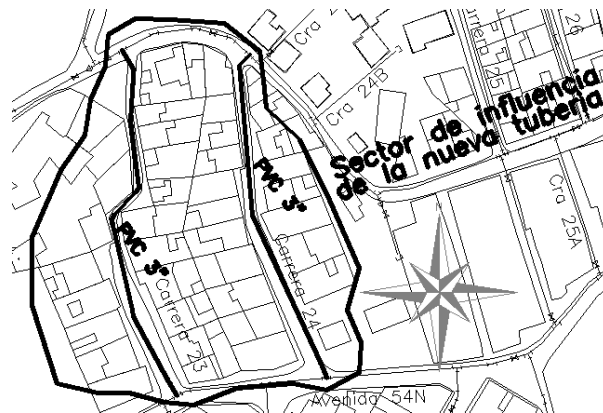
Para el análisis de velocidades se tiene en cuenta que la velocidad mínima debe ser de 0.5 m/s. La velocidad máxima depende de los materiales utilizados, para

este caso la tubería es de PVC y su velocidad máxima es de 6 m/s según tabla B.7.6 del RAS 2000 título B [6].

En el análisis encontramos velocidades por debajo de la mínima con valores de 0.13 m/s, por lo tanto se debe hacer un ajuste para cumplir con este parámetro, debido a que ocasionaría pérdida en la concentración de cloro residual.

Estas velocidades se encuentran ubicadas en los tramos comprendidos entre la calle 56N y la avenida 54N con carreras 23 y 24 (ver figura 22).

Figura 22: Carrera 23 y 24.



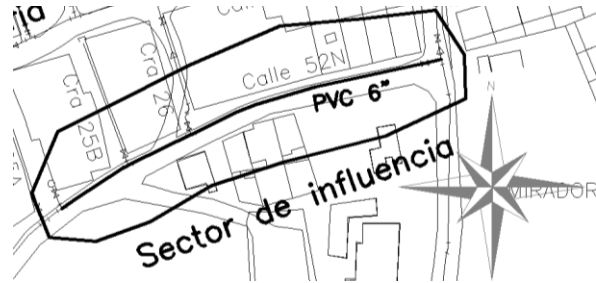
Fuente: Elaboración propia [Autores].

Una de las formas más fáciles para aumentar la velocidad es disminuir el diámetro de tubería. Actualmente el diámetro de tubería es de 4". Si disminuimos estos diámetros a 3", las velocidades estarán por encima del rango mínimo requerido con valor de 0.53 m/s, garantizando así una mayor velocidad en el sistema.

Luego de haber analizado las velocidades mínimas, se revisaron las velocidades máximas encontradas en el modelo hidráulico con valores de 2.27 m/s, en el sector ubicado en la calle 52N entre la carrera 25^a y la carrera 28 (ver figura 23),

con valores menores a los establecidos según el RAS 2000 Titulo B que establece una velocidad máxima de 6m/s.

Figura 23: Avenida 54N.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

En la siguiente tabla se muestra las tuberías a reponer según las alternativas descritas anteriormente.

Tabla 16: Detalles de tuberías a reponer.

Tramo	Long (m)	D. (in)	Material	P. Trabajo (m.c.a)	P. Nominal (m.c.a)	Referencia
Conducción Angelinos	1901.22	8"	PVC	110.00	220.00	RDE 13.5
Tubería proyectada	460.72	8"	PVC	32.04	64.08	RDE 21
Carrera 11 con calle 13	107.00	3"	PVC	17.90	35.80	RDE 21
Carrera 23 y 24	242.29	3"	PVC	48.39	96.78	RDE 21

Fuente: Elaboración propia [Autores].

La longitud de tubería a reponer corresponde al 23.82% de la longitud total del sistema hidráulico Colorados-Pablón. Se recomienda realizar las respectivas reposiciones de tubería debido a los problemas de presión y calidad del agua.

6.10. GOLPE DE ARIETE

Una vez se haya finalizado el proceso de análisis de la red de distribución y para los niveles de complejidad ALTO se debe hacer un análisis del golpe de ariete con el fin de verificar que en ninguna de las tuberías que conforman la red se produzcan presiones por encima de las admisibles para los materiales de las mismas, evitando posibles rupturas [6].

Dentro de los estudios que se deben realizar se puede usar varios dispositivos considerados para el control del golpe de ariete de tal forma que se pueda seleccionar la mejor alternativa técnica y económica, como válvulas de alivio, válvulas de retención, cámaras de aire y tanques de compensación unidireccionales.

Se recomienda para un próximo estudio revisar las presiones de trabajo de los materiales utilizados en el sistema para que puedan soportar el fenómeno de golpe de ariete.

6.11. VENTOSAS

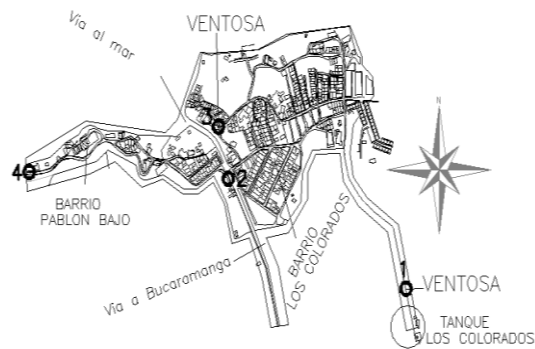
Las ventosas son dispositivos mecánicos sencillos, imprescindibles en todo tipo de redes de distribución de agua, cuya misión es asegurar el correcto funcionamiento de las tuberías, regulando la cantidad de aire libre que existe en el interior de las mismas.

Se deben instalar en:

- En los puntos altos de la línea de conducción
- En los picos y cambios de pendiente
- Donde la tubería sube por encima del nivel del suelo
- A la salida de los grupos de bombeo
- Antes de la válvula de retención
- En tuberías de gran longitud y pendiente uniforme
- En los cruces de las carreteras
- En grandes ramales de pendiente uniforme, ascendiendo, descendiendo o paralelo al gradiente hidráulico.

Para el distrito hidráulico colorados en necesario instalar 4 ventosas, se tuvo en cuenta los ítems anteriormente mencionados.

Figura 24: Ubicación de ventosas Distrito Colorados.



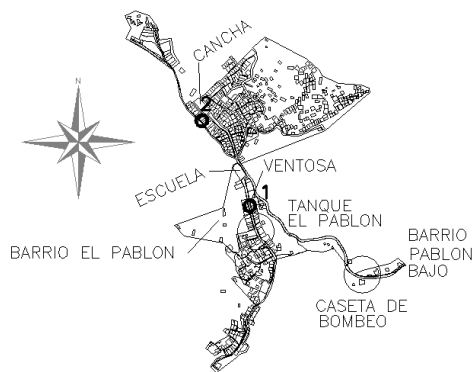
Fuente: Elaboración propia [Autores].

A continuación se especifica con más detalle las ventosas a instalar en el distrito Colorados:

Numero de ventosa	Ubicación	Diámetro tubería (in)	Diámetro ventosa (mm)	Tipo
1	Conducción Angelinos-Colorados	8"	202	Gran orificio
2	Carrera 21 con calle 54 N	3"	76	Trifuncional
3	Carrera 22 con calle 56 N	3"	76	Trifuncional
4	Caseta de Bombeo	4"	100	Gran orificio

Para el distrito hidráulico Pablón en necesario instalar 2 ventosas, se tuvo en cuenta los ítems anteriormente mencionados.

Figura 25: Ubicación de ventosas Distrito Pablón.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

A continuación se especifica con más detalle las ventosas a instalar en el distrito Pablón:

Numero de ventosa	Ubicación	Diámetro tubería (in)	Diámetro ventosa (mm)	Tipo
1	Carrera 11 con calle 61 N	4"	100	Trifuncional
1	Carrera 11 con calle 65 N	3"	76	Trifuncional

Se recomienda su uso en las redes de distribución ya que protegen las tuberías resolviendo algunos problemas hidráulicos como aplastamiento o estallido.

Para la instalación de las válvulas ventosa se debe cumplir con la norma técnica nacional colombiana AWWA C512, su localización a lo largo de la conducción debe considerar los requerimientos de evacuación de aire presentados durante las operaciones de llenado de las tuberías que conforman la conducción [6].

6.12. HIDRANTES

Los hidrantes son equipos que suministran gran cantidad de agua en poco tiempo. Permite la conexión de mangueras y equipos contra incendios.

Los hidrantes se ubican en las esquinas, en las intersecciones de dos calles y sobre la acera para un mejor acceso. Para su instalación se debe instalar cumpliendo con la norma técnica colombiana AWWA C502-94 ó AWWA C550-90[6].

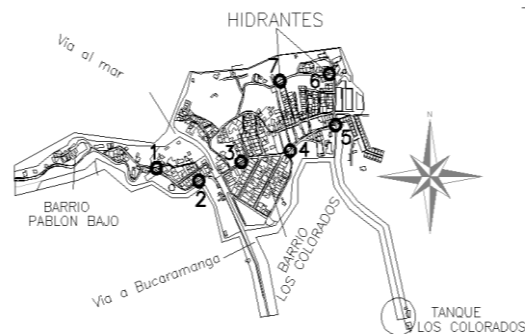
En los niveles de complejidad ALTO el número de hidrantes depende de la protección exigida por los edificios públicos, las escuelas, colegios etc. En las zonas con bloques multifamiliares debe colocarse un hidrante por lo menos cada 150 m [6].

Los diámetros mínimos de los hidrantes contra incendios, colocados en la red de distribución de agua potable deben ser de 75 mm y 100 mm, para tuberías de hasta 150 mm de diámetro nominal. Para tuberías con diámetros nominales superiores o iguales que 150 mm, los hidrantes deben tener un diámetro de 150 mm. Establecidas en el literal 7.7.12.3 del RAS-2000 Titulo B FEB-2012.

La presión mínima en los hidrantes debe ser de 98.1 kPa (10 m.c.a.) y para las zonas comerciales e industriales o zonas residenciales con edificios multifamiliares, la presión mínima debe ser de 196 kPa (20 m.c.a.). Establecidas en el literal 7.7.12.6 del RAS-2000 Titulo B FEB-2012.

Para el distrito hidráulico Colorados no existen hidrantes, por lo tanto este distrito no tiene la capacidad de atender un incendio. Es necesario colocar 7 hidrantes cada 150 m (ver figura 26).

Figura 26: Ubicación de hidrantes Distrito Colorados.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

Para la ubicación de los hidrantes tomamos la línea de la tubería matriz del distrito Colorados de diámetro 6" de PVC con una longitud total de 527.08 m ubicada en la avenida 54N.

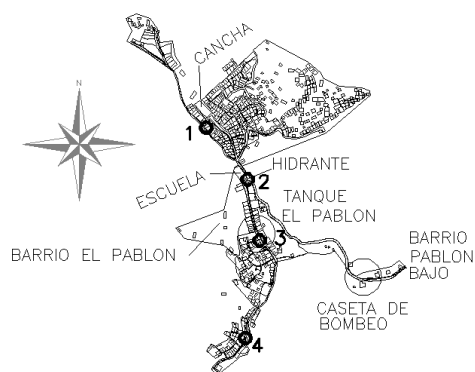
Tabla 17: Ubicación y características de los hidrantes.

Numero de hidrante	Ubicación	Diámetro tubería (in)	Diámetro Hidrante (mm)	Tipo
1	Carrera 19 con calle 57 N	6"	150	Trafico
2	Calle 54 N con carrera 21	6"	150	Trafico
3	Carrera 22 con Avda. 54 N	6"	150	Trafico
4	Carrera 25 A con Avda. 54	6"	150	Trafico
5	Carrera 28 con calle 52 N	6"	150	Trafico
6	Carrera 28 con calle 58	6"	150	Trafico
7	Carrera 25 con calle 58 N	6"	150	Trafico

Fuente: Elaboración propia [Autores].

Para el distrito hidráulico el Pablón no existen hidrantes, por lo tanto es necesario colocar 4 hidrantes cada 150 m (ver figura 27).

Figura 27: Ubicación de hidrantes Distrito el Pablón.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

Para la ubicación de los hidrantes tomamos la línea de la tubería matriz del distrito Pablón de diámetro 4" de PVC con una longitud total de 252.82 m que se encuentra ubicada en la carrera 11.

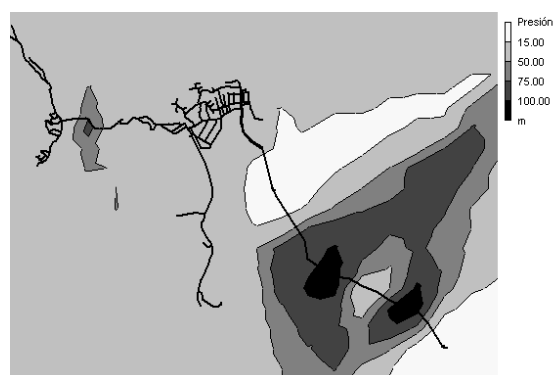
Tabla 18: Ubicación y características de los hidrantes.

Numero de hidrante	Ubicación	Diámetro tubería (in)	Diámetro Hidrante (mm)	Tipo
1	Carrera 11 con calle 65 N	4"	100	Trafico
2	Carrera 11 con calle 61 N	4"	100	Trafico
3	Carrera 11 N con calle 13	4"	100	Trafico
4	Carrea 11 N con calle 35	4"	100	Trafico

Fuente: Elaboración propia [Autores].

Se verifico el modelo con dos hidrantes funcionando y demandando 10 Lps. Según los resultados obtenidos las presiones en el sistema continúan con valores superiores a 15 m.c.a. (ver figura 28).

Figura 28: Variación de presiones con dos hidrantes.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

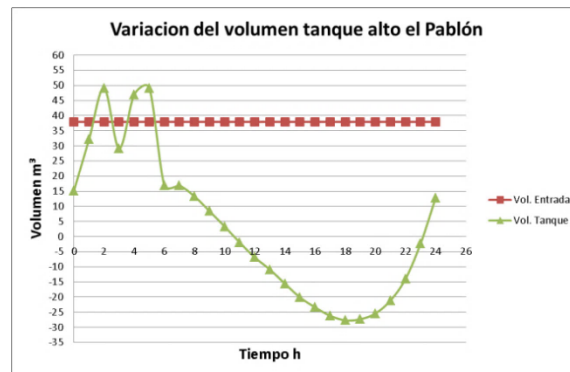
6.13. ANÁLISIS TANQUE PABLÓN

El análisis del sistema de tanques del distrito hidráulico el Pablón requiere dos procedimientos:

- 1) Se debe analizar el tanque alto de almacenamiento y el sistema de bombeo con el fin de verificar la capacidad de abastecimiento para la población.

En este caso se procede a graficar el volumen de entrada al tanque versus el volumen de almacenamiento del tanque, donde este tiene un volumen máximo de 49.14 m³ (ver grafica 29).

Figura 29: Variación de volúmenes tanque actual.



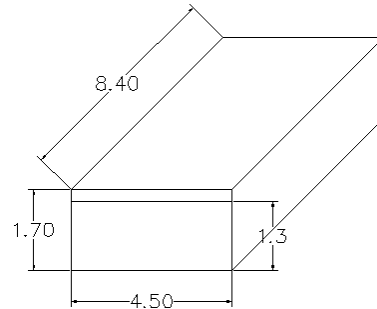
Fuente: Elaboración propia [Autores].

Como se observa en la figura 29 el volumen de almacenamiento no satisface el volumen demandado por la población. Se tiene un déficit de volumen de 30.86 m³.

Debido a este problema se plantea la alternativa de aumentar el volumen de almacenamiento del tanque elevado. El volumen actual del tanque es de 49.14

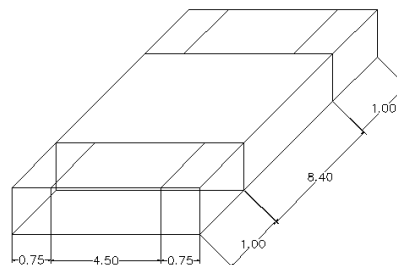
m³ (ver figura 30) y se requiere un volumen de 81.12 m³, por lo tanto las nuevas dimensiones del tanque son (ver figura 31):

Figura 30: Tanque elevado actual.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

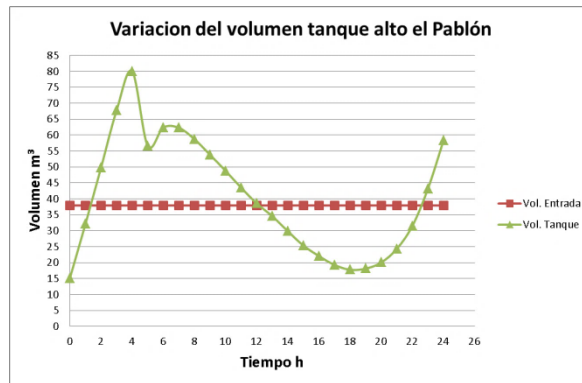
Figura 31: Ampliación tanque elevado.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

La ampliación que se propone del tanque elevado es de 1.5 metros de ancho, 0,75 metros a cada lado y 2 metros de profundidad, 1 metro a cada lado, conservando la altura de agua de 1.3 metros lo que genera un volumen de almacenamiento del tanque elevado de 81.12 m³; con este volumen se satisface la demanda requerida como se puede observar en la figura 32.

Figura 32: Variación de volúmenes según aplicación de tanque.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

2) Para este análisis se verificara la capacidad de los tanques (succión y elevado) del distrito hidráulico el Pablón, para garantizar un abastecimiento continuo durante un periodo de tiempo de 8 horas. Estas 8 horas son necesarias debido a que en el transcurso de la vida útil de la red, es necesario realizar mantenimientos preventivos o correctivos y este lapso de tiempo es el requerido para un corte del servicio sin afectar la continuidad.

$$Q_{MD\ 2043} = 7.023\ Lps$$

$$Q_{MD} = 25.283\ m^3/h$$

$$Q_{MD\ en\ 8\ horas} = 25.283 * 8 = 202.262\ m^3$$

El volumen demandado por la población en un periodo de 8 horas es de 202.262 m³.

$$V_T = V_{Tanque\ Pablón} + V_{Tanque\ succión}$$

$$V_T = 80.12 + 16.8 = 96.92\ m^3$$

El volumen de los tanques (succión y elevado) es de 96.92 m³. Por lo tanto no satisface el volumen demandado, de 202.26 m³.

$$V.Tanque\ succion = V.demandado - V.Tanque\ Pablón$$

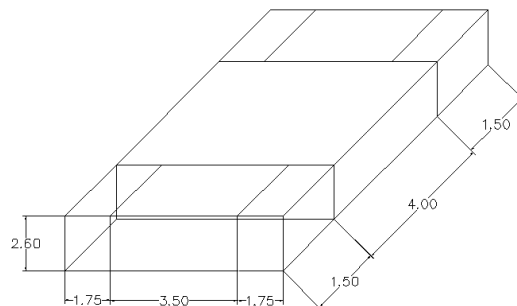
$$V.Tanque\ succion = 202.262 - 80.12 = 122.142\ m^3$$

La suma del volumen de los tanques no satisface la demanda de la población en un periodo de 8 horas. Esta diferencia de almacenamiento (122.142 m³) de los tanques puede implicar una deficiencia en el abastecimiento de la población.

Analizando los datos anteriormente calculados, se llega a la conclusión que el tanque de succión y el tanque elevado del Pablón no tiene la capacidad necesaria para una posible suspensión. Por lo tanto una solución viable es aumentar el tamaño de dichos tanques.

Se propone aumentar la capacidad de almacenamiento del tanque de succión a 127.4 m³. Por lo que las nuevas dimensiones del tanque son: (ver figura 33).

Figura 33: Dimensiones de la ampliación tanque de succión.



Fuente: Elaboración propia [Autores].

$$Q_{MD\ en\ 8\ horas} = 25.283 * 8 = 202.262\ m^3$$

$$V_T = V_{Tanque\ Pablón} + V_{Tanque\ succión}$$

$$V_T = 80.12 + 127.4 = 207.52 \text{ m}^3$$

$$Q_{MD \text{ en } 8 \text{ horas}} < V_{\text{Tanque Pablon}} + V_{\text{Tanque succión}}$$

$$202.262 \text{ m}^3 < 207.52 \text{ m}^3 \text{ Cumple}$$

Según los cálculos realizados el volumen del tanque alto debe ser de 80.12 m³, y el volumen total del tanque de succión de 127.4 m³, para suplir la demanda de 202.262 m³ en un periodo de 8 horas.

6.14. ANÁLISIS TANQUE COLORADOS

Se debe verificar que el volumen del tanque Colorados sea igual o mayor que el volumen máximo diario demandado por el distrito hidráulico Colorados en un lapso de tiempo de 8 horas.

$$Q_{MD \text{ } 2043} = 16.953 \text{ Lps}$$

$$Q_{MD} = 61.031 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{MD \text{ en } 8 \text{ horas}} = 61.031 * 8 = 488.246 \text{ m}^3$$

$$V_T = V_{\text{Tanque Colorados}}$$

$$V_T = 1022.01 \text{ m}^3$$

$$Q_{MD \text{ en } 8 \text{ horas}} < V_{\text{Tanque Colorados}}$$

$$61.031 \text{ m}^3 < 1022.01 \text{ m}^3 \text{ Cumple}$$

Como podemos observar la suma del volumen del tanque satisface la demanda de la población en un periodo de 8 horas.

7. CONCLUSIONES

- De acuerdo al análisis y los cálculos realizados el sistema de acueducto para los distritos Colorados Pablón no opera correctamente, debido a esto se recomienda realizar las respectivas alternativas planteadas para la optimización del sistema.
- Por medio de la modelación hidráulica, es posible visualizar el funcionamiento y la capacidad de la red actual y futura para un periodo de 30 años; teniendo así parámetros para optimizar y garantizar su funcionamiento durante este tiempo.
- Se recomienda realizar un estudio estructural de las alternativas propuestas para las ampliaciones de los tanques.
- Se recomienda seguir con el estudio y mejoramiento en la red de distribución de los diferentes distritos del municipio de Bucaramanga.

BIBLIOGRAFÍA

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

BARRIGA, J.; PLAZAS, O.; RIVERA, w. Diseño de Alcantarillados Sanitarios, Red de Distribución de Agua Potable, Programación y Presupuesto de obra para el Barrio Villa Carol Ubicado en el Municipio de Garzón (Huila). Bogotá D.C. 2006, 192p. Tesis de Pregrado. Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Civil. Cundinamarca.

IZUARIETA, Jorge; FRANCO, Luis; ALVARES, Héctor. Comisión Nacional del Agua: Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento. Diciembre 2007. 43p.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. “Censo General 2005”. {En línea}. {Citado Enero 2014} disponible en: (<http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/censos>).

REPÚBLICA DE COLOMBIA MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. “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/37383832666265633962316339623934/4._Sistemas_de_acueducto.pdf)

REVISTA ESCALA. “Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Bucaramanga”. {En línea}. {Citado Enero 2014} disponible en: (http://www.revistaescala.com/attachments/348_4.POT%20Formulacion.pdf)

CITAS

[1] BARRIGA, J.; PLAZAS, O.; RIVERA, w. Diseño de Alcantarillados Sanitarios, Red de Distribución de Agua Potable, Programación y Presupuesto de obra para el Barrio Villa Carol Ubicado en el Municipio de Garzón (Huila). Bogotá D.C. 2006, 192p. Tesis de Pregrado. Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Civil. Cundinamarca.

[2] DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. “Censo General 2005”. {En línea}. {Citado Enero 2014} disponible en: (<http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/censos>).

[3] IZUARIETA, Jorge; FRANCO, Luis; ALVARES, Héctor. Comisión Nacional del Agua: Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento. Diciembre 2007. 43p.

[4] ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA. Estudios y diseños de los Componentes del Proyecto del Plan Maestro de Acueducto del Municipio de Pinchote. Bucaramanga. Septiembre 2011.

[5] DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. “Proyecciones Municipales 2006-2020”. {En línea}. {Citado Febrero 2014} disponible en: (http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/MProyeccionesMunicipalesedadsexo.pdf).

[6] REPÚBLICA DE COLOMBIA MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. “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/37383832666265633962316339623934/4._Sistemas_de_acueducto.pdf)