



ANÁLISIS Y PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE  
DISTRIBUCIÓN DE LA PTAP ACUALCOS

**Santiago Sánchez Urrego**

Programa de Ingeniería Civil  
Faculta de ingeniería Ambiental y Civil  
Universidad Antonio Nariño  
Bogotá D.C.  
2023

# ANÁLISIS Y PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE LA PTAP ACUALCOS

Santiago Sanchez Urrego

Documento presentado como requisito para optar por el título de  
Ingeniero Civil

Directores:

Codirector Temático: Wendy Patricia Forero Rincon  
Codirector Metodológico: Didier Camilo Sierra Lopez

Programa de Ingeniería Civil  
Faculta de ingeniería Ambiental y Civil  
Universidad Antonio Nariño  
Bogotá D.C.  
2023

# ANÁLISIS Y PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE LA PTAP ACUALCOS

## *ANALYSIS AND PROPOSAL FOR OPTIMIZATION OF THE DISTRIBUTION NETWORK OF THE PTAP ACUALCOS*

Sanchez Urrego, Santiago

<sup>1</sup> Universidad Antonio Nariño, Colombia, sasanchez65@uan.edu.co

**Resumen:** La investigación tuvo como objetivo realizar el rediseño de la red de distribución de la PTAP Acualcos en Bogotá para optimizar su funcionamiento. La metodología implicó recolección de datos, diagnóstico de la red actual mediante software especializado y propuesta de mejoras. El diagnóstico evidenció problemas de presiones negativas y velocidades anormales en varios puntos. La propuesta realizada a través de ajustes en diámetros de tuberías, adición de 14 válvulas y una bomba extra logró solucionar las deficiencias. Los resultados permitieron mejorar significativamente el comportamiento hidráulico de la red y asegurar un suministro eficiente y confiable de agua a los usuarios [14]. La investigación tuvo un alto valor académico al aplicar conceptos de hidráulica y modelado de redes, y un impacto social positivo al optimizar un sistema de distribución de agua real que beneficia a una comunidad. Se cumplió el objetivo general y se solucionó de manera efectiva los problemas detectados en la red analizada.

**Palabras claves:** diseño, caudales, planta de tratamiento, dotación, nodos, conexiones, válvulas, tuberías, bombas, curvas, epanet, autocad.

**Abstract:** The objective of the research was to redesign the distribution network of the PTAP Acualcos in Bogotá to optimize its operation. The methodology involved data collection, diagnosis of the current network using specialized software and proposals for improvements. The diagnosis showed problems of negative pressures and abnormal speeds at several points. The proposal made through adjustments in pipe diameters, addition of 14 valves and an extra pump managed to solve

the deficiencies. The results made it possible to significantly improve the hydraulic behavior of the network and ensure an efficient and reliable supply of water to users. The research had high academic value by applying concepts of hydraulics and network modeling, and a positive social impact by optimizing a real water distribution system that benefits a community. The general objective was met and the problems detected in the analyzed network were effectively solved.

**Key words:** design, flows, treatment plant, equipment, nodes, connections, valves, pipes, pumps, curves, EPANET, autocad.

## INTRODUCCIÓN

El acceso al agua potable es un derecho humano fundamental y un factor clave en el desarrollo sostenible. Sin embargo, en algunas zonas de Colombia persisten brechas en la cobertura y eficiencia de los sistemas de acueducto. Este trabajo se enfoca en la PTAP Acualcos E.S.P., encargada del abastecimiento en la localidad de Chapinero en Bogotá.

El desarrollo del documento, consiste en el planteo y realización del rediseño de la red de distribución de esta planta para optimizar su funcionamiento. Específicamente, se busca obtener y analizar información relevante del sistema actual, diagnosticar problemas y proponer mejoras en elementos como tuberías, válvulas y bombas.

La metodología implica tres fases: recolección de datos, diagnóstico de la red y planteamiento de una propuesta de optimización. Esto requirió visitas de campo, entrevistas con personal de la PTAP, análisis de planos y modelado hidráulico con software especializado EPANET.

El diagnóstico evidenció problemas de presiones negativas y velocidades por fuera de rango en ciertos puntos. La propuesta solucionar estas deficiencias a través de ajustes como: nuevas tuberías, válvulas adicionales y bombas extra.

Los resultados permitirán comprender mejor el comportamiento hidráulico de la red y contribuir a la planificación efectiva de su mantenimiento y expansión. Esta investigación tiene valor académico y práctico al proponer soluciones viables a una problemática real de una comunidad.



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El IDEAM en su Estudio Nacional del Agua (ENA) 2022 realiza una evaluación exhaustiva de la calidad del agua, verificando las condiciones óptimas y operativas, en la cual se basó esta investigación, en las condiciones operativas. Su misión primordial es garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del recurso hídrico. A través de este análisis, se logra evidenciar una mejora en la cobertura del servicio con respecto a la información reportada para el año 2020: "Se observa que el 20 % de los municipios tiene una cobertura municipal de servicio público de acueducto superior al 90 % (221 municipios del país), mientras que el 6,8 % de ellos presentaron coberturas inferiores al 15 % (75 municipios)" (ENA, 2022). Aunque este porcentaje no es significativamente alto, lo ideal sería buscar su reducción. Para abordar este problema general,

ACUALCOS ESP es una empresa especializada en servicios de abastecimiento de agua y saneamiento en la zona de Chapinero. Enfrente el desafío de garantizar un óptimo funcionamiento de su red de distribución. Para lograrlo, resulta aconsejable llevar a cabo la conversión de los planos del sistema, actualmente en formato AutoCAD (DWG), a Epanet (NET). Esta transformación se vuelve fundamental debido a que la simulación hidráulica proporcionada por herramientas como EPANET permite comprender el comportamiento de la red ante diversos escenarios operativos y condiciones de carga. Según Almeida et al. (2019), esta simulación hidráulica facilita la toma de decisiones informadas y contribuye a una planificación efectiva del mantenimiento y la expansión de la red.

Considerando lo anterior, persiste un porcentaje de la población que aún no tiene acceso al recurso hídrico y otro porcentaje que cuenta con accesibilidad pero no con sistemas óptimos[1]. Esto subraya la necesidad de que la red de distribución del acueducto cuente con características como un flujo constante, minimizando así las pérdidas de presión para un óptimo funcionamiento. A la luz de estos desafíos, surge la siguiente pregunta: ¿Cómo podemos contribuir e incidir en la mejora de la red de distribución del acueducto de manera efectiva?

## ESTADO DEL ARTE

En primer lugar, Gómez et al. (2017) realizaron un estudio de modelado hidráulico de una red de distribución de agua potable en la ciudad de Manizales, Colombia, utilizando el software EPANET. Los resultados indicaron que la red presentaba problemas de pérdidas de carga y presión en algunos puntos críticos, lo que afectaba la eficiencia del sistema, donde el proceso empezó eligiendo la ciudad de Manizales, Colombia, como el lugar de estudio debido a su importancia en términos de infraestructura de distribución de agua potable y la necesidad de evaluar y mejorar su eficiencia, para continuar; Se recopilieron datos relevantes sobre la red de distribución de agua potable en Manizales, incluyendo información sobre la topografía, ubicación de las tuberías, diámetros de las tuberías, demanda de agua en diferentes zonas, ubicación de puntos críticos, y otros parámetros hidráulicos, luego Se utilizó el software EPANET, que es una herramienta combinada utilizada para el modelado hidráulico de sistemas de distribución de agua. EPANET permite simular el flujo de agua a través de la red, calcular las presiones y pérdidas de carga en diferentes puntos y evaluar la eficiencia del sistema.

Se construyó un modelo hidráulico detallado de la red de distribución de agua potable en la ciudad de Manizales utilizando los datos recopilados. Este modelo incluye la representación precisa de la topografía, ubicación y características de las tuberías, demanda de agua y otros parámetros clave del sistema, seguido; Se realizaron a cabo simulaciones utilizando el modelo hidráulico desarrollado en EPANET. Durante estas simulaciones, se evaluaron las condiciones de flujo, presión y pérdidas de carga en diversos puntos de la red. Se identificaron los puntos críticos donde se observaron problemas de pérdidas de carga y presión para terminar, los resultados de las simulaciones indicaron que la red de distribución de agua potable en Manizales presentaba problemas de pérdidas de carga y presión en ciertos puntos críticos. Estos problemas afectaban la eficiencia del sistema y señalaban la necesidad de abordar y mejorar la infraestructura hidráulica para optimizar el suministro de agua en la ciudad.



En otro estudio, Valencia et al. (2019) desarrollaron un modelo de optimización para la gestión de redes de distribución de agua potable en zonas rurales de Colombia, considerando variables como la demanda de agua, la capacidad de almacenamiento y la ubicación de los puntos de conexión, lo que hizo fue un modelo de optimización con el objetivo de maximizar la eficiencia en la gestión de redes de distribución de agua potable. Este modelo consideró variables como la demanda de agua en diferentes zonas, la capacidad de almacenamiento disponible y la ubicación estratégica de los puntos de conexión.

Valencia implementó el modelo de optimización en un entorno informático adecuado, lo que permitió realizar simulaciones y evaluaciones de diferentes escenarios para la gestión óptima de la red de distribución de agua potable en las áreas rurales, Se realizaron a cabo simulaciones utilizando el modelo de optimización desarrollado. Durante estas simulaciones, se evaluaron distintos escenarios considerando las variables relevantes y se analizaron los resultados para determinar la configuración óptima de la red de distribución de agua potable; para luego arrojar como resultados de las simulaciones indicaron que el modelo de optimización propuesto permitió mejorar la eficiencia en la gestión de las redes de distribución de agua potable en zonas rurales de Colombia. Se identificaron configuraciones óptimas que consideraron la demanda de agua, la capacidad de almacenamiento y la ubicación estratégica de los puntos de conexión, contribuyendo así a una gestión más efectiva y sostenible de estos sistemas.

En cuanto a la gestión de la infraestructura de la red, Amaris et al. (2020) abordaron la problemática de la gestión de activos de la red de distribución de agua en Colombia, proponiendo un marco metodológico para la toma de decisiones en la gestión de activos.

En resumen, la red de distribución de un acueducto en Colombia es un tema complejo que requiere de modelos hidráulicos, evaluación de la calidad del agua, optimización de la gestión y un enfoque en la gestión de activos para garantizar un suministro eficiente y de calidad.

Arturo Montes en el desarrollo de *'Hydraulic Simulation and Analysis of an Urban Center's Aqueducts Using Emergency Scenarios for Network Operation: The Case of Thessaloniki City in Greece'* presenta un estudio sobre el modelado y simulación hidráulica de los acueductos de la

ciudad de Tesalónica en Grecia, con el fin de analizar su comportamiento actual y su respuesta ante condiciones de emergencia como fallas en alguno de los acueductos.

La red de acueductos de Tesalónica es compleja, con dos fuentes principales de abastecimiento: el río Aliakmonas y los manantiales de Aravissos. Estos proveen agua a 26 zonas tanques a través de estaciones de bombeo, tanques reguladores y válvulas de control. (Mentes, 2020)

## MARCO DE REFERENCIA

El sistema de distribución de un acueducto es un componente esencial de la infraestructura de suministro de agua. Su correcto diseño y funcionamiento garantizan el suministro confiable y eficiente de agua potable a los usuarios finales. En este marco teórico, explicaremos los aspectos clave relacionados con el sistema de distribución de un acueducto en Colombia, centrándonos en la planificación, diseño y operación del sistema.

### Red de distribución

Una red de distribución de agua potable se refiere a un sistema de tuberías, válvulas, bombas, tanques de almacenamiento y otros elementos de infraestructura diseñados para transportar agua potable desde una fuente de suministro, como una planta de tratamiento de agua, hasta los usuarios finales, que pueden ser hogares, empresas, instituciones y otros usuarios en una comunidad o área determinada. Esta red de tuberías y componentes se encarga de distribuir el agua de manera eficiente, manteniendo la calidad del agua y proporcionando presión suficiente para satisfacer las necesidades de los usuarios. (Herrera, L.2018)

**Fluido:** un fluido es una sustancia que, desde una perspectiva del comportamiento mecánico, no puede resistir el esfuerzo cortante. Cuando se aplica un esfuerzo cortante, el fluido se deforma y seguirá formándose mientras se mantenga dicho esfuerzo. (J.Saldarriaga, 2007)

**Planificación del sistema de distribución:** La planificación del sistema de distribución de un acueducto implica la determinación de la demanda de agua, la identificación de las áreas de servicio, y la definición de los parámetros técnicos necesarios para satisfacer dicha demanda. En este sentido, es importante tener en cuenta los estudios de población, desarrollo urbano, proyecciones de crecimiento y normativas locales. (Vargas, J. 2012)

### **Periodo de diseño**

Período de tiempo durante el cual se prevé que la infraestructura de distribución de agua potable satisfará las necesidades de la población y cumplirá con los estándares de calidad y eficiencia. Este período puede variar en función de diversos factores, como el crecimiento poblacional, los cambios en la demanda de agua, las proyecciones de desarrollo urbano y las políticas de planificación a largo plazo. (Herrera, L. 2018)

#### **1. Caudal medio diario.**

El flujo promedio diario,  $Q_{md}$ , se define como el caudal estimado para la población futura, considerando la asignación bruta proporcionada. Este valor representa la media de los consumos diarios a lo largo de un año y se puede determinar a través de la siguiente fórmula:

#### **Ecuación 1**

*Caudal medio diario.*

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

*Nota. Tomado del reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico Ras.*

#### **2. Caudal máximo diario:**

El caudal máximo diario, representado por  $Q_{MD}$ , indica el consumo más elevado registrado durante un período de 24 horas a lo largo de un año. Su determinación se efectúa

al multiplicar el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo diario, denotado como  $k_1$ , tal como se expone en la ecuación siguiente:

### **Ecuación 2**

*Caudal máximo diario*

$$QMD = Qmd * k_1$$

*Nota. Tomado del reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico Ras.*

### **3. Caudal máximo horario:**

El flujo máximo por hora, QMH, se refiere al consumo máximo registrado en una hora durante un año, excluyendo el caudal de incendios. Su cálculo se realiza multiplicando el flujo máximo diario por el coeficiente de consumo máximo por hora,  $k_2$ , como se indica en la ecuación siguiente:

### **Ecuación 3**

*Caudal máximo horario*

$$QMH = QMD * k_2$$

*Nota. Tomado del reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico Ras.*

## **EPANET**

Es un software de simulación de redes de distribución de agua ampliamente utilizado en la ingeniería civil y la gestión de recursos hídricos. Su nombre proviene de "EPA's Water Distribution System Analysis Program" (Programa de Análisis de Sistemas de Distribución de Agua de la EPA, en español), y fue desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA).

Este software permite a los ingenieros y profesionales del agua modelar y analizar sistemas de distribución de agua potable, ayudando en la planificación, diseño y operación de redes de tuberías.

EPANET permite simular el flujo de agua a través de la red, calcular la presión en diferentes puntos, evaluar el comportamiento de las válvulas y bombas, y realizar análisis de calidad del agua, como la distribución de cloro y la detección de puntos críticos de contaminación. (Rossman, L. A. 2000)

## **METODOLOGÍA Y DISEÑO MUESTRAL**

El proceso metodológico que se utilizó para la recolección de datos, análisis y propuesta de la red actual, consiste en tres fases, con el fin de lograr el cumplimiento de los objetivos. Estas fases están divididas en diferentes tareas, con la finalidad de alcanzar resultados puntuales y mejores.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Realizar el rediseño del sistema de distribución de agua potable de la PTAP ACUALCOS E.S.P.

### **ESPECÍFICOS**

1. Obtener y verificar información relevante del sistema de distribución, basados en los parámetros que maneja la PTAP ACUALCOS.
2. Analizar los datos obtenidos, para determinar el estado actual del sistema de red en la zona de cubrimientos de ACUALCOS.
3. Proponer una optimización de la red de Acualcos: válvulas, bombas, tuberías para rendimiento y continuidad.

### **Fase 1: recolección de datos**

La primera fase consiste en la visita a la planta, en la cual se hará una identificación de los distintos sectores y procesos presentes. Esto incluye el análisis de toma del suministro, su proceso de tratamiento y su distribución, siendo el último en el que nos vamos a centrar [2]. Así mismo como el personal de la planta, sus funciones y su clasificación administrativa.

Luego se realizó una serie de entrevista con el personal encargado del funcionamiento de la planta, siendo la ingeniera ambiental la que nos proporcionará información necesaria para el diagnóstico de la red, información como: zonas de coberturas, planos en autocad, cantidad de usuarios suscritos a la red, y cantidad de personas que reciben el suministro de agua, caudales de los mismos y cantidad de accesorios, con sus respectivas características.

### **Fase 2: diagnóstico de la red actual**

La fase dos tiene como primera tarea hacer una migración de software, cuya transición será de autocad a epanet, ya que es con el software con el que se va lograr el diagnóstico [15] y la identificación de zonas con problemas, los cuales pueden ser presiones bajas, presiones altas, velocidad que superen o sean menores a las permitidas por el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento (RAS). [6]

### **Fase 3: plan de optimización**

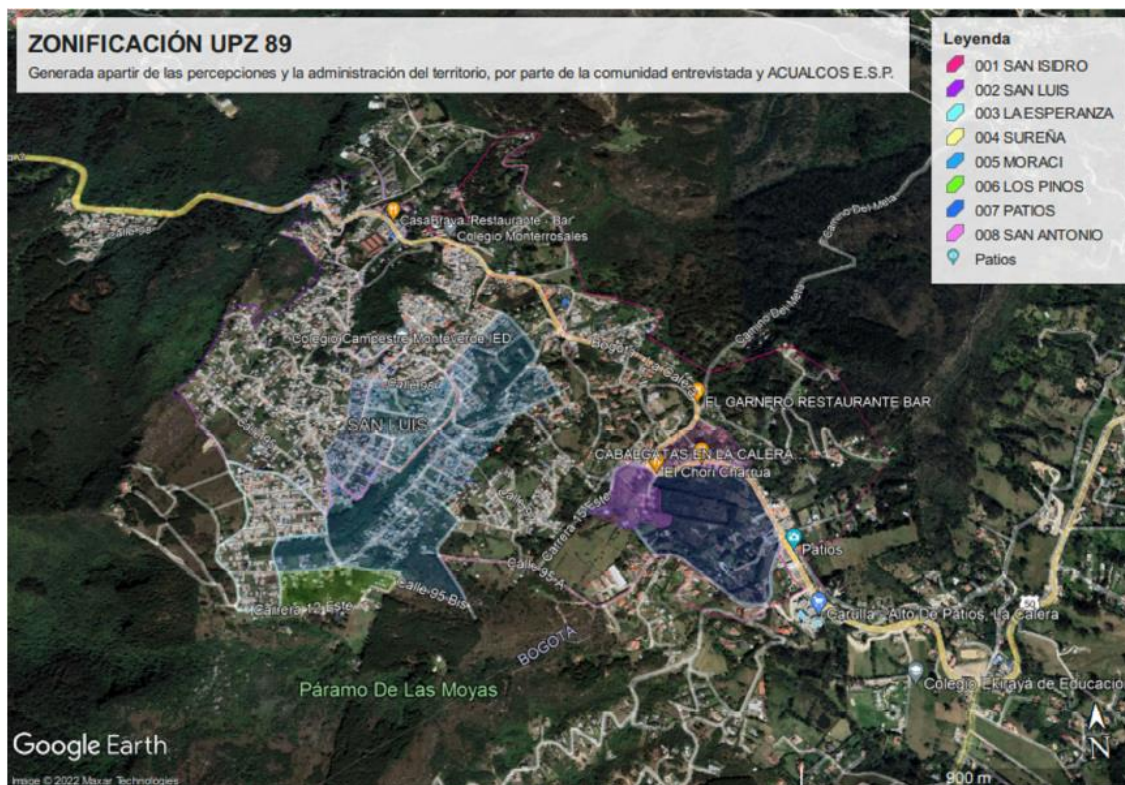
Una vez completada la fase de diagnóstico, podremos entender la necesidad del sistemas y sus necesidades, este plan será de hecho y logrado en EPANET, ya que es software especializado para sectores hidráulicos, ya que explica cómo se comporta con diferentes circunstancias, como pueden ser la altura o el caudal del sistema. [5]

### **Recolección de datos e información**

El trabajo de campo implicó la identificación y descripción de los usuarios del sistema de acueducto, cuyo procedimiento se detalla en el informe correspondiente al producto cinco basado en la información proporcionada por el acueducto. A partir de esta información, se recopilaron datos sobre la densidad de población y otros aspectos relevantes que permitieron estimar los niveles de consumo y calcular la demanda unitaria y bruta del sistema.

**Figura 1**

*Zona de cobertura PTAP ACUALCOS*



*Nota. Imagen obtenida de la base de datos del acueducto.*

Durante la caracterización de la población, se identifican aspectos clave del sistema, especialmente en el ámbito de la distribución, tales como mostradores y la ubicación de tuberías expuestas, accesorios, cajas y pozos. Además, se llevaron a cabo visitas y

recorridos por las estructuras de la red primaria, como la bocatoma, el desarenador, la planta de tratamiento de agua potable y las redes de conducción. Este proceso fue realizado por la Escuela del Agua de la Universidad Antonio Nariño, encabezada por el profesor Didier Sierra y su equipo de campo, en colaboración con el personal de ACUALCOS ESP.

Se solicitó al acueducto la provisión de información fundamental para realizar un análisis del sistema hidráulico, incluyendo el número de suscriptores, los caudales de agua, los diámetros de las tuberías, la cantidad de contadores y detalles sobre los accesorios de la red. Asimismo, se pidió la representación de la red en formato DWG para facilitar su integración en el software Epanet.

En la elaboración de la metodología, se tomó como muestra la zona de cobertura de la red de Acualcos[7]. En este análisis, se detallaron los barrios que se benefician del recurso suministrado por la PTAP, se cuantificó la cantidad de usuarios y se evaluó el número de personas beneficiadas por el servicio. Asimismo, se examinaron las distintas partes del sistema de distribución, se determinaron los caudales involucrados y se analizó todo lo concerniente a una red de distribución de agua, incluyendo aspectos hidráulicos y operativos. Este enfoque integral permitió una comprensión detallada de la complejidad de la red y sentó las bases para la propuesta de optimización y mejoras en la distribución.

**Población :**La población seleccionada para formar parte de la muestra corresponde a los residentes de los siguientes barrios: San Isidro, San Luis, La Esperanza, Sureña y Patios. Estos barrios están situados en la localidad de Chapinero, que es un área específica de interés dentro del contexto de estudio. Cabe destacar que la elección de estos barrios se basó en criterios relevantes, como la representatividad de diferentes zonas geográficas y demográficas, así como la diversidad en la infraestructura de la red de distribución de agua. Este enfoque nos brinda una visión completa y representativa de la realidad en términos de población y distribución de la red en esta localidad.

**Muestra:** se refiere a la población de interés, que son los habitantes de los barrios mencionados: San Isidro, San Luis, La Esperanza, Sureña y Patios. La muestra representa el conjunto de individuos que conforman estos barrios y que serán objeto de estudio,



análisis o evaluación. Es vital que la muestra sea representativa de la población en cuestión, incluyendo una variedad adecuada de personas con diferentes características y perfiles demográficos para obtener conclusiones y generalizaciones válidas.

**Individuo (Observación, Caso, Sujeto):** La planta de tratamiento Acualcos es una entidad singular dentro de la población de interés, que son los barrios San Isidro, San Luis, La Esperanza, Sureña y Patios. En este caso, la planta de tratamiento Acualcos es el objeto de observación, estudio o análisis. Se pueden recopilar datos y llevar a cabo investigaciones para comprender su funcionamiento, impacto ambiental, eficacia y otros aspectos relevantes para la comunidad y el entorno en el que se ubica.

**Variable:** Variable: Número de personas por familia

Esta variable representa la cantidad de personas que componen cada familia en los barrios de San Isidro, San Luis, La Esperanza, Sureña y Patios. Es un indicador importante para comprender la estructura familiar y la distribución demográfica de la población en estos barrios. Puede ayudar a analizar la demanda de servicios básicos, planificación urbana, políticas sociales y otros aspectos relacionados con las necesidades familiares y comunitarias.

**Variable: Caudales de agua**

Los caudales de agua representan la cantidad de agua que fluye o es suministrada en un determinado período de tiempo en la planta de tratamiento Acualcos, que es crucial para garantizar un abastecimiento adecuado de agua a los habitantes de los barrios mencionados. Medir y analizar los caudales es fundamental para evaluar la capacidad de la planta de tratamiento y para planificar el suministro de agua de manera óptima, teniendo en cuenta la demanda de la población.[11]

**Caudales**

**Tabla 1**

*Tabla dotación de agua*

	Uso	Dotación (L/persona*día)	
<i>Nota. obtenida</i>	Doméstico y Vivienda	138	<i>Información base de datos ACUALCOS</i>
	Centro de Salud	150	
	Comercial	19,6	
	Centros Veterinarios	16,6	
	Iglesia	6	
	Institución Educativa	25	
	Institución Social	25	
	Lavanderías	40	
	Restaurantes	19,6	
	<b>Variable: suministro</b>	<b>TOTAL</b>	

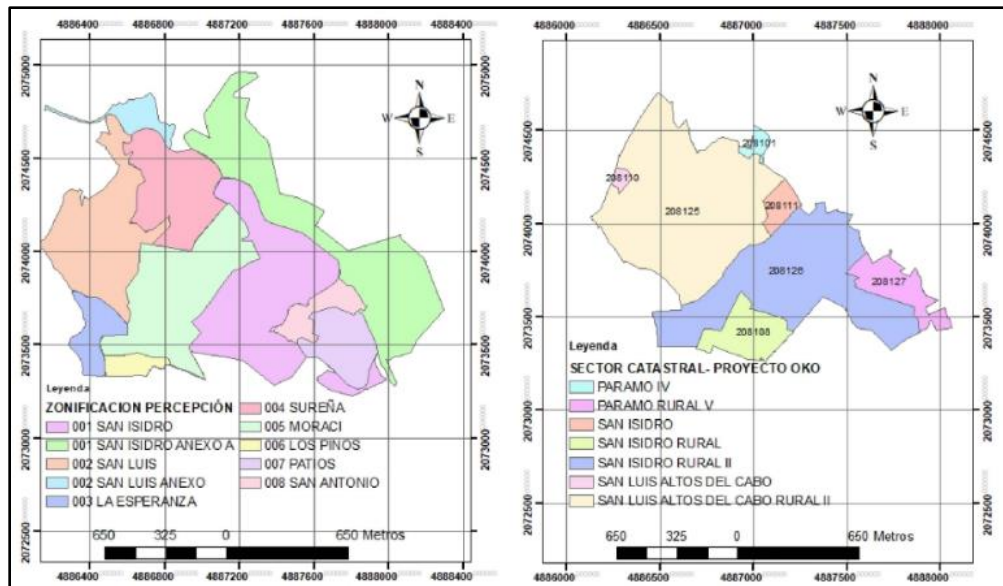
Esta variable describe la duración en horas durante la cual se suministra agua a los habitantes de los barrios San Isidro, San Luis, La Esperanza, Sureña y Patios desde la planta de tratamiento Acualcos. Es esencial para entender la disponibilidad y accesibilidad del agua en estos barrios, así como para evaluar si el suministro es continuo, intermitente o sujeto a ciertos horarios. Esta información es crucial para la planificación y gestión eficiente del suministro de agua en estas comunidades.

### Tamaño de Muestra:

Los cinco barrios mencionados, San Isidro, San Luis, La Esperanza, Sureña y Patios, se enmarcan en un contexto hidráulico crucial en términos de infraestructura del acueducto. La extensión total de 113 hectáreas plantea consideraciones importantes para el diseño y gestión de la red hidráulica, que debe garantizar un suministro de agua adecuado y eficiente para los 17.516 habitantes. Esta densidad poblacional requiere una planificación hidráulica detallada, considerando el caudal y la presión óptima en cada uno de estos barrios para asegurar un abastecimiento constante y equitativo.

**Figura 2**

*Zona de estudio*



*Nota. Imagen obtenida de la base de datos de acualcos*

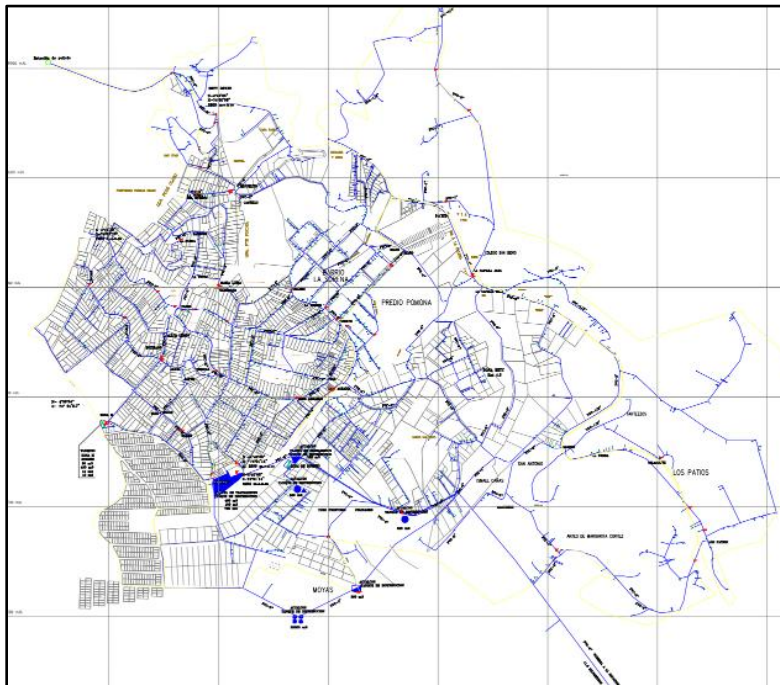
El análisis hidráulico de la red debe abordar aspectos como la capacidad de los conductos, puntos óptimos para ubicar estaciones de bombeo y tanques de almacenamiento, así como la distribución estratégica de válvulas de control. Además, es vital tener en cuenta factores como la topografía local, los patrones de consumo, las horas de mayor demanda y posibles escenarios de crecimiento poblacional para dimensionar adecuadamente la red y garantizar su operatividad a largo plazo. La información sobre la población y extensión territorial proporcionada por Ardila y Cárdenas (2020) sirve como base fundamental para realizar este análisis hidráulico y tomar decisiones informadas en la gestión de la infraestructura del acueducto en estos barrios.

## PROCESAMIENTO DE DATOS O INFORMACIÓN

El insumo principal para el modelamiento hidráulico, son los planos de redes en formato DWG, y la información del levantamiento de información de campo suministrado por la empresa encargada de la distribución del fluido Acualcos, esta información es recopilada en diferentes formatos, así como sistemas de referencia, y configuración de los datos. Por lo tanto se procede a hacer la estandarización, de la información, de tal manera que la información sea acorde para cargar al software de modelación escogido, el cual corresponde a EPANET.

### Figura 3

*Red de distribución ACUALCOS ESP, en formato DWG*



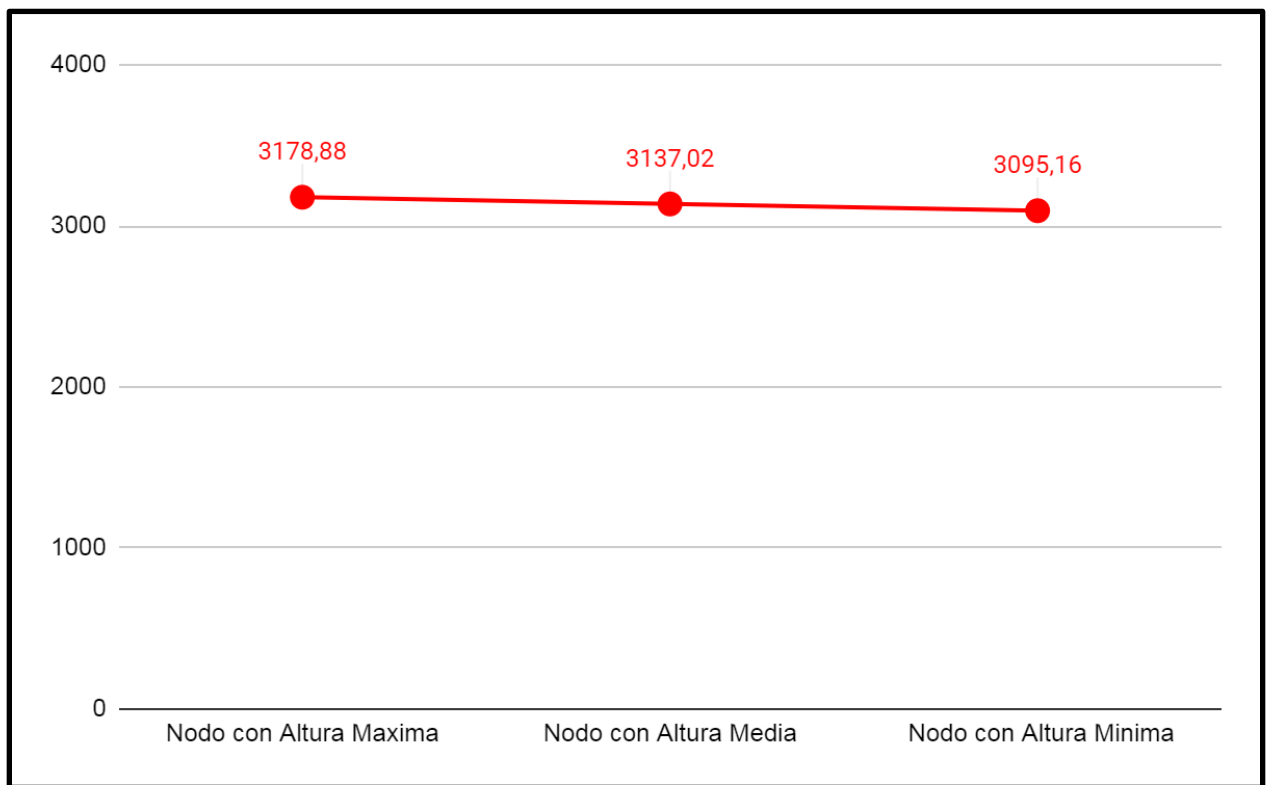
*Nota. Imagen obtenida de la base de datos del acueducto ACUALCOS*

### Características de la red

La infraestructura hidráulica de la red presenta una diversidad significativa de componentes esenciales que desempeñan un papel crucial en su operatividad. Entre estos elementos destacan los nodos o puntos de conexión, que actúan como puntos de intersección y unión en la red, facilitando la distribución eficiente del flujo de agua, la cual cuenta con un total de 4977 conexiones con información, como la altura, clasificada en el [Anexo A: Altura de Nodos y Conexiones](#), la cual cuenta con una altura msnm máxima, media y mínima representado en el siguiente gráfico:

**Figura 1**

*Altura máxima, mediana y mínima de los puntos de conexión*



*Nota. Información obtenida base de datos ACUALCOS*

Además de los nodos, se identificaron múltiples válvulas estratégicamente ubicadas a lo largo de la red. Estas válvulas tienen la función de controlar y regular el flujo de agua en distintas secciones de la red, permitiendo aislar tramos para mantenimiento, reparaciones

o ajustes operativos. Su ubicación estratégica contribuye a la flexibilidad y eficacia del sistema hidráulico, cuenta con un total de 50 válvulas distribuidas mediante todo el sistema, están clasificadas en el [Anexo B: Válvulas y sus diámetros](#) y clasificadas según su diámetro de la siguiente manera:

**Tabla 2**

*Tabla de Valvulas segun su diametro*

<b>Válvulas con diámetro de 54,58 mm</b>	46
<b>Válvulas con diámetro de 30, 2 mm</b>	2
<b>Válvulas con diámetro de 80,42 mm</b>	2

*Nota. Información adquirida base de datos ACUALCOS*

Las 50 valvulas de regulacion y sostenimientos estan divididas de las siguiente manera:

**Tabla 4**

*Tipo de válvula y cantidad*

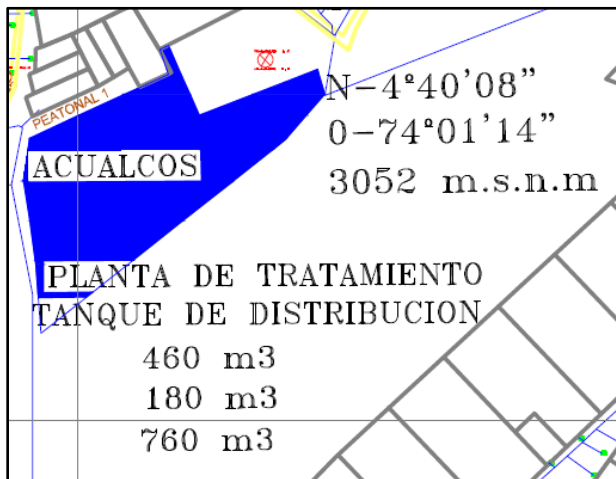
<b>Regulación</b>	7
<b>Sostenedora</b>	43
<b>Total</b>	50

*Nota. Información obtenida base de datos ACUALCOS*

En el [Anexo C: Ubicación y nombre de cada valvular](#) de este informe, se presenta una tabla que contiene información detallada acerca de cada válvula presente en la planta. Esta tabla incluye los: nombres de las válvulas (cada válvula está identificada por un nombre único, que facilita su referencia y localización dentro de la instalación), coordenadas geoespaciales (se proporcionan las coordenadas precisas que permiten ubicar con exactitud la posición de cada válvula en la planta), tipo de válvula (Cada válvula se clasifica de acuerdo a sus características y funcionalidad específica, lo que brinda una comprensión clara de su papel en el sistema).

Así mismo, dentro de la red se encuentran un total de cuatro bombas, distribuidas estratégicamente. Estas bombas son fundamentales para mantener una presión adecuada en el sistema, garantizando un suministro constante de agua a los usuarios finales. Su correcta operación y coordinación son vitales para optimizar el rendimiento hidráulico y cumplir con los requerimientos de los consumidores.

#### Imagen 4



*Planta de tratamiento, en el plano*

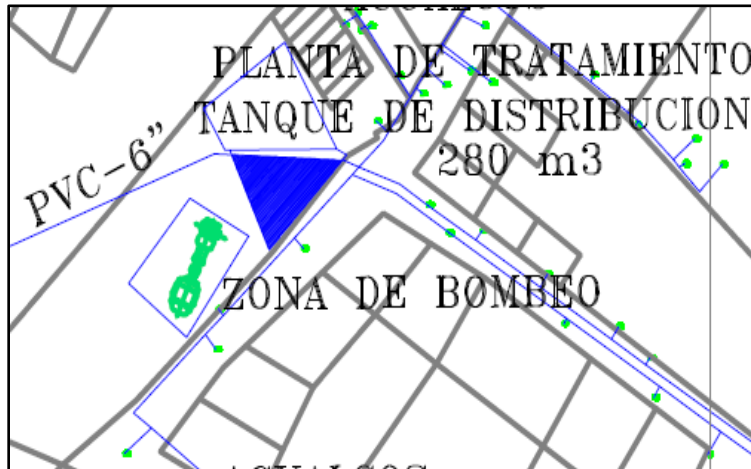
*AUTOCAD*

Hay dos bombas de alta presión BARNES MOD. KE 1.5 250 y motor siemens referencia 1LA3, ubicadas en la planta de tratamiento (imagen 4), las cuales cuentan con características como un caudal de 44,24 l/s y una fuerza de 66 metros columna de agua.

*Nota. Fuente base de datos ACUALCOS.*

Estas dos bombas son las encargadas de distribuir el agua, después del proceso de desinfección, o sea agua potable.

Las otras dos bombas se encuentran ubicadas en la zona de bombeo (imagen 5) al momento de llegar el agua a la bocatoma, el desarenador y los filtros.

**Imagen 5***Zona de Bombeo*

Esta zona cuenta con dos bombas Barnes GE 2.5C 300, que cuentan con características como un caudal de 15 l/s, una altura de 96 mca y una potencia de 25 hp.

*Nota. Fuente base de datos ACUALCOS.*

Ya por último, basándonos en los planos digitales presentados, se efectuó un registro detallado del estado actual de la red de acueducto. En este proceso, se logró determinar la cantidad de contadores en esta zona específica, siendo un total de 2411 contadores.

Asimismo, se procedió a visualizar su ubicación, y se realizó la referenciación correspondiente de la información referente a las válvulas, tanques y zonas de bombeo, datos que fueron proporcionados por ACUALCOS. Esta valiosa información permitió la identificación precisa de los diámetros de las tuberías y la correspondiente información de los accesorios asociados al sistema hidráulico.

**RESULTADOS**

Primero que todo y basado en la RAS, en el manual de diseño para redes de acueductos, se partió desde la premisa de que el sistema cuenta con un caudal para cada individuo de 150



litros/habitante x día, por lo que la norma exige diseñar bajo los parámetros de complejidad del sistema de medio alto.

**Tabla 3**

*Complejidad del sistema según la demanda diaria*

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

Nota. Tomado del *reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico Ras.*

Se calcularon los caudales de diseño, para referenciar con la RAS, si el sistema cumplía con los parametros establecidos por la norma, empezando por:

**Caudal medio promedio:**

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

$$Q_{md} = \frac{17516 \text{ hab} * 442,8 \text{ l/hab} * \text{ dia}}{86400 \text{ seg}}$$

$$Q_{md} = 89,76 \text{ l/hab} * \text{ dia}$$

**Caudal máximo diario**

El caudal máximo horario consiste en el día (24 horas), donde el consumo del suministro se encuentra en su pico más alto, el cual cuenta con un coeficiente de consumo máximo ( $K_1$ ), que según el título B de la resolución 0330 del manual de diseño tiene un valor de 1,2 para poblaciones mayores a 12.500 habitantes.

$$QMD = Qmd * k_1$$

$$QMD = (89,76l/hab \cdot dia) * (1,2)$$

$$QMD = 104,11 l/hab \cdot dia$$

### **Caudal máximo horario**

Consiste en la demanda más alta de agua en una hora establecida durante un año (365 días) contando también con un coeficiente de consumo ( $k_2$ ) que según la norma técnica de diseño no puede ser mayor a 5.

$$QMH = QMD * k_2$$

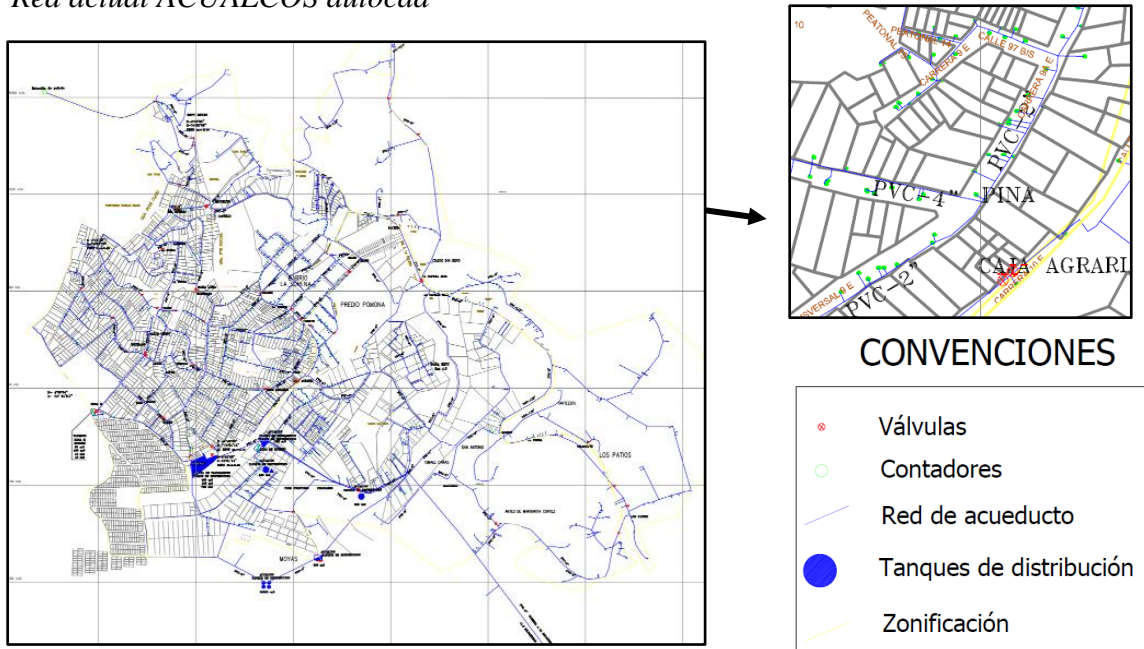
$$QMH = 104,11 l/hab \cdot dia * 1,5$$

$$QMH = 156,165 l/hab \cdot dia$$

La modelación en autocad esta de la siguiente manera:

**Imagen 6**

*Red actual ACUALCOS autocad*



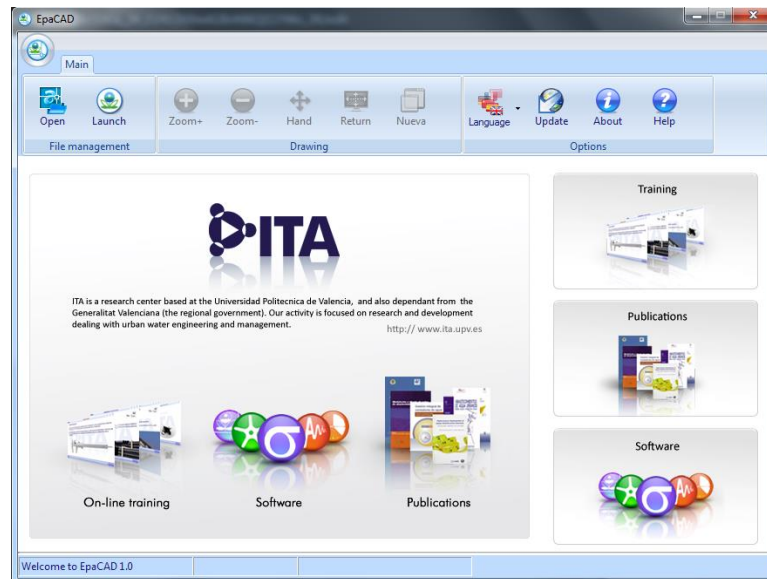
*Nota. Información obtenida base de datos acualcos*

*Donde se identificaron las valvulas como circulos con x rojas, lo contadores como circulos verdes, las redes de distribución con líneas del color azul, los tanques como circulos completamente azules y las líneas de zonificación de color amarillo.*

Se utilizó el programa EPACAD, para hacer la migración de AUTOCAD a EPANET, donde las puntos de conexión en CAD, son nodos en epanet. Donde los resultados topológicos de la red actual, enfocado principalmente en el trazado de la tubería, arrojaron que la varias tuberías no estaban conectadas entre sí, por lo que la simulación no podía correr, debido a este error, lo primero que se hizo fue completar y unir las tuberías incompletas, para que la simulación fuera viable. Lo mencionado anteriormente fue realizado directamente en el software epanet, por lo que no hubo necesidad de modificar el plano en autocad.

**Imagen 7**

## Interfaz EPACAD

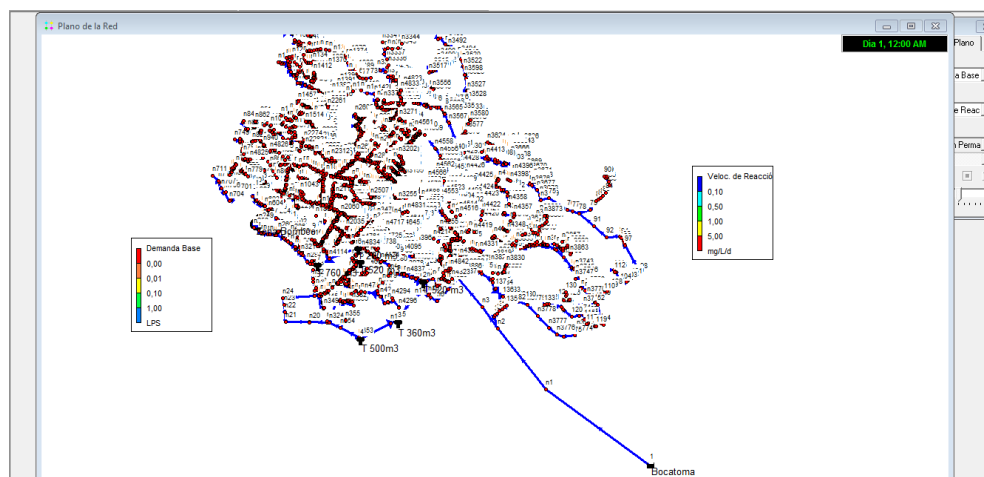


*Nota. Fuente Propia*

Luego se utilizó el plano en formato cad, y se ajustó los parámetros, con los que iban a contar el diseño ya en formato net, Para como resultado final entregar el plano de la siguiente manera, para realizar el análisis, pero esto en forma general, más adelante se describió el proceso detallado.

## Imagen 8

*Plano general de la red actual ya en formato EPANET*

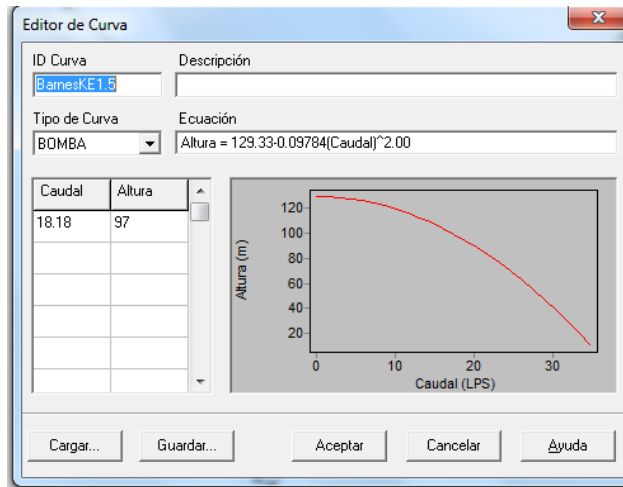


*Nota. Fuente propia*

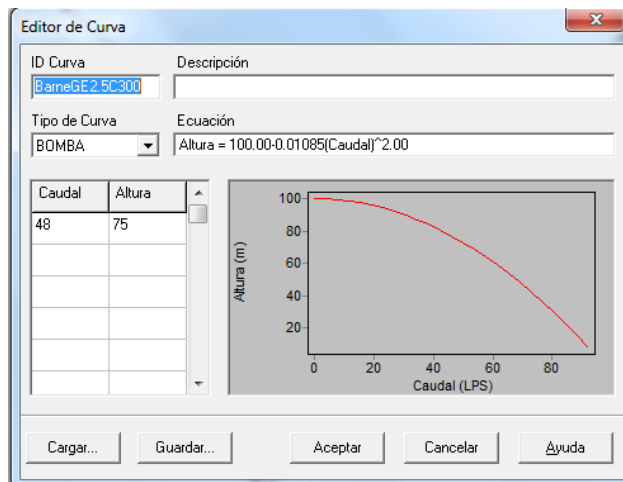
EPANET solicita al diseñador indicar las características de los diferentes componentes de la red, en el caso de las bombas [10] solicita una curva de comportamiento, el sistema actual está compuesta por cuatro bombas, las cuales tienen dos de las mismas características, a continuación se anexa la configuración de las bombas y su comportamientos:

## **Tabla 5**

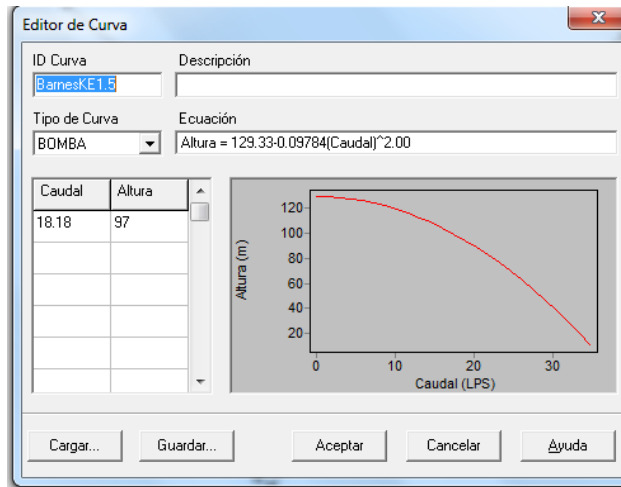
*Configuración de las bombas*



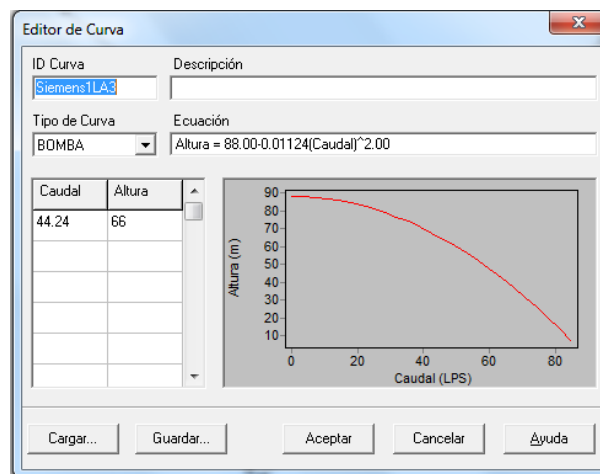
*BarnesKE1.5*



*BarneGE2.5C300*



*BarnesKE1.5*



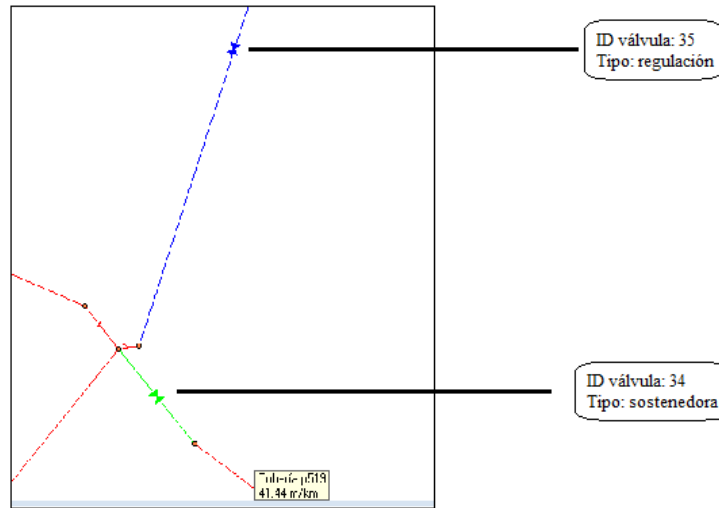
*Siemens1LA3*

*Nota. Fuente propia*

Como con las bombas el sistema, también requiere una configuración para todo el complejo de válvulas también exige una configuración, para que el diseño se pudiera simular, la red actual cuenta con 50 válvulas de dos tipos, las cuales son 7 de regulación y 43 sostenedoras.

**Imagen 10**

*Tipo de válvula y su identificación*



*Nota. Fuente propia*

Cada válvula tiene su respectiva configuración, dependiendo del tipo la cual sería:

**Imagen 12**

*Valvula de regulacion*



**Tabla 7**



<b>Coefficiente de Pérdidas</b>	2,5
<b>Diámetro</b>	54,58
<b>Caudal</b>	0,44
<b>Velocidad</b>	0,19

*Nota. Fuente ACUALCOS*

*Nota. Fuente aguamarket.net*

**Imagen 13**

*Válvula sostenedora de presión*



**Tabla 8**

<b>Coefficiente de Pérdidas</b>	2,5
<b>Diámetro</b>	54,58

*Nota. Fuente ACUALCOS*

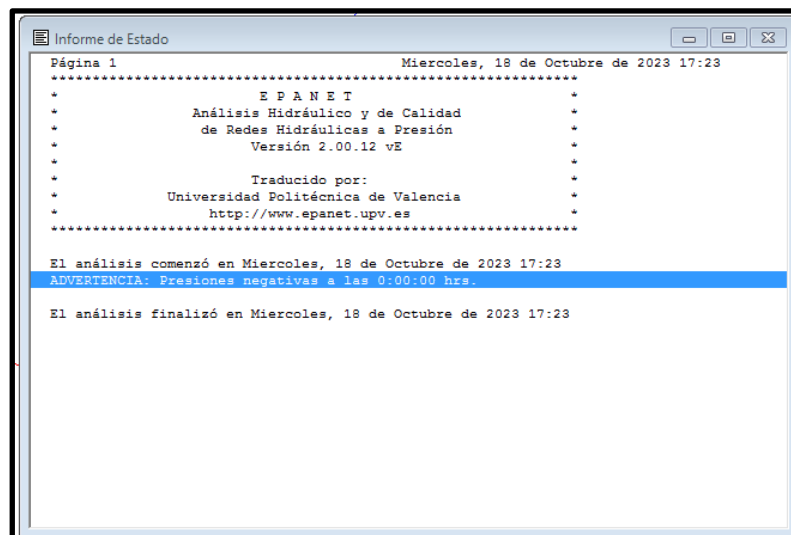
*Nota. Fuente helman.co*

Ya con el modelamiento configurado, sabiendo de forma más precisa cada característica de los accesorios de la red, como los son el número de bombas y su caudal, las válvulas, conexiones o nodos y la cantidad de usuarios, se realizó la simulación para diagnosticar la red actual, y los resultados obtenidos y de mayor preocupación son de dos tipos, primero la red presenta presiones negativas [7] y la segunda es que presenta velocidades mayores o menores según el manual de diseño de acueducto RAS.

## Imagen

13

*Resultado red actual ACUALCO en EPANET*

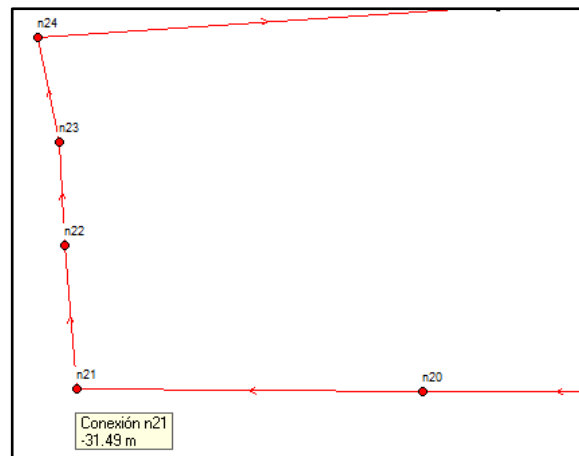


*Nota. Fuente propia*

Como indicó el software, acudimos a los resultados en excel, para observar que partes del sistema contaban con más problemas, y analizar alternativas de diseño, para solucionarlo. El primer factor que se observó, fueron las nodos o puntos de conexión, en el cual evidenciamos los problemas de presión.

### Imagen 14

*Uno de los sectores donde la red presenta presiones negativas*



*Nota. Fuente propia, red de distribución actual epanet*

En las que las tablas de resultados mostraron los siguientes resultados, donde se resaltan con color rojo las presiones:

### Imagen 15

*Resultados entregados por el software*

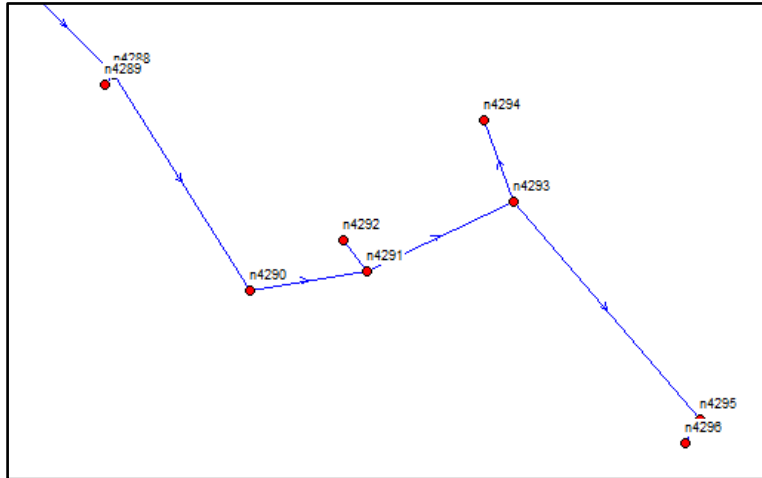
ID Nudo	Demanda lps	Altura m	Presió mca
Conexión n19	0	3116,68	-20,27
Conexión n20	0	3116,68	-20,25
Conexión n21	0	3114,34	-31,5
Conexión n22	0	3113,36	-30,66
Conexión n23	0	3112,65	-26,01
Conexión n24	0	3111,93	-20,67
Conexión n25	0	3108,8	-0,91

*Nota. Información resultados EPANET*

Otras de las zonas donde encontramos presiones negativas, fue en un sector detallado del barrio San Isidro.

### Imagen 14

*Sector con presiones negativas modelado EPANET*



*Nota. Fuente propia, red de distribución actual epanet*

Donde los valores de presión en esos puntos fueron los siguientes:

### Imagen 15

ID Nudo	Demanda lps	Altura m	Presió mca
Conexión n4288	0	3087,95	-5,89
Conexión n4289	0,002	3087,95	-6,2
Conexión n4290	0	3087,95	-9,07
Conexión n4291	0	3087,95	-5,72
Conexión n4292	0,005	3087,95	-5,55
Conexión n4293	0	3087,95	0,63
Conexión n4294	0,011	3087,95	1,63
Conexión n4295	0	3087,95	-1,8

*Presiones en nodos determinados*

*Nota. Información resultados EPANET*

En las que el resultado completo arrojado por epanet se encuentra en el [Anexo D: Resultados presiones de los nodos EPANET](#), [12] con respecto a los nodos. Como segunda inconsistencia se presentan los valores de velocidad ya que sobrepasan los valores mínimos y máximos establecidos por la norma (velocidad mínima que es de 0,5 m/s y velocidad máxima de 2,5 m/s de acuerdo con la norma del acueducto de Bogotá NS-036 Numeral 4,2).

### Imagen 16

*Velocidades en una muestra del sistema*

	Longitud	Diámetro	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Pérd. Unit.	Factor de Fricción
ubería p4169	26	54,58	0,0015	-4,42	1,89	59,93	0,018
ubería p4170	0,9859	54,58	0,0015	0	0	0	0
ubería p4171	22,9	54,58	0,0015	-4,42	1,89	60,08	0,018
ubería p4172	0,4769	54,58	0,0015	0	0	0	0
ubería p4173	8,7	54,58	0,0015	-15,27	6,53	569,58	0,014
ubería p4174	0,73	54,58	0,0015	0	0	0	0
ubería p4175	7.867	54,58	0,0015	-15,27	6,53	569,55	0,014
ubería p4176	11,42	54,58	0,0015	-15,27	6,53	569,56	0,014
ubería p4177	5.373	54,58	0,0015	-15,27	6,53	569,55	0,014
ubería p4178	22,04	54,58	0,0015	0,71	0,3	2,35	0,027
ubería p4179	22	54,58	0,0015	9,03	3,86	218,2	0,016
ubería p4180	24,34	54,58	0,0015	9,03	3,86	218,19	0,016
ubería p4181	16,27	54,58	0,0015	0	0	0	0
ubería p4182	15	54,58	0,0015	-9,85	4,21	255,51	0,015
ubería p4183	31	54,58	0,0015	-9,85	4,21	255,51	0,015
ubería p4184	1.084	54,58	0,0015	0	0	0	0
ubería p4185	27,58	54,58	0,0015	-9,85	4,21	255,51	0,015

*Nota. Fuente propia, resultados EPANET*

Donde la información completa se encuentra totalmente detallada en el [Anexo E: Estado actual tuberías, EPANET](#), basada en el diagnóstico realizado por EPANET.

### PROPUESTA DE MEJORAMIENTO

Con la información disponible sobre la red actual y plena conciencia de las necesidades específicas de la misma, se desarrolló una propuesta de optimización. Esta propuesta se centra en dos aspectos fundamentales: la modificación de los diámetros de las tuberías y la optimización de las válvulas y bombas.

La modificación de los diámetros de las tuberías tiene como objetivo mejorar el flujo de agua a lo largo de la red, asegurando un transporte más eficiente y sin pérdidas innecesarias. Por otro lado, la optimización de las válvulas y bombas busca garantizar un control preciso del sistema y un funcionamiento más económico y efectivo.

La necesidad de esta propuesta radica en las deficiencias existentes en la red actual, como problemas de presión y velocidades irregulares. Estas deficiencias afectan negativamente el rendimiento de la red y su confiabilidad. La propuesta se ha diseñado para abordar estos problemas y contribuir a la mejora y optimización del sistema en beneficio de todos los usuarios.

Una de las propuestas iniciales de mejora incluye la incorporación de 14 nuevas válvulas, lo que elevaría el número total de válvulas a 64. Este incremento tiene como objetivo principal gestionar la presión en las tuberías de manera más eficiente. Estas nuevas válvulas se clasifican en tres tipos clave: válvulas de sostenimiento, válvulas de regulación y válvulas de rotura de presión.

La adición de estas válvulas busca mejorar el control de la presión en la red de tuberías, garantizando un flujo constante y evitando fluctuaciones bruscas. La combinación de válvulas de sostenimiento, regulación y rotura de presión permitirá una gestión más precisa y adaptable a las diversas condiciones que la red pueda enfrentar.

### **Tabla 9**

*Diámetros de las válvulas para la propuesta*


<b>Tipo</b>	<b>Diámetro (in)</b>
Regulación	38,14
Rotura	54,58
Sostenedora	43,68

*Nota. Fuente*

En las que habrán un total de 11 valvulas de regulacion, 30 de rotura de presión y 23 sostenedoras [3] con las siguientes características:

**Tabla 10**

*Configuración de la válvulas EPANET*

 <p><i>Nota. Fuente TecvalOnline</i></p>	<p>Válvula 21</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Propiedad</th> <th>Valor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>*Nudo Inicial</td> <td>n248</td> </tr> <tr> <td>*Nudo Final</td> <td>n243</td> </tr> <tr> <td>Descripción</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Etiqueta</td> <td>122-40-25</td> </tr> <tr> <td>*Diámetro</td> <td>38.14</td> </tr> <tr> <td>*Tipo</td> <td>Regulación</td> </tr> <tr> <td>*Consigna</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Coef. Pérdidas</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>Estado Fijo</td> <td>Abierto</td> </tr> <tr> <td>Caudal</td> <td>7.22</td> </tr> <tr> <td>Velocidad</td> <td>6.32</td> </tr> <tr> <td>Pérdidas</td> <td>5.08</td> </tr> <tr> <td>Calidad</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Estado</td> <td>Abierto</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Fuente. Propia</i></p>	Propiedad	Valor	*Nudo Inicial	n248	*Nudo Final	n243	Descripción		Etiqueta	122-40-25	*Diámetro	38.14	*Tipo	Regulación	*Consigna	0	Coef. Pérdidas	2.5	Estado Fijo	Abierto	Caudal	7.22	Velocidad	6.32	Pérdidas	5.08	Calidad	0.00	Estado	Abierto
Propiedad	Valor																														
*Nudo Inicial	n248																														
*Nudo Final	n243																														
Descripción																															
Etiqueta	122-40-25																														
*Diámetro	38.14																														
*Tipo	Regulación																														
*Consigna	0																														
Coef. Pérdidas	2.5																														
Estado Fijo	Abierto																														
Caudal	7.22																														
Velocidad	6.32																														
Pérdidas	5.08																														
Calidad	0.00																														
Estado	Abierto																														




*Nota. Fuente Hidroconta*

Válvula 37

Propiedad	Valor
*Nudo Inicial	n2875
*Nudo Final	n2873
Descripción	
Etiqueta	036-40-25
*Diámetro	43.68
*Tipo	Sostenedora
*Consigna	0
Coef. Pérdidas	2.5
Estado Fijo	Abierto
Caudal	0.74
Velocidad	0.50
Pérdidas	0.03
Calidad	0.00
Estado	Abierto

*Nota. Fuente propia*





*Nota. Fuente Regulators ANSI*

Válvula 54	
Propiedad	Valor
*Nudo Inicial	n4
*Nudo Final	n5
Descripción	
Etiqueta	035-40-30
*Diámetro	54.58
*Tipo	Rotura Carga
*Consigna	50
Coef. Pérdidas	5
Estado Fijo	Ninguno
Caudal	0.02
Velocidad	0.01
Pérdidas	50.00
Calidad	0.00
Estado	Activo

*Nota. Fuente propia*

*Nota. Fuente propia*

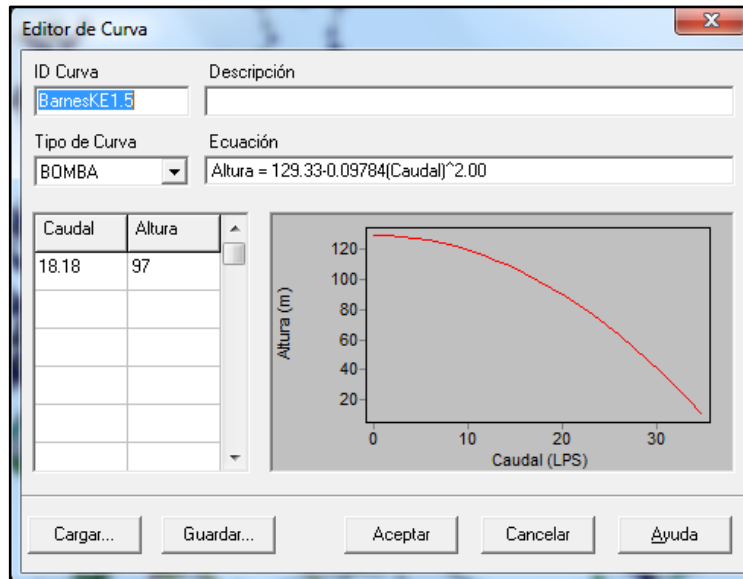
Con el propósito de abordar el problema de las presiones negativas en el sistema, se ha llevado a cabo la implementación de una bomba adicional de alta presión. Esta adición elevó el número total de bombas Barnes de alta presión en el sistema a cinco.[4]

La inclusión de esta nueva bomba de alta presión es fundamental para garantizar un control más efectivo de las presiones en la red. Esto contribuirá a eliminar las presiones negativas y a mantener un funcionamiento óptimo de la red de distribución de agua. El estudiante de ingeniería civil está comprometido a asegurar que esta implementación sea exitosa y beneficie a la red y a sus usuarios.

La curva de función de la bomba está configurada de la siguiente manera:

**Imagen 17**

*Configuración de la curva de la bomba adicional*

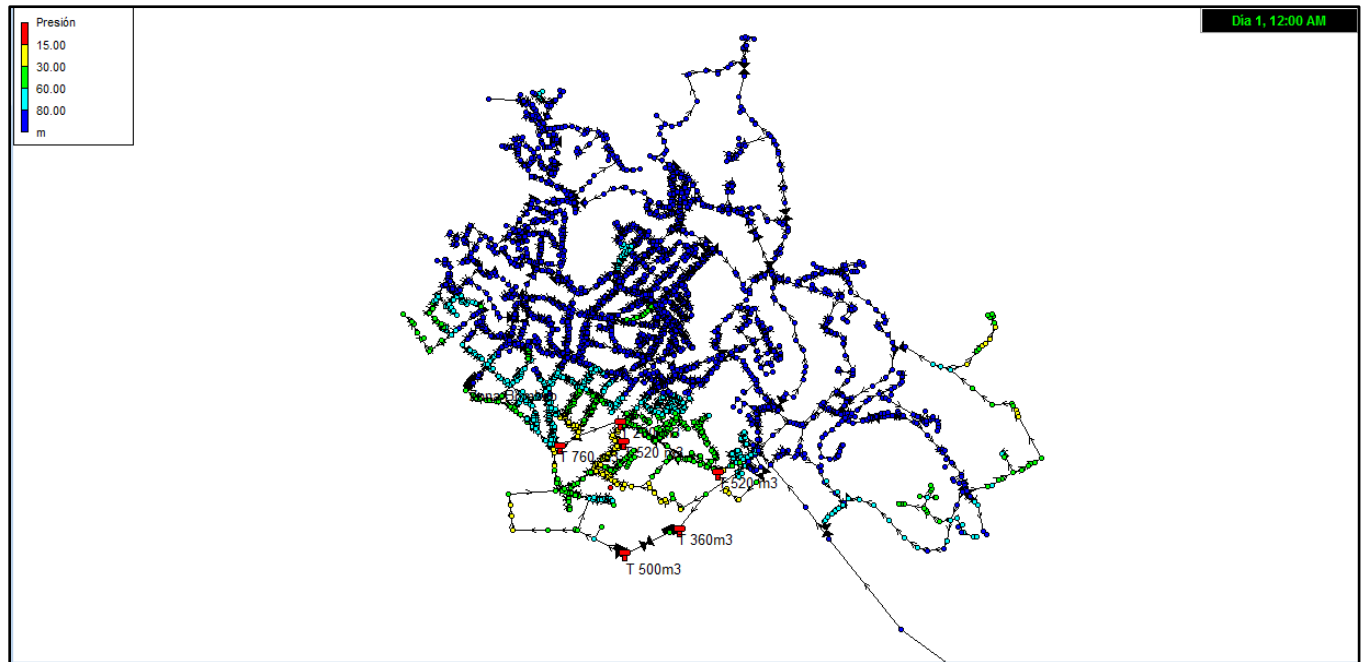


*Nota. Fuente Propia*

Tras completar la configuración del sistema, que en esencia es una optimización del sistema original, el resultado se presenta de la siguiente manera:

**Imagen 18**

*Modelo optimizado de la red actual*



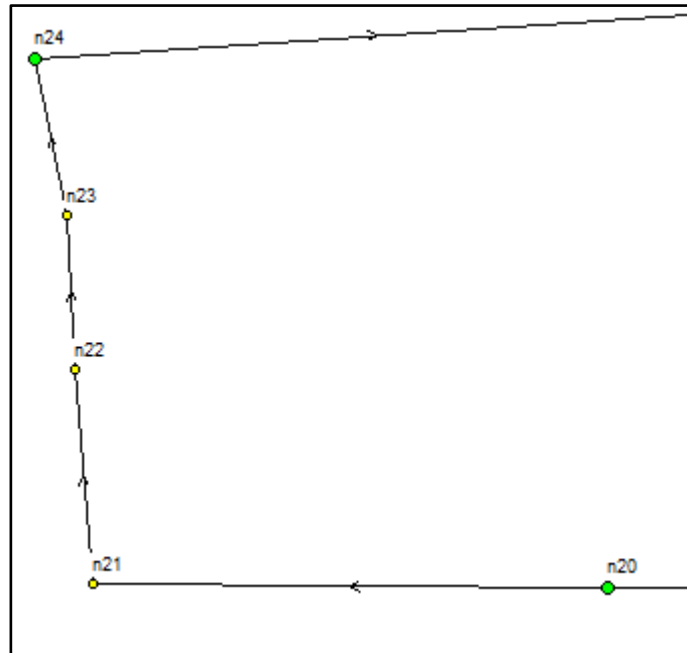
*Nota. Fuente propia*

Donde como podemos observar en la imagen 18, las presiones ya funcionan de manera más adecuada para el sistema, esto debido a que el sistema experimentó una serie de mejoras para abordar eficazmente las deficiencias identificadas [9]. Estas mejoras incluyen ajustes en los diámetros de las tuberías, la incorporación de nuevas válvulas y la adición de una bomba de alta presión. Como resultado, el sistema ahora se encuentra en un estado optimizado, listo para brindar un mejor servicio.

Anteriormente habíamos experimentado presiones negativas desde el nodo 20 al nodo 24, los cuales estaban representados con un color rojo su línea de conductividad, lo que nos indicaba defectos en ese tramo del sistema, con la optimización podemos ver su mejora.

### **Imagen 19**

*Tramo n20 al n24*



*Nota. Fuente Propia*

Donde sus valores cambian, volviéndose presiones positivas como lo indica la siguiente imagen y el [Anexo F: Resultados de Presiones en nodos, en la propuesta EPANET](#), y en el [Anexo G: Tablas de tuberías sistema propuesta](#) está la tabla de tuberías, y sus característica, de donde la tabla de los diagnósticos de la propuesta:

**Imagen 20**

*Valores de las presiones de los mismo nodos (color verde)*

Conexión n19	0.00	3138,18	41.39	0.00
Conexión n20	0.00	3116,68	41.40	0.00
Conexión n21	0.00	3116,68	26.03	0.00
Conexión n22	0.00	3114,34	25.13	0.00
Conexión n23	0.00	3113,36	28.54	0.00
Conexión n24	0.00	3112,65	32.60	0.00

*Nota. Fuente diagnóstico EPANET*

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como análisis de los resultados, se hizo necesario un estudio detallado en los resultados entregados por la simulación de la red, donde los anexos D y E, que hacen énfasis sobre las presiones y velocidades, se logró evidenciar los siguientes comportamientos [14]:

- El primer detalle que se observó cuando se hizo el análisis, fue un problema de presiones, esto puede provocar una distribución irregular de agua, lo que significa que algunos usuarios pueden experimentar caídas en la presión o incluso la falta de agua.
- La segunda inconsistencia observada se relaciona con las variaciones de velocidad en la red de distribución de agua. Si se identifican velocidades inadecuadamente bajas, lo que puede dar lugar a problemas de presión, agravando la primera discrepancia. Además, se encontraron velocidades excepcionalmente altas que pueden provocar efectos perjudiciales, como golpes de ariete, lo que, a su vez, podría ocasionar daños tales como rupturas y fracturas en las tuberías.
- Finalmente, se destaca el valor de utilizar aplicaciones de licencia libre con requisitos básicos como EPANET, que pueden ser de gran ayuda para comprender y mejorar una red de acueducto. Esto se puso en práctica en la propuesta de optimización, donde se incorporaron una bomba adicional y catorce nuevas válvulas, logrando una mejora significativa en el sistema en su conjunto.

## CONCLUSIONES

En conclusión general, el presente trabajo logró alcanzar su objetivo general al realizar el rediseño del sistema de distribución de agua potable de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) ACUALCOS E.S.P. Este proceso implicó una evaluación exhaustiva de la infraestructura existente y la propuesta de mejoras significativas para optimizar la eficiencia y garantizar un suministro continuo y confiable de agua potable a la comunidad.

Pero siendo más específico, la realización de la investigación permitió concluir:

- Se pudo obtener y verificar información relevante del sistema de distribución, basándose en los parámetros manejados por la PTAP ACUALCOS. Este paso fue crucial para comprender a fondo la infraestructura existente y permitió fundamentar las decisiones tomadas durante el proceso de rediseño.
- El análisis de los datos obtenidos reveló de manera precisa el estado actual del sistema de red en la zona de cobertura de ACUALCOS. Identificar las áreas de debilidad y los puntos críticos permitió desarrollar estrategias efectivas para abordar los desafíos específicos del sistema y mejorar su funcionalidad.
- La propuesta de optimización para la red de ACUALCOS, que abarca aspectos como válvulas, bombas y tuberías, se diseñó con el objetivo de mejorar el rendimiento global del sistema y garantizar la continuidad del suministro de agua potable. Estas recomendaciones fueron elaboradas considerando las mejores prácticas y tecnologías disponibles en el ámbito de distribución de agua.

## **CONTRIBUCIONES Y RECOMENDACIONES**

Las contribuciones y recomendaciones destacan una inconsistencia en los datos de cuotas, que se utilizan para describir el sistema hidráulico de distribución. Se ha observado que los valores presentados no reflejan la realidad, y tras consultar con el tutor asesor, se ha identificado un error en el levantamiento topográfico. En este sentido, se sugiere llevar a cabo un nuevo estudio hidráulico en la zona, con el propósito de obtener datos más precisos y acordes con la situación real. Esta recomendación ya ha sido comunicada a la planta de tratamiento, que ha informado que se está acelerando el proceso de corrección.

## REFERENCIAS

2022 - ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA - IDEAM. (s. f.).

[http://www.ideam.gov.co/web/agua/estudio-nacional-del-agua/-/document\\_library\\_display/hWSQik0LFPw/view/125666586](http://www.ideam.gov.co/web/agua/estudio-nacional-del-agua/-/document_library_display/hWSQik0LFPw/view/125666586)

de Almeida, A. C. S., et al. (2019). *Water Network Simulation Models: A Critical Review*. *Water (Switzerland)*, 11(7), 1347

Herrera, L. (2018). *Diseño de sistemas de distribución de agua potable*. Editorial Técnica.

Saldarriaga, JV (2007). *Hidráulica de tuberías*. Compañías McGraw-Hill

Vargas, J. (2012). *Planificación de sistemas de abastecimiento de agua potable*.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2014). *Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico Ras (Título B) (2014) (p. 38)*. Bogotá D.C.

Rossman, L. A. (2000). *EPANET 2 Users Manual*. U.S. Environmental Protection Agency. Disponible en línea en: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/epanet2\\_usersmanual.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/epanet2_usersmanual.pdf)

Gómez, JA, López, JF y Guzmán, AM (2017). *Modelado hidráulico de la red de distribución de agua potable de Manizales (Colombia)*. *DINA*, 84(201), 97-104.

López, JF, Castillo, JJ, & Álvarez, LA (2018). *Evaluación de la calidad del agua en la red de distribución de la ciudad de Cartagena, Colombia*. *Revista de Ingeniería*, 47, 41-50.

Valencia, LF, Céspedes, LA y Caicedo, LA (2019). *Modelo de optimización de redes de distribución de agua potable para zonas rurales en Colombia*. *Revista de Ingeniería*, 50, 69-76.

Amaris, H., Aguirre, J. y Agudelo, L. (2020). *Marco de gestión de activos para los sistemas de distribución de agua en Colombia*. *DINA*, 87(215), 62-69.

Ardila, E. T. A., & Cárdenas, B. F. D. (s. f.). *Diagnóstico del uso del suelo UPZ 89 San Isidro Patios*.

Mentes, A., Galiatsatou, P., Spyrou, D., Samaras, A., & Stournara, P. (2020). *Hydraulic Simulation and Analysis of an Urban Center's Aqueducts Using Emergency Scenarios for Network Operation: The Case of Thessaloniki City in Greece*. *Water*, 12(6), 1627. <https://doi.org/10.3390/w12061627>.

[1] Maluku, F., Veseli, B., & Dobroshi, F. (2022). *Drinking Water Before and After Processing in the Water Supply*. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(6), 82-88. <https://doi.org/10.12912/27197050/152911>.

[2] Tao, Y., Yan, D., Yang, H., Ma, L., & Kou, C. (2022). *Multi-objective optimization of water distribution networks based on non-dominated sequencing genetic algorithm*. *PLOS ONE*, 17(11), e0277954. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277954>.

[3] Bermúdez, J.-R., López-Estrada, F.-R., Besançon, G., Valencia-Palomo, G., & Santos-Ruiz, I. (2022). *Predictive Control in Water Distribution Systems for Leak Reduction and Pressure Management via a Pressure Reducing Valve*. *Processes*, 10(7), 1355. <https://doi.org/10.3390/pr10071355>

[4] Wang, Y., Zhao, Q., Wu, W., Willis, A., Simpson, A. R., & Weyer, E. (2022). *Improved Pump Setpoint Selection Using a Calibrated Hydraulic Model of a High-Pressure Irrigation System*. *IFAC-PapersOnLine*, 55(33), 72-77. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.11.012>

[5] Awe, O. M., Okolie, S. T. A., & Fayomi, O. S. I. (2020). *Analysis and optimization of water distribution systems: A case study of Kurudu post service housing estate, Abuja, Nigeria*. *Results in Engineering*, 5, 100100. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100100>

[6] Delgado-Aguñaga, J. A., Becerra-López, F. I., Torres, L., Besançon, G., Puig, V., & Magaña, M. R. J. (2020). *Dynamic model for a water distribution network: Application to leak diagnosis and quality monitoring*. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 16679-16684. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.1091>

[7] Jensen, T. N., Puig, V., Romera, J., Kallesøe, C. S., Wisniewski, R., & Bendtsen, J. D. (2018). *Leakage localization in water distribution using data-driven models and sensitivity analysis*. *IFAC-PapersOnLine*, 51(24), 736-741. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.09.657>

[8] Quiñones-Grueiro, M., Bernal-de Lázaro, J. M., Verde, C., Prieto-Moreno, A., & Llanes-Santiago, O. (2018). *Comparison of Classifiers for Leak Location in Water Distribution Networks*. *IFAC-PapersOnLine*, 51(24), 407-413. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.09.609>

[9] Morley, M. S., Khoury, M., & Savić, D. A. (2017). *Serious Game Approach to Water Distribution System Design and Rehabilitation Problems*. *Procedia Engineering*, 186, 76-83. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.213>



[10] Marchi, A., Simpson, A. R., & Lambert, M. F. (2017). *Pump Operation Optimization Using Rule-based Controls*. *Procedia Engineering*, 186, 210-217. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.229>

[11] Do, N., Simpson, A., Deuerlein, J., & Piller, O. (2017). *Demand Estimation In Water Distribution Systems: Solving Underdetermined Problems Using Genetic Algorithms*. *Procedia Engineering*, 186, 193-201. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.227>

[12] Irofti, P., Stoican, F., & Puig, V. (2020). *Fault handling in large water networks with online dictionary learning*. *Journal of Process Control*, 94, 46-57. <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2020.08.003>

[13] Zanoli, S. M., Pepe, C., & Astolfi, G. (2022). *Advanced Process Control Applications to Water Resources Systems: Two Industrial Case Studies*. *IFAC-PapersOnLine*, 55(33), 99-104. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.11.016>

[14] Sankary, N., & Ostfeld, A. (2017). *Incorporating Operational Uncertainty in Early Warning System Design Optimization for Water Distribution System Security*. *Procedia Engineering*, 186, 160-167. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.222>

[15] Loaiza, R. A. H. (s. f.). *ANÁLISIS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA RED DE ACUEDUCTO QUE ABASTECE LA VEREDA SANTA ROSA EN EL MUNICIPIO DE TOCAIMA - CUNDINAMARCA*.

Beltran, A. L., & Galindo, J. J. A. (s. f.). *Análisis de Demanda y la Red de Distribución de Agua en el Municipio de Aracataca, Colombia*.

Jiménez, J. D. H., & Pérez, J. S. G. (2015). *Diagnóstico y análisis de alternativas para la optimización del sistema de acueducto de la vereda de Chacua del municipio de Sibaté*.

Quintero, J. E. T. (s. f.). *CINDY LISSETTE BOTELLO HIGUERA COD: 064091026*.

Arias Arenas, O. (2013). *Diagnóstico, evaluación de alternativas, análisis y cálculos hidráulicos de las redes matrices del sistema de acueducto de Quibdó, Chocó*. *Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito*.

Ruiz, L. J. C., & Perez, C. A. G. (2015). *ANÁLISIS TÉCNICO DE LA RED DE CONDUCCIÓN ABASTECEDORA DEL ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE VILLET A CUNDINAMARCA SEGÚN NORMAS RAS 2000*.

Romero, F. H. C. (2005). *Acueductos: Teoría y diseño*. *Universidad De Medellin*.

Sepúlveda, F. (s. f.). *Análisis de sectorización hidráulica en redes de distribución de agua implementando Epanet e iDistritos*.

*Alvarez, A. F. G., & Cifuentes, G. C. (2018). MEJORAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCION DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO AUACACT EN LA LOCALIDAD DE CIUDAD BOLIVAR MEDIANTE MODELACION EN EPANET - BOGOTA D.C.*

*Saldarriaga, I. J. G. (s. f.). OPTIMIZACIÓN DE REDES DE ACUEDUCTO CON EL FIN DE UNIFORMIZAR EL ESTADO DE PRESIONES*

*Vargas, F. D. T. (s. f.). PLANIFICACIÓN Y ANÁLISIS FINANCIERO EN UN PROYECTO DE RENOVACIÓN DE REDES LOCALES DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL, UBICADO EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C., POR MEDIO DE METODOLOGÍAS AGILES.*