

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

PROPUESTA DE MEJORAS A LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DEL CANTÓN CAYAMBE

EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN “EL QUINGO”

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR
EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**

Amanda Isabela Morales Pillajo

DIRECTOR: Ing. Eduardo Mauricio Vásquez Falcones M.sc

DMQ, agosto 2023

CERTIFICACIONES

Yo, Amanda Isabela Morales Pillajo declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

AMANDA MORALES

amanda.morales@epn.edu.ec

sagichave01mopi@hotmail.com

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Amanda Isabela Morales Pillajo, bajo mi supervisión.

ING. EDUARDO VÁSQUEZ

DIRECTOR

eduardo.vasquez@epn.edu.ec

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Amanda Isabela Morales Pillajo

DEDICATORIA

A mi madre Blanca que me ha sido un pilar importante en mi vida y me ha acompañado en todas mis etapas académicas desde la escolar hasta la universitaria.

AGRADECIMIENTO

A mi madre por su apoyo incondicional en todos los aspectos de mi vida, a mi tutor de tesis por tener la paciencia para explicarme todas mis dudas, a mi amistad incondicional Alisson que ha sido mi apoyo emocional en toda mi vida académica.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO	1
1.1	Objetivo general	1
1.2	Objetivos específicos	1
1.3	Alcance	2
1.4	Marco teórico	2
1.4.1	Sistemas de abastecimiento	2
1.4.2	Red de distribución.....	4
1.4.3	Aforo de Caudales	6
1.4.4	Normativa.....	7
1.4.5	Modelos numéricos de evaluación hidráulica	8
2	METODOLOGÍA.....	8
2.1	Descripción del lugar	8
2.1.1	Cantón Cayambe	8
2.2	Levantamiento de Información.....	9
2.2.1	Visitas técnicas	9
2.2.2	Análisis de la información disponible	9
2.2.3	Levantamiento de campo	10
2.3	Evaluación hidráulica	11
2.3.1	Procesamiento de información	11
2.3.2	Análisis hidráulico.....	13
2.4	Propuesta de mejoras	14
3	RESULTADOS	14
3.1	Levantamiento de información	14
3.1.1	Visitas técnicas	14
3.1.2	Análisis de la información disponible	14
3.1.3	Levantamiento de campo	16
3.2	Evaluación hidráulica	24
3.2.1	Procesamiento de información	24
3.2.2	Análisis hidráulico.....	26
3.3	Propuesta de mejoras	33
4	CONCLUSIONES.....	36
5	RECOMENDACIONES	37
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
7	ANEXOS.....	39

RESUMEN

Este proyecto realizado en el cantón Cayambe provincia de Pichincha tiene la finalidad de evaluar hidráulicamente la red de distribución “El Quingo” el cual abastece de a los barrios: La Remonta, Nápoles y Portales de San Pedro de Ayora.

Antes de comenzar con la evaluación hidráulica fue necesario solicitar la información existente acerca de la red de distribución de agua potable “El Quingo” a la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Aseo de Cayambe (EMAPAAC-EP), una vez entregada la información se la revisó y se llegó a la conclusión que para la evaluación hidráulica hacía falta aún información que fue levantada en campo.

Se comenzó con el recorrido por el tanque de almacenamiento de la red de distribución de “El Quingo” para conocer su infraestructura y la manera en la que es operada, también se definió el sitio en donde se ubicó el equipo de ultrasonido el cual tomó datos durante 9 días y seguido a esto se realizó el levantamiento catastral de las válvulas existentes en la red de distribución las cuales fueron un total de 12.

La EMAPPAC-EP entregó un documento en donde se especifican los parámetros de diseño del tanque de almacenamiento “El Quingo” y el plano de la red de distribución de agua potable “El Quingo” a este plano se les realizaron modificaciones a sus nodos, tuberías y se agregaron válvulas. También se calculó los caudales de diseño para cada tramo de tubería de la red, teniendo 356 tramos y un total de 20.2 km de tubería.

Una vez terminadas las modificaciones de los nodos y tuberías del plano se empezó con la evaluación hidráulica de la red de distribución en donde se evaluó si cumple con los límites permisibles estáticos máximos y dinámicos mínimos en presiones y los límites permisibles mínimos en velocidades. También se evaluó el sistema actual de la red, con válvulas cerradas de la red y se añadió válvulas reguladoras de caudal para analizar el comportamiento de la red de distribución en un sistema dinámico.

Finalmente, con los resultados obtenidos se realizaron propuestas de mejoras para la red de distribución “El Quingo”.

PALABRAS CLAVE: red de distribución, nodos, válvulas, tuberías, evaluación hidráulica, tanque de almacenamiento, caudales de diseño

ABSTRACT

This project carried out in the Cayambe canton, province of Pichincha, has the purpose of hydraulically evaluating the distribution network "El Quingo" which supplies the following neighborhoods: La Remonta, Nápoles and Portales de San Pedro de Ayora: La Remonta, Napoles and Portales de San Pedro de Ayora.

Before starting the hydraulic evaluation, it was necessary to request existing information about the "El Quingo" drinking water distribution network from the Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Aseo de Cayambe (EMAPAAC-EP). Once the information was provided, it was reviewed, and it was concluded that the hydraulic evaluation still needed information that was collected in the field.

We began with a tour of the storage tank of the "El Quingo" distribution network to learn about its infrastructure and the way it is operated; we also defined the site where the ultrasound equipment was located, which took data for 9 days, followed by a cadastral survey of the existing valves in the distribution network, of which there were a total of 12.

EMAPPAC-EP delivered a document specifying the design parameters of the "El Quingo" storage tank and the plan of the "El Quingo" potable water distribution network, to which modifications were made to its nodes, pipes and valves were added. The design flow rates were also calculated for each section of pipe in the network, with 356 sections and a total of 20.2 km of pipe.

Once the modifications of the nodes and pipes of the plan were completed, the hydraulic evaluation of the distribution network was started, where it was evaluated if it complies with the maximum static and minimum dynamic allowable limits in pressures and the minimum allowable limits in velocities. The current system of the network was also evaluated, with closed valves of the network and flow regulating valves were added to analyze the behavior of the distribution network in a dynamic system.

Finally, with the results obtained, proposals for improvements were made for the "El Quingo" distribution network.

KEYWORDS: distribution network, nodes, valves, pipes, hydraulic evaluation, storage tank, design flows

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

En el último siglo, la demanda de agua a nivel mundial ha aumentado debido a la alta tasa de crecimiento demográfico, la rápida urbanización, el desarrollo económico y las modalidades cambiantes de consumo. Además, esta demanda se intensifica con el cambio climático y los fenómenos meteorológicos extremos que cada vez son originados con más frecuencia como sequías e inundaciones (ONU, 2020).

El Objetivo de Desarrollo sostenible 6 pretende lograr un acceso universal y equitativo al agua potable y a servicios de saneamiento e higiene adecuados, así como mejorar la calidad del agua a nivel global. Las empresas juegan un rol clave en este sentido, debiendo gestionar de forma sostenible los recursos hídricos disponibles en el entorno que son utilizados para la creación, producción y distribución de sus productos y servicios. (PactoMundial, 2021)

El cantón Cayambe se encuentra ubicado en la provincia de Pichincha aproximadamente a 75 Km al nororiente de la ciudad de Quito, sobre los 2.700 msnm, tiene una superficie cercana a 1.198 Km² que representan el 14,21% de la superficie total de la Provincia de Pichincha. (Cayambe-GAD, 2020). La Empresa Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Aseo (EMAPAAC-EP) es la encargada de la administración de los sistemas de abastecimiento y saneamiento del cantón; la EMAPAAC-EP trabaja en la mejora continua de sistemas de abastecimiento y saneamiento para que cumplan normativa y satisfagan las necesidades de la población.

1.1 Objetivo general

Evaluar hidráulicamente la red de distribución El Quingo

1.2 Objetivos específicos

1. Levantar información relevante para el análisis hidráulico de la red de distribución de los barrios: Remonta, Portales de San Pedro y Nápoles
2. Evaluar hidráulicamente la red de distribución
3. Proponer mejoras a la red de distribución mediante al análisis de resultados de la evaluación hidráulica

1.3 Alcance

El alcance para este proyecto es realizar el levantamiento de información base para hacer un análisis hidráulico en donde se pueden identificar zonas de conflicto en la parte hidráulica y establecer una propuesta de mejoras en base en los resultados obtenidos.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Sistemas de abastecimiento

El sistema de abastecimiento para agua potable cuenta con un conjunto de obras en donde su objetivo es captar, conducir, tratar, almacenar y distribuir el agua captada desde la fuente de agua natural hasta las viviendas de los consumidores garantizando la calidad de esta (Adriano, 2017)

Fuentes de abastecimiento

Conocer el agua que será captada es el inicio del diseño de un sistema de abastecimiento para agua potable, es necesario que la fuente cumpla con la capacidad de satisfacer a la población a la cual se desea abastecer como también cumplir con cierta calidad de agua (Lossio, 2012).

La selección de la fuente de abastecimiento se debe tener en cuenta la calidad del agua para tener una idea inicial sobre la facilidad para su tratamiento y sus posibles costos; por otro lado, el aprovechamiento de la fuente de abastecimiento debe ser con un impacto ambiental mínimo (EMAAP-Q, 2009).

Captación

Una vez definida la fuente de abastecimiento se debe determinar la estructura de captación en base a la calidad y cantidad de agua la cual se utilizará para recolectar y proveer a la población (Trapote, 2013).

Tipo de Captaciones:

Captaciones Pluviales: En lugares donde las fuentes de abastecimiento tienen una calidad baja y cantidad escasa de agua, pero existen precipitaciones altas, un sistema de captación de agua pluvial en techos (SCAPT) es el ideal; en este sistema es necesario

que las casas tengan un sistema de recolección, filtración y almacenamiento implementado (UNATSABAR, 2001)

Captaciones Superficiales: Una fuente de agua superficial se considera a los ríos, lagos, quebradas, lagunas y embalses de almacenamiento (EMAAP-Q, 2009). Para realizar la captación de lagos y/o embalses se suele construir torres de toma libre o adosadas al perímetro mojado del dique, mientras que para ríos, arroyos y canales es necesario una captación mediante obras de toma en el cauce. Estas obras son realizadas en base a un estudio hidrológico completo en donde está un estudio de pluviometría, aforo de caudales, coeficientes de escorrentía (Orellana, 2005)

Captaciones Subterráneas: Para poder captar las aguas subterráneas existen varios métodos entre los más comunes están los manantiales, galerías filtrantes, pozos excavados y tubulares (OMS, 2004)

Conducción

Es el punto en donde el agua cruda es transportada hacia la planta de tratamiento o el tanque de almacenamiento; la conducción del agua cruda puede ser a gravedad, a presión o mixta esto depende de la topografía del terreno, calidad del agua, cantidad a transportar (Trapote, 2013)

Tratamiento

Conjunto de técnicas y procesos que ayudan a acondicionar el agua para su uso requerido, en el caso del agua para consumo humano existe un sin número de procesos diferentes los cuales tienen su nivel de complejidad que van de acuerdo con las características del agua captada (Chulluncuy, 2011)

Almacenamiento

Los sistemas de almacenamiento de agua potable se encargan de suministrar agua suficiente para satisfacer a la población, estos sistemas de almacenamiento deben tener los límites necesarios normados para presiones y tener caudales contra incendio de reserva en su sistema de almacenamiento (Lossio, 2012)

Distribución

La distribución del agua se realiza de tal manera que llegue al domicilio de los consumidores mediante una red de distribución, el agua entregada a los consumidores es apta para su consumo (Patiño, 2010)

1.4.2 Red de distribución

Una red de distribución de agua potable debe tener estructuras hidráulicas que conduzcan el agua a través de tuberías y accesorios desde el tanque de almacenamiento hasta la toma domiciliaria, hidrantes. Esta red debe proporcionar agua dentro de los límites permisibles establecidos por la norma INEN 1108, esta red debe garantizar la cantidad suficiente, calidad adecuada, permanencia y presiones adecuadas (CONAGUA, 2016)

Formas de distribución

La manera en cómo el agua es distribuida para los usuarios depende de las condiciones de la red.

A gravedad: para poder emplear la distribución del agua a gravedad, es necesario que las cotas del terreno en donde se encuentra el tanque de distribución estén lo suficientemente altas para que las presiones sean las requeridas y constantes a lo largo de la red (CONAGUA, 2016)

A Bombeo:

Bombeo directo a la red sin almacenamiento: el caudal máximo horario es el utilizado para diseñar las bombas que abastecen a la red; este sistema depende mucho del suministro eléctrico, por lo tanto, una falla de suministro eléctrico implicaría una interrupción al servicio del agua convirtiendo a este sistema en el menos deseable (CONAGUA, 2016)

Bombeo directo a la red con excedencias a tanques de regulación: cuenta con un tanque ubicado al lado opuesto de la entrada de agua a la bomba, su mecanismo básicamente consiste en que el exceso de agua bombeada a la red en periodos de bajo consumo es almacenado en el tanque y luego es distribuida en ciclos de alto consumo este excedente se envía a la red para completar la distribución por bombeo (CONAGUA, 2016)

Distribución Mixta: este sistema combina la red de bombeo directo con excedencia al tanque de regulación y de dicho tanque se abastece al resto de la red a gravedad (CONAGUA, 2016)

Componentes de una red

Tubería: una tubería es el conjunto de conductos de forma circular también llamados tubos, los cuales tienen sus uniones y ensamblamientos también llamados nodos o uniones (CONAGUA, 2016)

Piezas especiales: Son accesorios empleados para realizar cambios a la red, ya sean cambios de diámetros, cambios de direcciones, uniones de tuberías de materiales diferentes, ramificaciones, intersecciones (CONAGUA, 2016)

Válvulas: su principal función es disminuir, aumentar o evitar el flujo hacia las tuberías, generalmente se emplean válvulas para evitar el paso de flujo o separar el flujo, válvulas para regular el caudal y las presiones y válvulas para la salida de aire del sistema (CONAGUA, 2016)

Hidrantes: es una instalación hecha en puntos estratégicos de la red, los hidrantes pueden ser para el abastecimiento de familias o para ser conectados a mangueras o bombas para proveer de agua a los bomberos en caso de incendios (CONAGUA, 2016)

Tanques de Distribución: Este tanque está ubicado entre el tanque de captación y la red de distribución, su principal función es la de almacenar el agua de la fuente (CONAGUA, 2016)

Tomas Domiciliarias: son el conjunto de tuberías y accesorios que conectan la red de distribución con el domicilio del consumidor, esta conexión debe realizarse juntamente con la instalación de un medidor (CONAGUA, 2016)

Cajas Rompedoras de Presión: sirve para eliminar la presión hidrostática mediante depósitos de agua a superficie libre y volumen pequeño en donde el flujo de la tubería es descargado (CONAGUA, 2016)

Condiciones para el diseño de la red de distribución

Capacidad de la Red: para determinar la capacidad de la red es necesario conocer las estimaciones de caudales de consumo, los tipos de ocupación del suelo (áreas comerciales, residenciales, industriales, municipales) (EMAAP-Q, 2009)

Sectorización de la Red: con el fin de optimizar las redes de distribución, es necesario la división de la red en sectores; esto se lo realiza con la necesidad de no desabastecer a toda la red en caso de fallas; también, para facilitar distintas labores de mantenimiento, control de presiones, fugas y de agua no contabilizada (EMAAP-Q, 2009)

Zonas de Presión en la Red: las zonas de presión de la red son diferentes a la sectorización de la misma; por esto, la sectorización debe respetar las zonas de presión teniendo en cuenta que este establecimiento de dichas zonas es para obtener uniformidad en el gradiente de presiones. Las zonas de presiones deben ser las necesarias para que las presiones entren en la normativa de presiones máximas y mínimas (EMAAP-Q, 2009)

Trazado de la Red:

Red de Distribución Abierta: para el diseño de cualquier tipo de red se debe considerar la densidad poblacional actual y futura, topografía del terreno y ubicación de los diferentes tanques que componen la red. En el caso de la red abierta es aplicable en poblaciones dispersas en donde los tramos de tuberías resulten ser muy largos para cerrar la red (Álvarez, 2013)

Red de Distribución Cerrada: ideal para poblaciones con densidad poblacional alta, las tuberías pueden alimentarse por sus dos extremos indistintamente, en este tipo de trazado es necesaria la sectorización (Álvarez, 2013)

1.4.3 Aforo de Caudales

Un aforo de caudal sirve para saber la cantidad de líquido que ha pasado por una sección transversal determinada en un período de tiempo, el aforar permite medir caudales pequeños y grandes como el de los ríos (Sánchez, 2013)

Aforos Químicos

En este tipo de aforos se arroja una sustancia de concentración conocida al cauce y aguas abajo se toma una muestra y se la analiza; a mayor caudal, mayor dilución de la muestra (Sánchez, 2013)

Aforos Volumétricos

Es uno de los métodos más exactos, comúnmente utilizado para caudales pequeños. El método consiste en hacer pasar el agua por un depósito cuyo volumen es conocido y contar el tiempo en el que el depósito se llena (Alvarado, Gil, Nelson, & Espinoza, 2017)

Aforos Ultrasónicos

Son equipos comerciales los cuales emiten señales de sonidos de velocidad y frecuencia conocida, este tipo de equipos facilitan la medición en sitios de poca profundidad y/o a

velocidades bajas; miden la velocidad y volumen de caudal en una tubería determinada (ACUMAR, 2018)

1.4.4 Normativa

Con el fin de garantizar la calidad del diseño de las distintas redes de distribución de agua potable existen diferentes normativas que se basan en los rangos de diversos parámetros como presiones, velocidades, diámetros, distancias de las tuberías. En el caso del cantón Cayambe se utiliza la normativa de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS)

Presiones en Tuberías

La presión dinámica mínima en la red de distribución para ciudades es de 15 metros de columna de agua (mca), mientras que en parroquias rurales se permitirá una presión dinámica mínima de 10 mca (EMAAP-Q, 2009).

La presión estática máxima en la red de distribución será de 60 mca (EMAAP-Q, 2009).

Velocidades en Tuberías

Las tuberías matrices de la red de distribución deberán tener una velocidad máxima de 3 m/s (EMAAP-Q, 2009).

Las velocidades mínimas para tuberías de concreto, revestidas de concreto o de materiales plásticos es de 0.45 m/s (EMAAP-Q, 2009).

Diámetros en tuberías

Los diámetros mínimos en las tuberías de las redes menores deben ser de 75 mm, en las parroquias se puede aceptar un diámetro de 50 mm con justificación previa (EMAAP-Q, 2009).

Distancias de tuberías

Las distancias mínimas de las tuberías de la red de distribución son de: 1.5 m horizontales y 0.5 m verticales (EMAAP-Q, 2009).

Las tuberías de la red de distribución deben ubicarse a uno de los costados de la vía a 1 m del bordillo (EMAAP-Q, 2009).

La profundidad mínima existente en la red de distribución es de 1.2 m medidos desde la cota de la tubería hasta la cota del terreno (EMAAP-Q, 2009).

La profundidad máxima permisible en la red de distribución es de 1.5 m sobre la cota de la tubería (EMAAP-Q, 2009).

Hidrantes

Su instalación debe realizarse con tuberías de un diámetro mínimo de 75 mm, además debe incluir una válvula para aislarlo de la red (EMAAP-Q, 2009).

En las zonas residenciales en un radio de 200 m debe existir por lo menos un hidrante y en zonas industriales debe existir un hidrante en un radio no mayor a 100 m (EMAAP-Q, 2009).

En las zonas residenciales la presión mínima de los hidrantes debe ser de 10 mca y para las zonas comerciales la presión mínima no deberá ser inferior a 15 mca (EMAAP-Q, 2009).

1.4.5 Modelos numéricos de evaluación hidráulica

Los modelos numéricos de evaluación hidráulica resuelven y analizan el comportamiento de los fluidos mediante métodos y algoritmos numéricos, todo esto se efectúa a través de un ordenador aprovechando el desarrollo que estos equipos han tenido a lo largo de los años (Aragón, 2013).

2 METODOLOGÍA

2.1 Descripción del lugar

La red de distribución de agua potable "El Quingo" se encuentra en el cantón Cayambe provincia de Pichincha, los barrios que conforman esta red de distribución de agua potable son La Remonta, Nápoles y Portales de San Pedro de Ayora (EMAPAAC-EP, 2019)

2.1.1 Cantón Cayambe

Ubicada al norte de la provincia de Pichincha limitando al norte con la provincia de Imbabura, al sur con el cantón Quito, al este con las provincias de Sucumbíos y Napo y al oeste con el cantón Pedro Moncayo; Cayambe cuenta con 1350 km², se encuentra a 2830 msnm y es considerada ciudad Patrimonial (Ecuador, 2019)

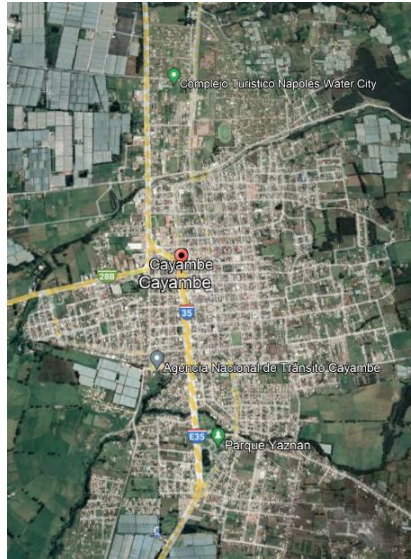


Figura 1: Ubicación geográfica del cantón Cayambe

El cantón Cayambe comenzó a abastecerse de agua mediante el tanque de reserva Álvarez – Chiriboga, también se repararon los tanques los Pinos y Cruz Loma, se mejoraron las redes de distribución de agua potable como también se reemplazaron los hidrantes. Por otro lado, se construyeron toda una red de distribución de agua potable en el “El Quingo” y al final de esta red de distribución una planta de tratamiento para el buen servicio de agua potable para los futuros habitantes del barrio La Remonta (Bonifaz, 2013).

2.2 Levantamiento de Información

2.2.1 Visitas técnicas

Se realizó un recorrido por la infraestructura de existente del tanque en donde se determinaron los equipos y materiales implementados para la distribución del agua, se constató la operación del sistema de distribución y las actividades de mantenimiento que realizan los operarios y trabajadores de la empresa pública encargada.

2.2.2 Análisis de la información disponible

Se solicitó la ayuda de la EMAPAAC-EP para conocer el estado del tanque, así como la facilitación existente de información de la red El Quingo. La EMAPAAC-EP otorgó el documento en donde se explica cómo se determinaron los diferentes parámetros de diseño para el tanque El Quingo, así como también el plano en donde se encuentra la topografía de la red El Quingo

Red El Quingo

Este tanque de reserva de agua potable tiene problemas en las presiones debido a que estas son muy bajas y en ocasiones negativas, esto debido a que en los primeros tramos de la red la cota está por encima de donde se encuentra el tanque, actualmente la red El Quingo no cuenta con válvulas reguladoras de presiones y con estructuras reguladores de presiones (EMAPAAC-EP, 2019).

2.2.3 Levantamiento de campo

El levantamiento de campo se basó en conocer la infraestructura existente del sistema de distribución, se realizó el levantamiento catastral de válvulas disponibles de la red “El Quingo” y se determinó el lugar ideal para instalar el equipo de ultrasonido considerando que, en el transcurso del tiempo que se encuentre instalado, no sufra ningún tipo de interferencia. Esta información es necesaria para realizar el análisis hidráulico del sistema.

Levantamiento de válvulas

Para comenzar con el levantamiento de las válvulas se solicitó a la EMAPAAC-EP la ayuda de uno de sus operarios de estas debido a que estas personas conocen su ubicación y están familiarizadas con la manera de operarlas.

Para iniciar el recorrido del levantamiento se utilizó el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) con este equipo se tomaron las coordenadas de las diferentes válvulas existentes en la red, la profundidad a la que se encuentran, tipo, diámetro y el estado de la válvula a la fecha de la realización del proyecto.

Registro de caudales de consumo

Se decidió instalar el equipo de ultrasonido a la salida del tanque de almacenamiento, este equipo trabaja con dos transductores los cuales deben hacer contacto con la tubería en la parte exterior de la misma, al instante en la pantalla del equipo se ve reflejada la velocidad y flujo de la tubería (Engineering, 2018).

Para instalar el equipo de ultrasonido es necesario configurar los datos previamente de acuerdo con las características de la tubería. Para esto se utilizó un diámetro interno de 200 mm y un espesor de tubería de 7.7 mm, con estos dos datos el equipo de ultrasonido calcula automáticamente el diámetro nominal de 184.6 mm y el espaciamiento entre los transductores de 192 mm, también se tomó como tipo de toma de datos para los

transductores método V, tipo de fluido agua, material PVC sin revestimiento de pintura y para el tiempo de toma de datos se tomó como:

Hora de inicio: 12:00:00

Número de horas de operación: 90:00:00

Intervalo de tiempo con el cual guarda datos: 00:15:00

Una vez instalado el equipo de ultrasonido en la tubería de salida del tanque de almacenamiento, se configuró al equipo para que tome datos cada 15 minutos durante los dos primeros días; pasados los dos días se lo configuró al equipo para que tome datos cada 5 minutos durante los días restantes

2.3 Evaluación hidráulica

2.3.1 Procesamiento de información

Una vez que se realizó el levantamiento de información necesaria, se comenzó con la revisión de la información para la base de la evaluación hidráulica, se revisó el documento entregado por la EMAPAAC-EP en donde se explicaba la manera en cómo se obtuvieron todos los diferentes parámetros para la construcción del tanque El Quingo y también se revisó el plano entregado por la EMAPAAC-EP en donde constan los datos topográficos de la red, así como también un mapa de las calles, tuberías existentes y nodos, finalmente se verificó los datos topográficos obtenidos por el GPS en el levantamiento de válvulas.

Trazado de la red

Al plano de la red de distribución de agua potable entregado por la EMAPAAC-EP se le realizaron modificaciones para poder realizar la evaluación hidráulica, las modificaciones que se realizó fueron:

Nodos: Con ayuda del software CIVIL 3D se creó una superficie en el plano entregado por la EMAPAAC-EP, seguidamente de esto se trazó las cotas con el comando "Puntos", "Crear puntos - superficie" y "Puntos Aleatorios", estas cotas fueron trazadas en todos los nodos existentes en el plano.

Tuberías: Para la evaluación hidráulica se adecuó el plano en el software CIVIL 3D, a todas las tuberías existentes en el plano se las cortó 10 cm en cada extremo de llegada a los nodos a excepción de las tuberías que salen del tanque de almacenamiento, seguidamente se las volvió a unir con una polilínea en cada uno de los extremos que se

les fue retirado los 10 cm iniciales. Esto se realizó con el fin de poder modificar los tramos de tubería que necesiten válvulas al momento de realizar la evaluación hidráulica en el EPANET.

Válvulas: Una vez realizado el levantamiento de válvulas, se ingresó las coordenadas de las válvulas al plano en el software CIVIL 3D.

Cálculo de caudales

Para la evaluación hidráulica fue necesario conocer el caudal que pasa por cada nodo, debido a esto se realizó el cálculo de caudales de cada nodo.

Método de longitudes equivalentes: Este método consiste en el cálculo del caudal específico mediante la división del caudal máximo horario y la longitud total de las tuberías. El caudal específico calculado se multiplica por la longitud de cada tramo de tubería para obtener el caudal de diseño para cada tramo de tubería (Salamanca, 2018).

$$\text{Caudal Específico} = \frac{\text{Caudal máximo horario}}{\text{Longitud Total}}$$

Ecuación 1: Cálculo caudal específico (Salamanca, 2018)

$$\text{Caudales de Diseño} = \text{Caudal Específico} \cdot \text{Longitud de tramo de tubería}$$

Ecuación 2: Cálculo caudales de diseño para cada tramo de tubería (Salamanca, 2018)

Cálculo del caudal específico: en una hoja de cálculo se enlistó los datos de las longitudes de cada tramo de tubería del plano facilitado por la EMAPPAC-EP y se sumó todas las longitudes extraídas para así obtener la longitud total de tubería y también se tomó el dato de caudal máximo horario dado por el documento facilitado por la EMAPPAC-EP; seguidamente, se realizó la división de estos dos valores dando como resultado el caudal específico.

Cálculo de caudales de diseño: de los datos de las longitudes de las tuberías enlistadas en la hoja de cálculo se realizó la multiplicación del dato obtenido de caudal específico por las longitudes de cada tramo de tubería y de esta manera se obtuvo los caudales de diseño para cada tramo de tubería.

Curva de consumo

Se tomaron las horas y los caudales obtenidos por el equipo de ultrasonido, y se los tabuló por día en una hoja de cálculo y se realizó una curva en donde el eje de las "x" fue para el caudal y el eje de las "y" para el tiempo. La curva de consumo que se realizó

sirvió para establecer un caudal base que sale del tanque “El Quingo” y para conocer los picos de consumo.

2.3.2 Análisis hidráulico

Se realizó el trazado de la red con los nodos, tuberías y válvulas en el plano DWG, se guardó el plano en formato DXF y se exportó al EPACAD en donde al plano se cambió a formato INP para que este sea compatible con el EPANET.

Una vez que se exportó el plano al EPANET con todos los elementos de la red de distribución, se colocaron las cotas y caudales en cada nodo, las cotas de las válvulas existentes en la red, los diámetros que se tomó para las tuberías de la red de distribución fueron los entregados por la EMAPPAC-EP, se utilizó la ecuación de Darcy-Weisbach la cual tiene valores recomendados de rugosidad absoluta dependiendo del tipo de material de la tubería

Tabla 1: Coeficientes de Rugosidad Absoluta (EMAAP-Q, 2009)

Clase de tubería y revestimiento interno	Coeficiente de rugosidad Absoluta (mm)	
	Factibilidad	Diseño
PVC	0,12	0,06
Polietileno de alta densidad	0,12	0,06
GRF (Fibra de vidrio)	0,12	0,06
Acero con revestimiento interno de coal-tar, enamel o epoxi	0,12	0,06
CCP (Concrete cylinder pipe)	0,24	0,12
Hierro dúctil y acero con revestimiento interno en mortero de cemento	0,24	0,12

Elaboración: EMAAP-Q

Se evaluó la red de distribución “El Quingo” mediante varios modelos hidráulicos, el primer modelo fue dinámico, seguido del modelo con válvulas cerradas, un modelo estático, a este modelo estático se le añadió válvulas reguladoras de caudal y también se lo evaluó de manera dinámica.

2.4 Propuesta de mejoras

Con base en lo realizado se analizó los resultados obtenidos en la evaluación hidráulica y se proponen mejoras para optimizar a la red de distribución “El Quingo”.

3 RESULTADOS

En la red de distribución “El Quingo” ubicada en el cantón Cayambe se realizó un análisis a lo largo de toda la red esto con el fin de realizar una evaluación hidráulica de la red y conocer su estado

3.1 Levantamiento de información

Se tuvo una reunión con las autoridades de la (EMAPAAC-EP) en donde se discutió sobre el alcance del proyecto y se definieron los objetivos que fueron planteados en este documento. La EMAPAAC-EP facilitó documentación referente al tanque de estudio y de la red de distribución de agua potable, dicha información estaba compuesta por el plan maestro en donde se encuentran todos los tanques existentes en el cantón Cayambe y sus respectivos caudales y por los planos de la red de distribución de agua potable y su topografía

3.1.1 Visitas técnicas

La red de distribución el Quingo cuenta con un tanque de almacenamiento el cual abastece de agua potable a los barrios La Remonta, Portales de San Pedro de Ayora y Nápoles pertenecientes al cantón Cayambe, este tanque de almacenamiento está a cargo de la EMAPAAC-EP.

3.1.2 Análisis de la información disponible

La EMAPAAC-EP facilitó la información existente de la red de distribución “El Quingo”, en la información entregada se encuentran los documentos “Base El Quingo” en donde se especifican los parámetros de diseño utilizados para la construcción del tanque de almacenamiento, “Topografía Quingo” aquí se muestran las curvas de nivel las cuales tienen una equidistancia de 1 metro y sus respectivas elevaciones y “El Quingo” en este documento se encuentra el mapa con sus nodos y tuberías de los 3 barrios a los cuales se los abastece de agua.

Población de diseño

En el caso de la población de diseño se utilizó la información de los censos realizados en los años 1990, 2001 y 2010 para determinar la población futura de todo el cantón Cayambe, la proyección poblacional futura con progresión aritmética arrojó una razón de crecimiento de 2.12% hasta el año 2050 que es la finalización del período de diseño con un total de 60168 habitantes.

La jurisdicción de la EMAPAAC-EP se divide en 4 sectores de distribución de agua potable, red de distribución Álvarez Chiriboga, Cruz Loma, Los Pinos y El Quingo siendo esta última la red de distribución más pequeña con una población futura de 3365 habitantes.

Dotación

La EMAPAAC-EP posee datos históricos del consumo de agua del cantón Cayambe desde el año 2007 al 2017 y la proyección de población futura realizada en con la información de los censos, en base a esto se estimó la dotación de litros de agua por persona y por día que es de 181.6 L/hab*día, sin proyección, con una proyección al 2050 que es el período de diseño se estima una dotación de 200 L/hab*día.

Tabla 2: Parámetros de diseño del tanque El Quingo (EMAPAAC-EP, 2019)

Población	Dotación	Qdotación	Qmedio	Qmáximo horario	Qmáximo diario
(hab)	(L/hab*día)	(L/s)	(L/s)	(L/s)	(L/s)
3365	200	7.79	7.79	17.46	10.91

Elaboración: EMAPAAC-EP

Tabla 3: Volúmenes del tanque El Quingo (EMAPAAC-EP, 2019)

Vútil	Valm	Vemerg	Vreserv	Vincd
(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)
150.81	202	50	344	92

Elaboración: EMAPAAC-EP

3.1.3 Levantamiento de campo

Levantamiento de válvulas

El levantamiento catastral de válvulas se realizó con ayuda de la EMAPAAC-EP debido a que solo se pudo catastrar las válvulas que la EMAPAAC-EP tenía localizadas, las válvulas localizadas fueron 12.

Tabla 4: Datos obtenidos en el levantamiento de válvulas

N.º Válvula	Ubicación en Coordenadas UTM	Estado de Válvula	Profundidad (m)	Diámetro (mm)	Observaciones
1	819824.767E 5940.812N	Válvula de Salida	2.2	160	Abierta siempre
2	819597.733E 5722.959N	Válvula de Salida	0.9	160	Abierta siempre
3	819224.558E 5681.013N	Válvula de Salida	1.05	110	Abierta siempre
4	819217.947E 5666.208N	Válvula de Salida	1.15	110	Abierta siempre
5	819033.337E 5726.087N	Válvula de Salida	1	110	Sin caja de válvula/ abierta siempre
6	818642.98E 5714.678N	Válvula de Salida	1	110	Cerrada siempre
7	818631.063E 5730.187N	Válvula de Salida	0.8	110	Abierta siempre
8	818447.031E 6195.916N	Válvula de Salida	1	63	Abierta siempre
9	818441.391E 6199.144N	Válvula de Salida	1	63	Abierta siempre
10	818330.483E 6946.128N	Válvula de Desagüe	1	90	Cerrada siempre
11	818107.433E 6353.705N	Válvula de Desagüe	1	63	Cerrada siempre
12	818126.342E	Válvula de	1	63	Cerrada

	5384.684N	Desagüe			siempre
--	-----------	---------	--	--	---------

Al no poder determinar la ubicación y catastrar el total de las válvulas de la red de distribución, dificulta un análisis hidráulico detallado de la operación de las válvulas



Figura 2: Verificando el estado de la caja de válvula

Registro de caudales de consumo

La medición de caudales por ultrasonido se realizó en la tubería de salida del tanque de almacenamiento “El Quingo”, inicialmente el caudal marcado por el equipo de ultrasonido fluctuaba entre los 9.4726 L/s - 9.6336 L/s, el caudal máximo horario previsto por la EMAPAAC-EP es de 17.46 L/s. El caudal marcado por el equipo de ultrasonido y el caudal teórico que la EMAPAAC-EP tiene no coinciden, esto puede deberse a fugas o conexiones ilegales en la distribución.



Figura 3: Caudal y velocidad medidos por el medidor ultrasónico

Curva de consumo

El equipo de ultrasonido fue instalado a la salida del tanque de almacenamiento y tomó los datos de caudal durante 9 días, en el día 1 el equipo fue configurado para la toma de datos cada 5 minutos y se realizó de las 19:10 a las 23:55 horas.

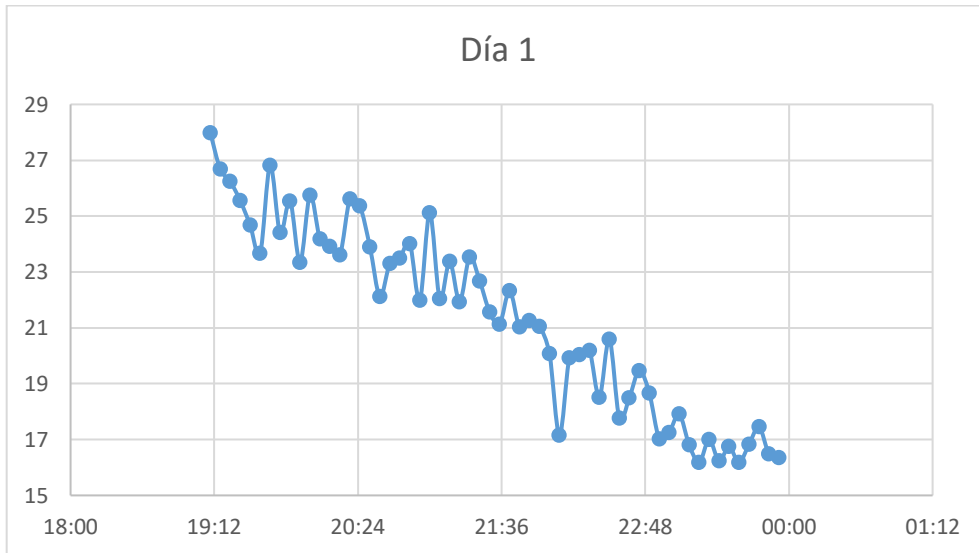


Figura 4: Curva de consumo día 1

En las pocas horas que el equipo de ultrasonido estuvo tomando los datos de caudal, en el día 1 se aprecia un comportamiento inusual debido a que el caudal de consumo del tanque a las horas indicadas no corresponde a un consumo doméstico.

Durante el día 2 el equipo de ultrasonido tomó los datos de caudal cada 5 minutos desde las 00:00 hasta las 18:15 horas

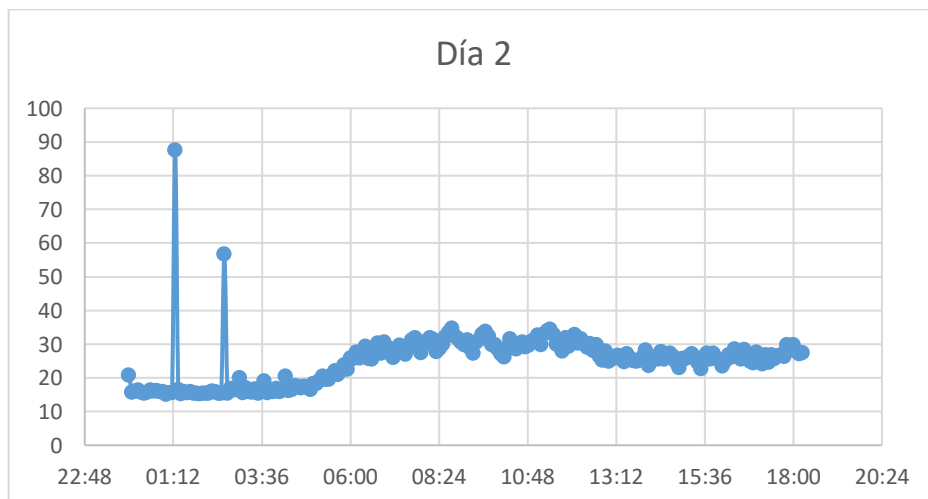


Figura 5: Curva de consumo día 2

En este día se tiene un horario de toma de datos de caudal más extendido en donde ya se puede visualizar de mejor manera el comportamiento inusual de la curva de consumo, esto debido a que existen caudales de consumo de hasta 90 L/s aproximadamente y esto a horas de la madrugada fuera de las horas pico de consumo doméstico.

En el día 3 el equipo de ultrasonido tomó datos de caudal cada 15 minutos desde las 15:30 hasta las 23:45 horas

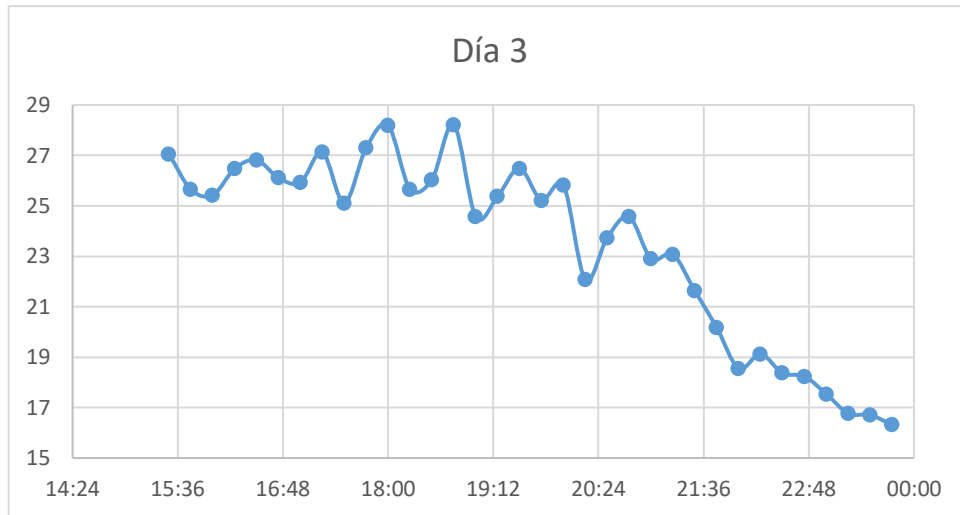


Figura 6: Curva de consumo día 3

La curva de consumo del día 3 no varía demasiado en comparación de los días anteriores, teniendo caudales de consumo demasiado altos para considerarlos domésticos.

En los días 4 y 5 el equipo de ultrasonido tomó datos de caudal cada 15 minutos desde las 00:00 hasta las 23:45 horas

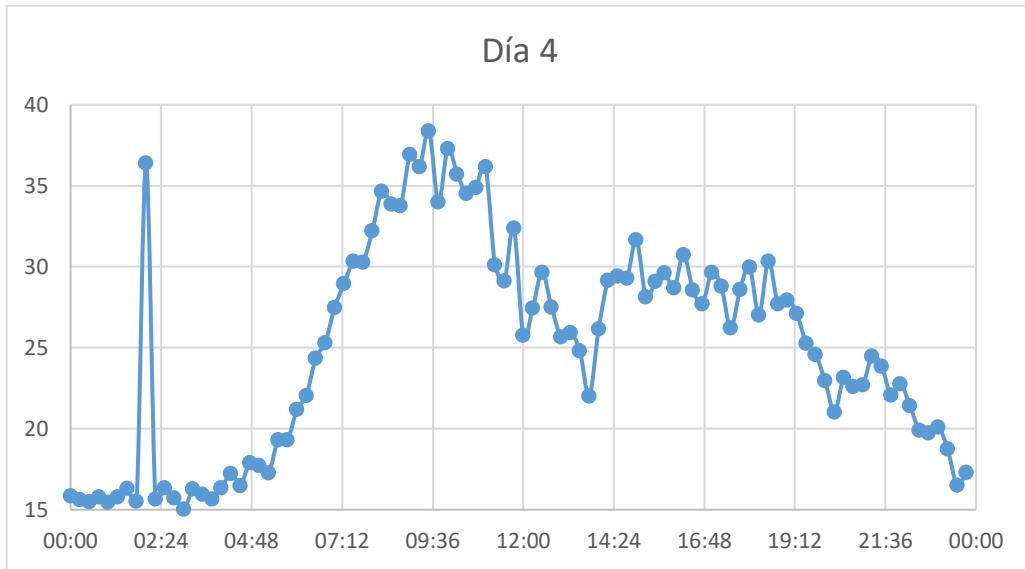


Figura 7: Curva de consumo día 4

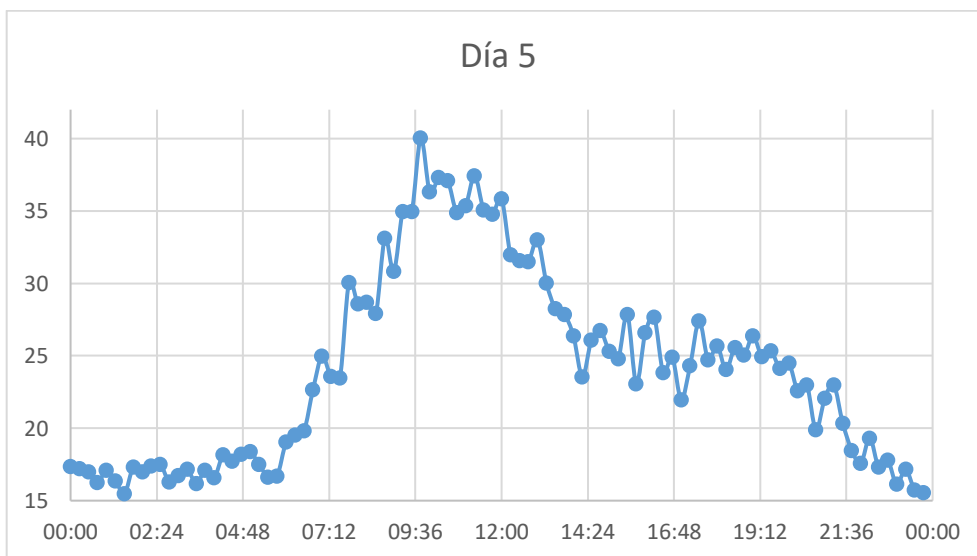


Figura 8: Curva de consumo día 5

Comparando las curvas de consumo de los días 4 y 5 se puede inferir que existe un caudal base, sin embargo, este caudal base no puede ser considerado doméstico a pesar de que el tanque y la red de distribución “El Quingo” fue pensada para este uso, este caudal base no doméstico aproximadamente es de 15 L/s en las horas que no son picos de consumo, mientras que en las horas pico de consumo el caudal puede elevarse hasta los 40 L/s aproximadamente.

En el día 6 el equipo de ultrasonido tomó datos de caudal cada 15 minutos desde las 00:00 hasta las 12:45 horas y luego desde las 18:15 hasta las 23:45 horas

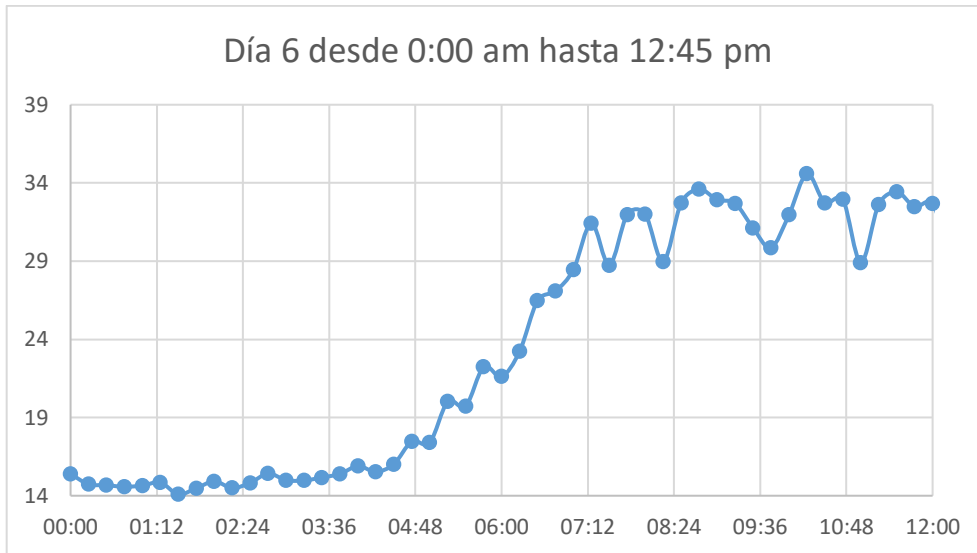


Figura 9: Curva de consumo día 6 desde 00:00 hasta las 12:45 horas

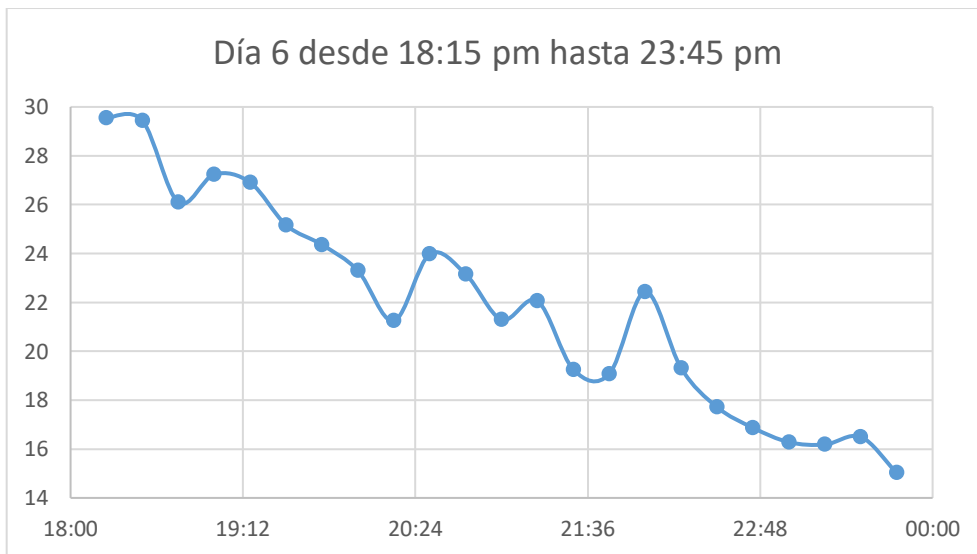


Figura 10: Curva de consumo día 6 desde 18:15 hasta las 23:45 horas

En este día existe un lapso de aproximadamente 5 horas en las cuales el equipo de ultrasonido no tomó los caudales, esto debido a que el equipo sufrió una descarga de batería.

En los días 7 y 8 el equipo de ultrasonido tomó datos de caudal cada 15 minutos desde las 00:00 hasta las 23:45 horas

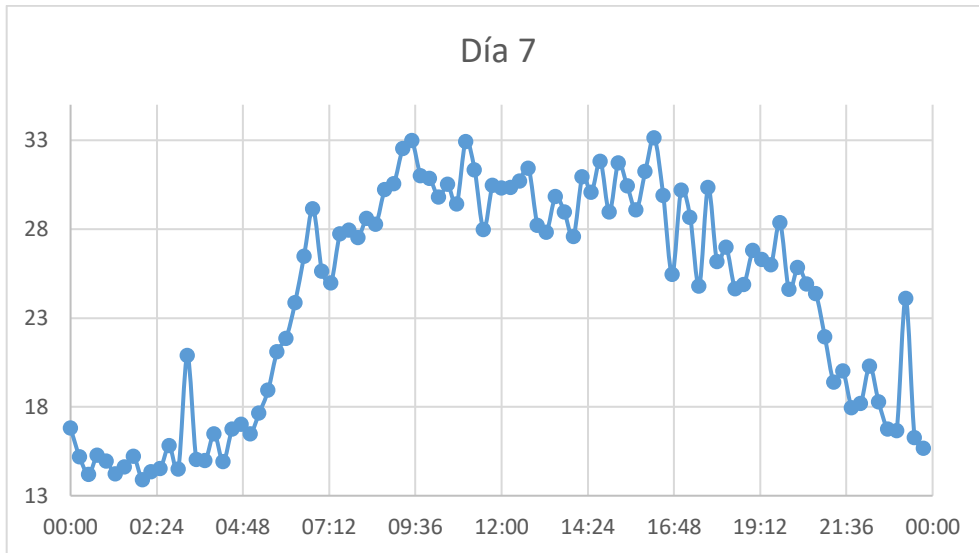


Figura 11: Curva de consumo día 7

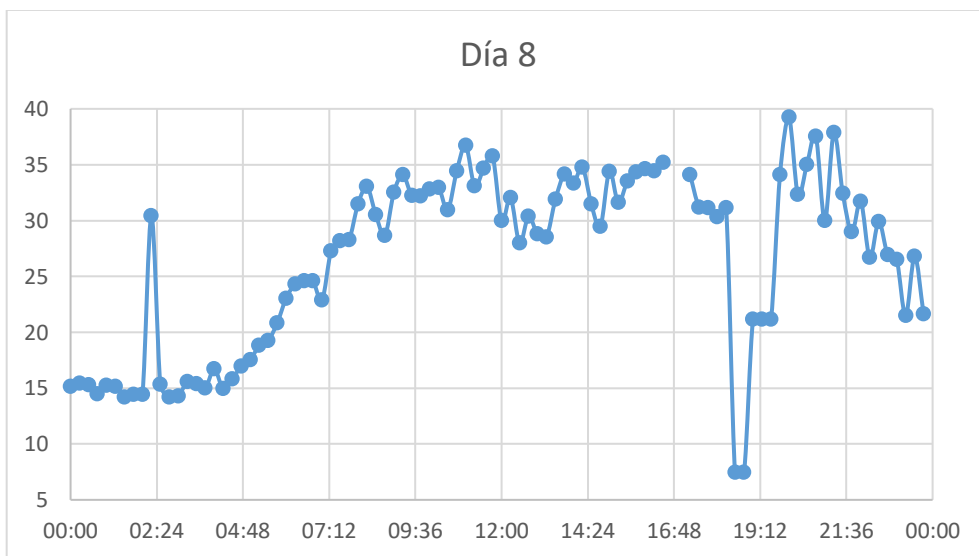


Figura 12: Curva de consumo día 8

Finalmente, en el día 9 el equipo de ultrasonido tomó datos de caudal cada 15 minutos desde las 00:00 hasta las 15:15 horas

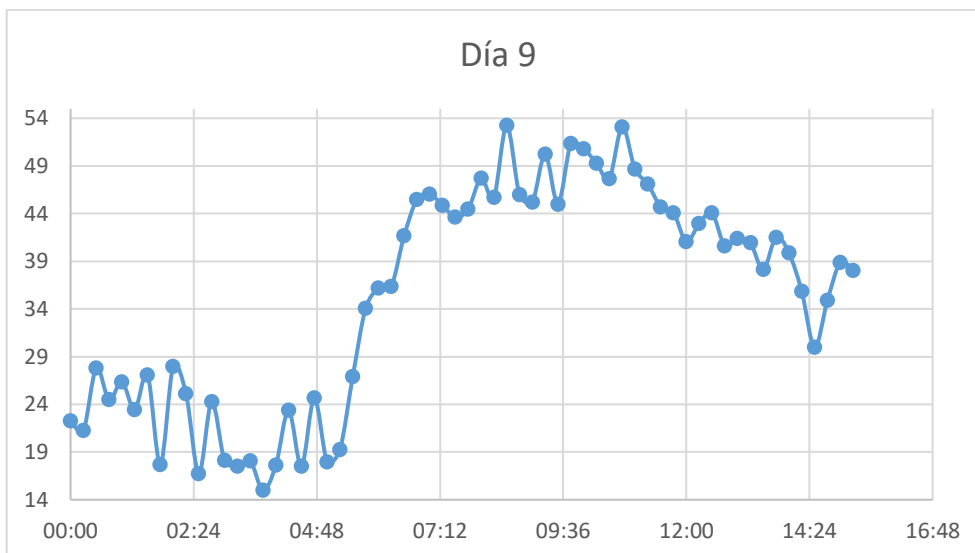


Figura 13: Curva de consumo día 9

A lo largo de los 9 días de la toma de datos de consumo de caudal se aprecia en las diferentes curvas de consumo que no existe variaciones significativas entre cada curva teniendo valores similares entre ellas e incluso pudiéndose considerar un consumo constante. Pero, los valores de caudales tomados por el equipo de ultrasonido son demasiado altos como para pertenecer a un tanque y a una red de distribución que fue pensada para consumo doméstico como lo es el tanque y la red de distribución “El Quingo”, el consumo de una red doméstica nunca es constante.

Como fue comentado anteriormente, comparando todas las curvas de consumo se puede establecer un caudal base que aproximadamente es de 15 L/s siendo este un caudal de consumo no doméstico, teniendo en cuenta que para una curva de consumo doméstico un caudal base normal no es mayor de 1 L/s. También, se debe tener en cuenta que en horas de la madrugada en donde se espera que la población se encuentre dormida y se tenga un consumo de caudal mínimo, el consumo de caudal en la red “El Quingo” sigue siendo bastante elevado para considerarse un consumo doméstico.

La existencia de un caudal base no doméstico de consumo constante en la red de distribución “El Quingo” puede deberse a varias causas entre ellas fugas, conexiones para riego o consumo del agua por parte de las industrias, esto debido a que los caudales de consumo para riego y caudales de consumo industriales si son constantes.

Tabla 5: Resumen de datos de caudales obtenidos con el equipo de ultrasonido

Hora	Caudal Máximo (L/s)	Caudal Mínimo (L/s)	Promedio de caudales (L/s)
4:05 – 12:00	53.2543 (08:30)	14.9194 (04:15)	28.9834
12:05 – 20:00	44.0723 (12:30)	7.4301 (18:30)	27.45886
20:05 – 4:00	87.595 (1:15)	13.89991 (2:00)	19.19317

El tanque de almacenamiento “El Quingo” tiene caudales de salida muy variables a lo largo de las horas, en la tabla 5 se puede visualizar que no importa la hora para que la salida de caudal del tanque de almacenamiento “El Quingo” sean mayor o menor. Una salida de 87.595 L/s del tanque de almacenamiento a horas de la madrugada indica un consumo de agua no doméstico, esto por la hora a la que sale el agua y por la cantidad.

3.2 Evaluación hidráulica

3.2.1 Procesamiento de información

Una vez obtenida toda la información necesaria de la red de distribución “El Quingo” se la comenzó a adecuar y a los datos existentes se los utilizó para calcular datos necesarios para poder realizar la evaluación hidráulica

Trazado de la red

Nodos: para poder realizar la evaluación hidráulica se establecieron 1017 nodos a lo largo de la red de distribución “El Quingo”, a cada uno de estos nodos se les suministro un caudal de diseño, este caudal de diseño fue puesto de manera manual en el software de modelación hidráulica EPANET.

Tuberías: las tuberías existentes en la red de distribución “El Quingo” fueron tabuladas dando un total de 356 y al ser sumadas todas las longitudes dio un valor de la 20.2 km de tubería y se puso los diámetros en cada tubería de manera manual en el software de modelación hidráulica.

Válvulas: Las válvulas tomadas en cuenta para la evaluación hidráulica de la red de distribución “El Quingo” fueron las válvulas número 3, 4, 5, 6, 7 y 11. Las válvulas 1 y 2 no fueron consideradas debido a que se encuentran en las tuberías de conducción a la llegada de la red de distribución, las válvulas 8 y 9 si bien se encuentran dentro de la red de distribución “El Quingo” no fueron consideradas porque sus coordenadas varían por muy poco y solo se encuentra un nodo cercano a ambas válvulas, las válvulas 10 y 12 al

encontrarse fuera de la red de distribución tampoco fueron incluidas en la evaluación hidráulica

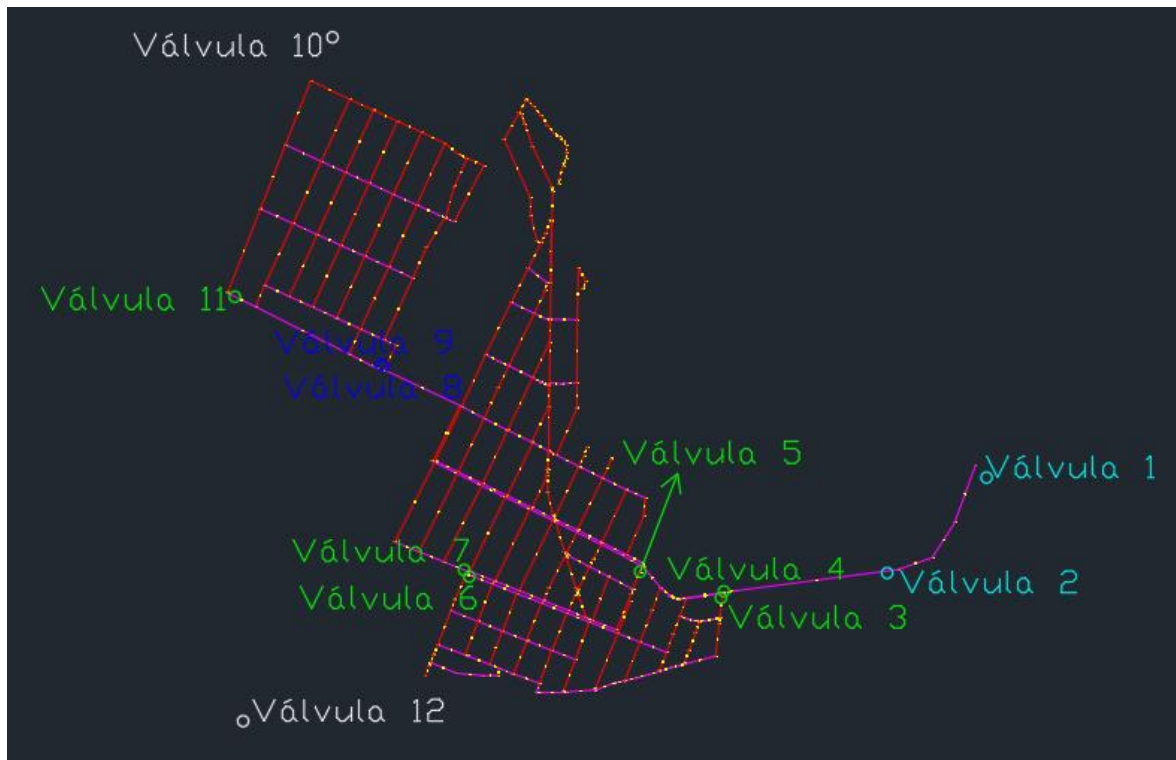


Figura 14: Plano de la red de Distribución “El Quingo” en donde se muestra la ubicación de las válvulas

Cálculo de caudales

Cálculo del caudal específico: Se enlistaron todas las tuberías con sus respectivas longitudes en una hoja de cálculo dando un total de 356 tuberías existentes en la red de distribución “El Quingo”, sumadas todas las longitudes dio un valor de la longitud total de 20236.29 metros de tubería y también se utilizó el caudal máximo horario de 17.46 L/s. Este dato de caudal fue tomado de la información entregada por la EMAPAAC-EP, quedando así:

$$\text{Caudal Específico} = 0.000863 \text{ (L/s)}$$

Cálculo de caudales de diseño: seguidamente de haber calculado el caudal específico se lo multiplica por cada longitud de tramo de tubería, y los valores obtenidos son los caudales de diseño para cada tramo de tubería, si a estos caudales de diseño se los suma y el sumatorio total da el mismo valor que del caudal máximo horario, es decir da un valor de 17.46 L/s se constata el procedimiento realizado (ver anexo 2).

3.2.2 Análisis hidráulico

El análisis hidráulico de la red de distribución “El Quingo” se basó en determinar si la red de distribución cumple normativa en tres aspectos: presiones, velocidades y caudales

Presiones

Presión dinámica mínima: Al comenzar con el análisis hidráulico de la red de distribución “El Quingo” se corrió el programa con el modelo con todas las válvulas abiertas.

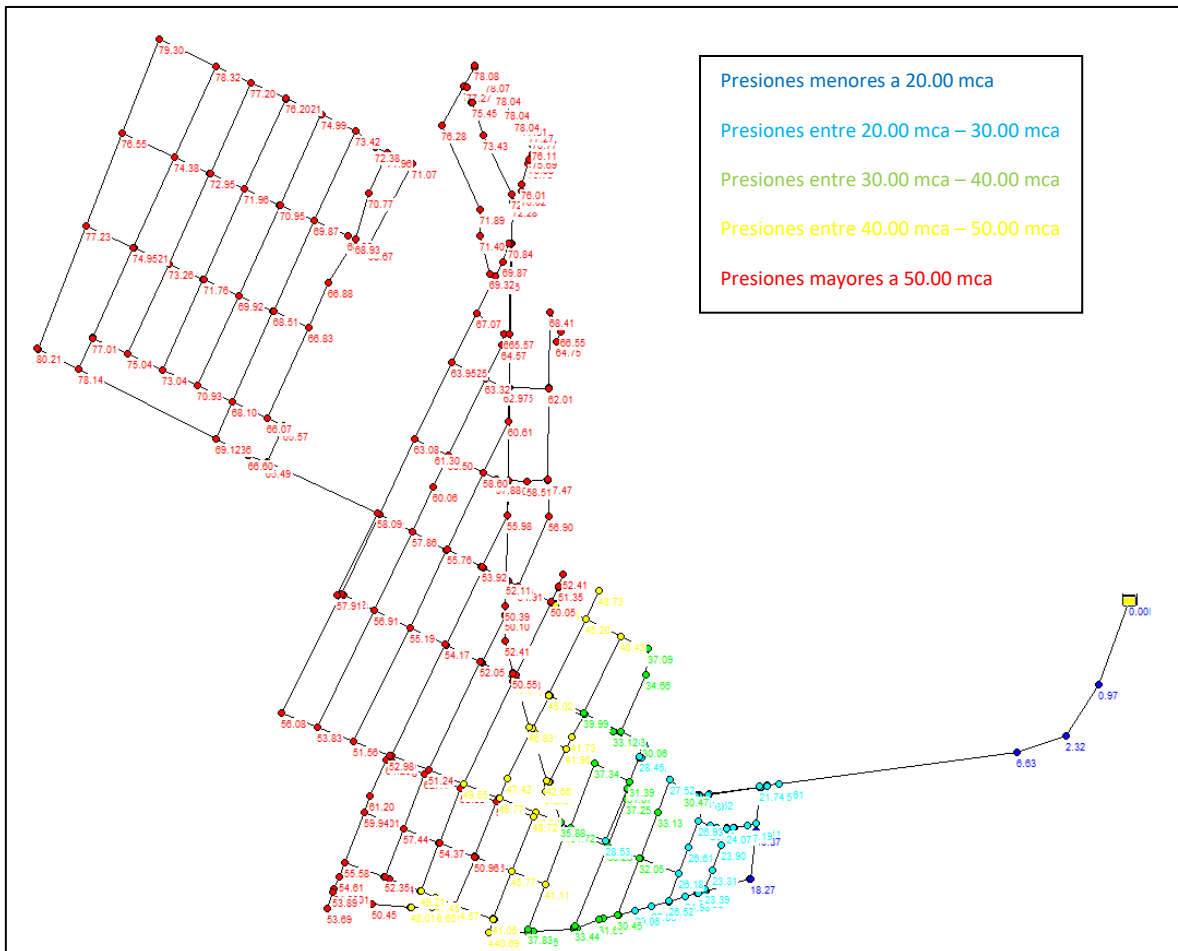


Figura 15: Modelo de análisis hidráulico sin válvulas para las presiones dinámicas mínimas

Como se observa en la figura 15, la red de distribución “El Quingo” cumple con la normativa de presiones dinámicas mínimas teniendo presiones en la red de distribución menores a 15 mca, a excepción de las tuberías que transportan el agua desde el tanque de almacenamiento hasta la red de distribución

Para poder analizar de mejor manera la red de distribución “El Quingo” se comenzó a variar el modelo para analizar su comportamiento. Se inició cerrando todas las válvulas existentes en la red de distribución.

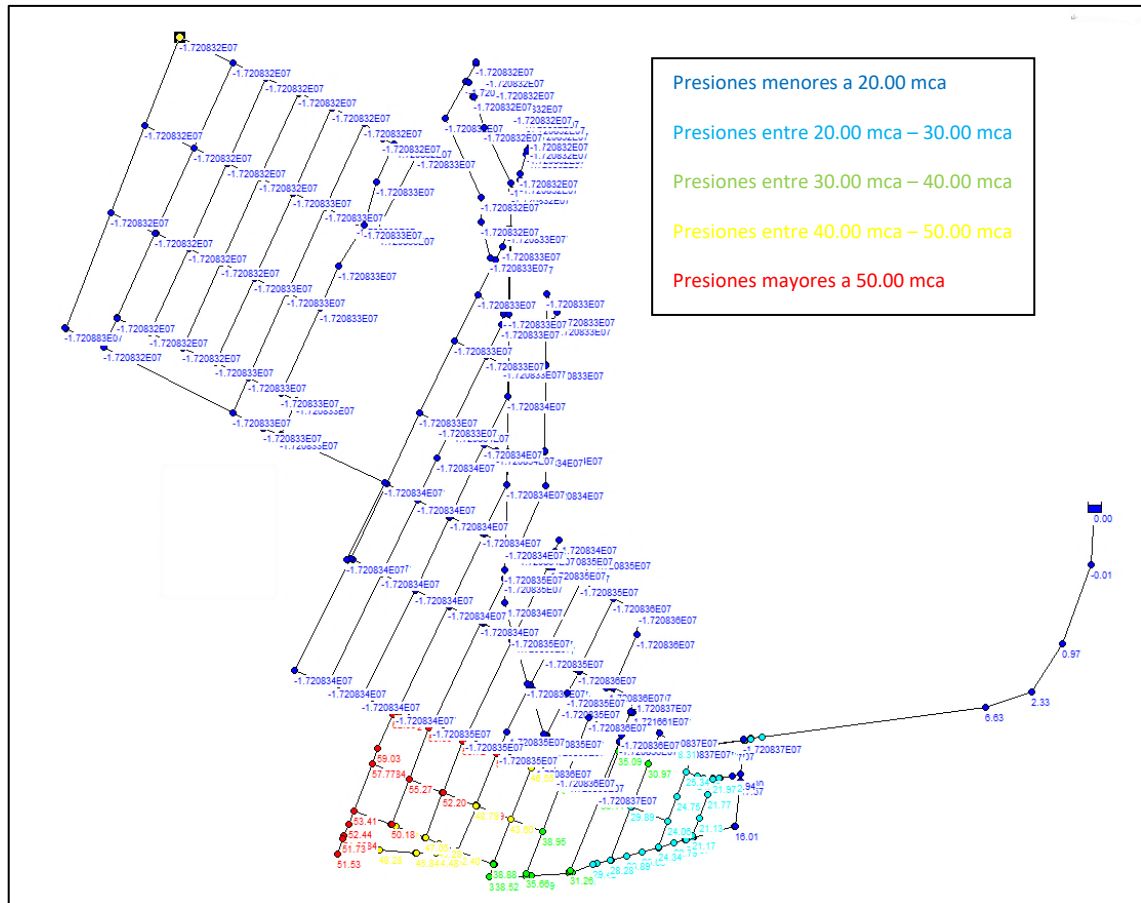


Figura 16: Modelo de análisis hidráulico con todas las válvulas cerradas para las presiones dinámicas mínimas

Al cerrar todas las válvulas de la red de distribución se observa en la figura 16 un cambio significativo a comparación de la figura 15, las primeras diferencias que se observan son las presiones negativas en el modelo de análisis hidráulico con todas las válvulas cerradas y como consecuencia en este modelo de análisis hidráulico no se cumple la normativa de presiones dinámicas mínimas. Tener presiones negativas en una red de distribución de agua potable puede provocar roturas y deformaciones en las tuberías, desplazamiento de las juntas, contaminación del agua tratada por el ingreso de sustancias contaminantes a través de las roturas de las tuberías. El cierre de las válvulas ocasiona cierre de flujo en varios sectores de la red, sin embargo, no es posible analizar la sectorización que generan estas válvulas ya que no se pudo catastrar el total de estas.

Para conocer las funciones que realizan las diferentes válvulas de la red de distribución “El Quingo” se empezó a variar el modelo cerrando y abriendo cada una de las válvulas, realizando este proceso se encontró que la válvula número 4 (ver figura 14) es la única que al cerrarla realiza cambios significativos en la red.

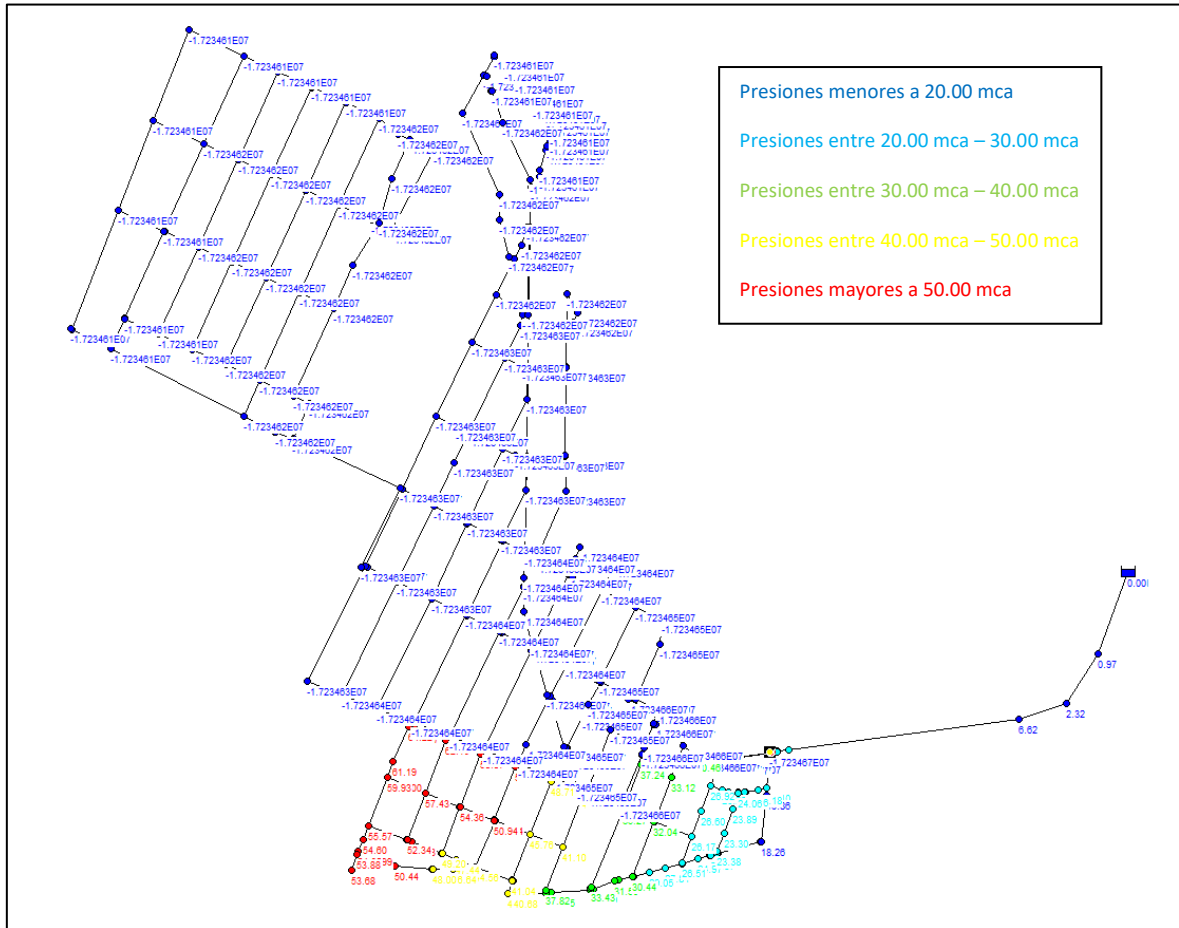


Figura 17: Modelo de análisis hidráulico con la válvula número 4 cerrada

Con base en los resultados obtenidos, se puede establecer que la válvula número 4 es una de las más importantes debido a que al ser cerrada modifica significativamente la mayoría de las presiones existentes en la red. Al cerrar las válvulas restantes para observar las modificaciones que realizan a la red de distribución “El Quingo” se observó que a excepción de la válvula número 4, ninguna de las demás válvulas modifica en gran medida a la red de distribución, la única variante que realizan dichas válvulas es cambiar las presiones del nodo en el que están ubicadas.

Presión estática máxima: para poder realizar el análisis para las presiones estáticas máximas, se tuvo que modificar el modelo de análisis hidráulico para un consumo nulo, también se realizó el análisis para este parámetro con todas las válvulas abiertas, una

vez realizadas todas las modificaciones al modelo de análisis hidráulico se tuvo los siguientes resultados:

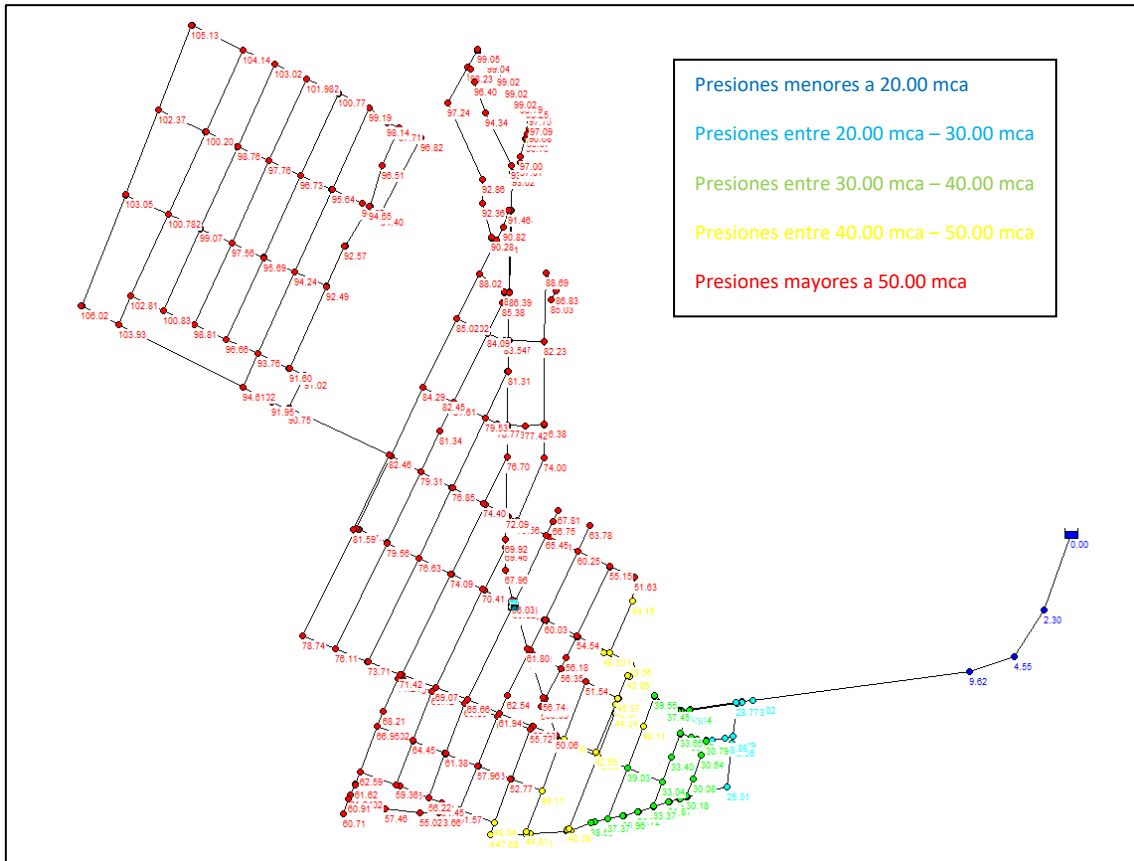


Figura 18: Modelo de análisis hidráulico para las presiones estáticas máximas

Como se observa en la figura 18 la red de distribución “El Quingo” tiene un grave problema de exceso de presiones, esto debido a que la mayoría de la red se encuentra fuera de los límites permisibles para presiones estáticas máximas los números rojos indican un valor a 60 mca. Un exceso de presiones en una red de distribución implica posibles daños a la infraestructura de la red, pueden ser daños a las tuberías, las distintas válvulas y accesorios existentes.

Para disminuir las presiones estáticas de la red de distribución “El Quingo” se agregó válvulas reguladoras de caudal fueron ubicadas en las partes de la red de distribución en donde las presiones estáticas se encontraban fuera de normativa, luego de haber colocado las válvulas en el software de modelación hidráulica se procedió a correr el

programa y se verificó que todas las presiones estáticas estén en normativa quedando de la manera indicada en la figura 19.

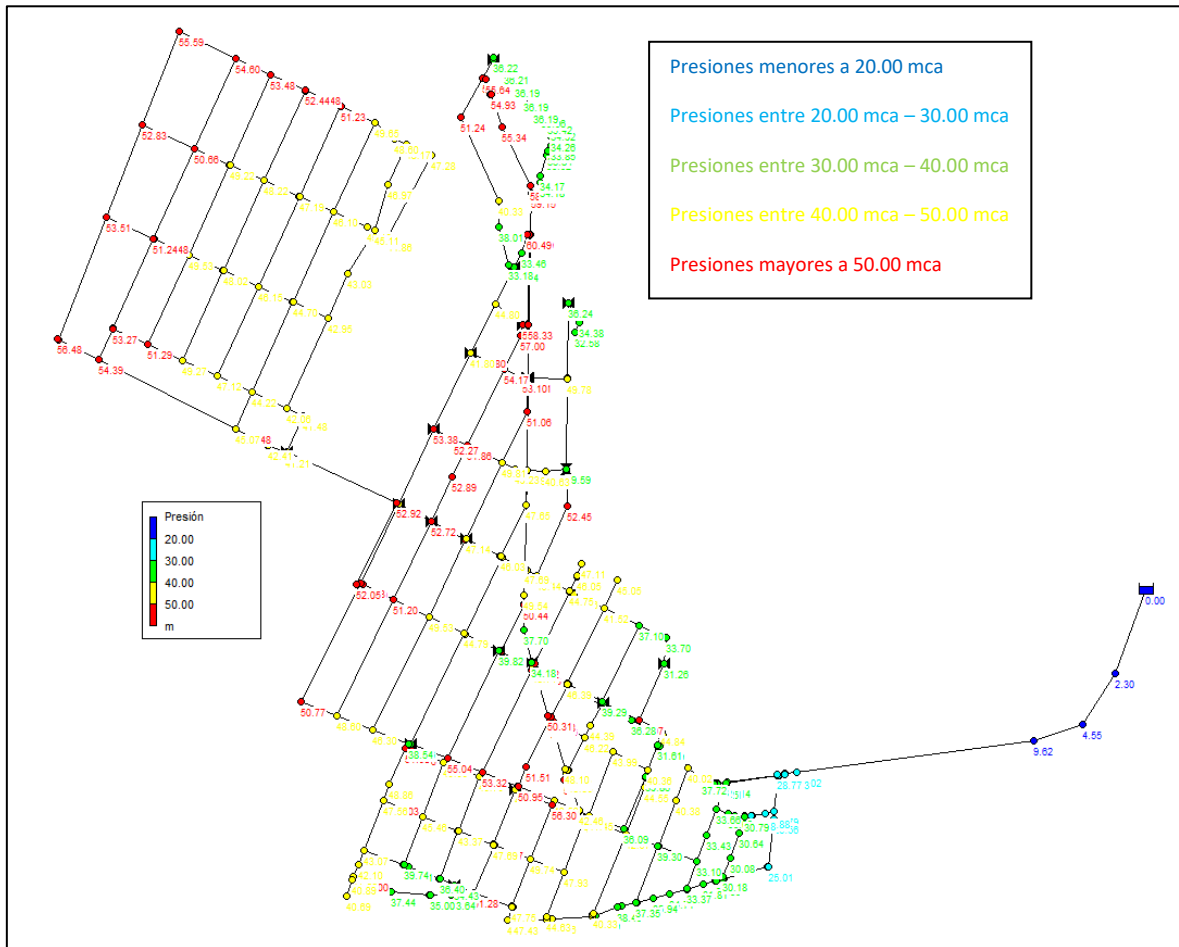


Figura 19: Modelo de análisis hidráulico para las presiones estáticas máximas con válvulas reguladoras de caudal

Como se realizó modificaciones a en la red de distribución se debe evaluar nuevamente las presiones dinámicas mínimas para corroborar los límites permisibles, si bien estas presiones aumentaron siguen estando en normativa como se observa en la figura 20.

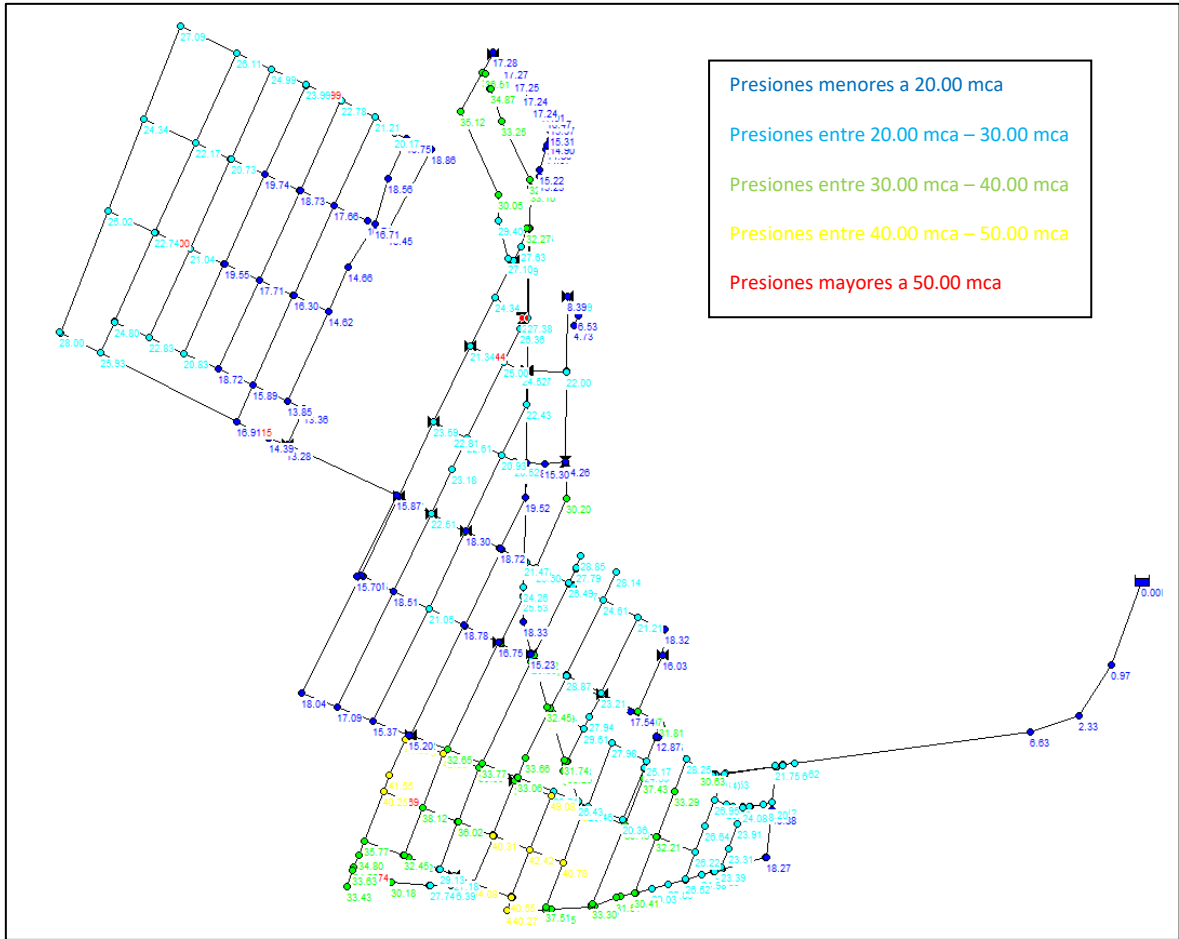


Figura 20: Modelo de análisis hidráulico para las presiones dinámicas mínimas con válvulas reguladoras de caudal

Velocidades

Para el análisis de velocidades se encontró que el estado de las válvulas ya sean abiertas o cerradas no influyen en los resultados.

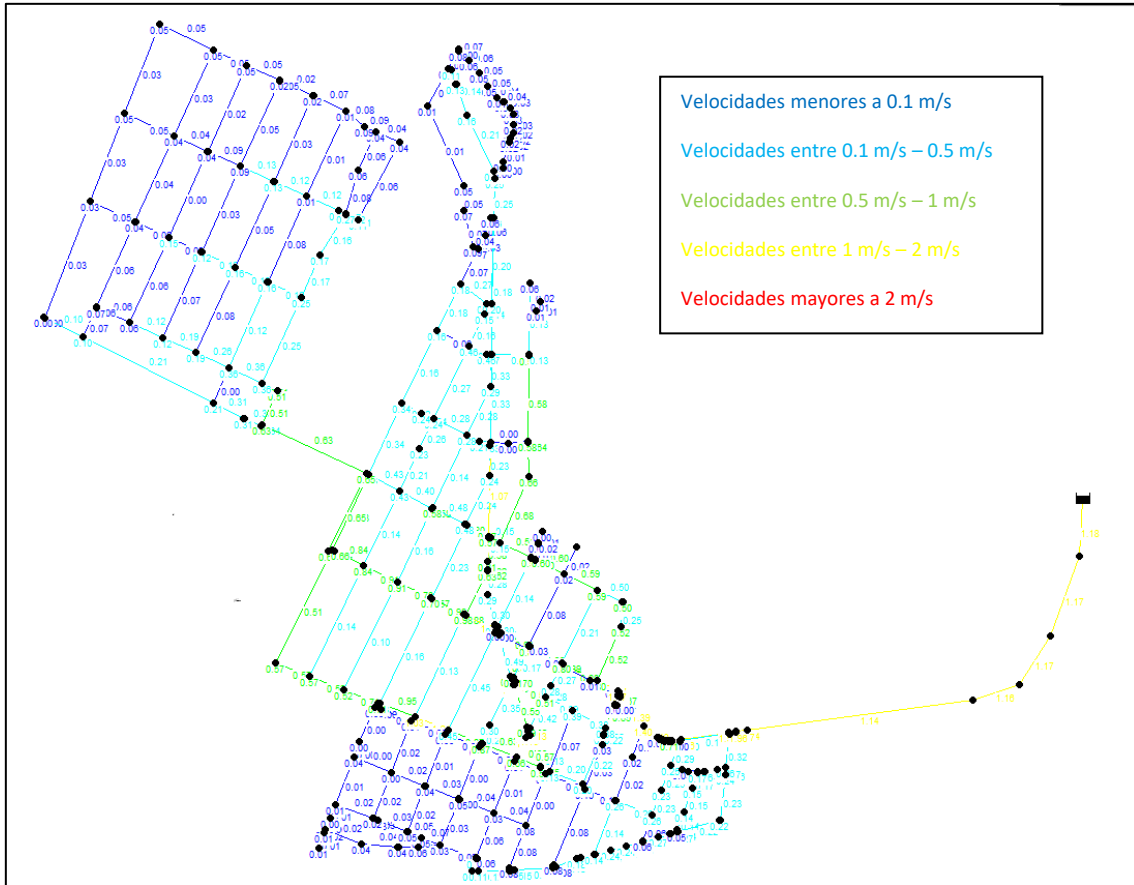


Figura 21: Modelo de análisis hidráulico de velocidades

La figura 21 indica que la mayoría de las velocidades de la red de distribución “El Quingo” no se encuentran en el límite permisible que es de 0.45 m/s, las bajas velocidades en una red de distribución trae problemas de sedimentación lo que puede ocasionar daños en las tuberías como: incrustaciones, aumento de la rugosidad y una disminución de su diámetro.

Caudales

Como en el caso del análisis de las velocidades, se encontró que el estado de las válvulas ya sean abiertas o cerradas tampoco influyen en los resultados de los caudales.

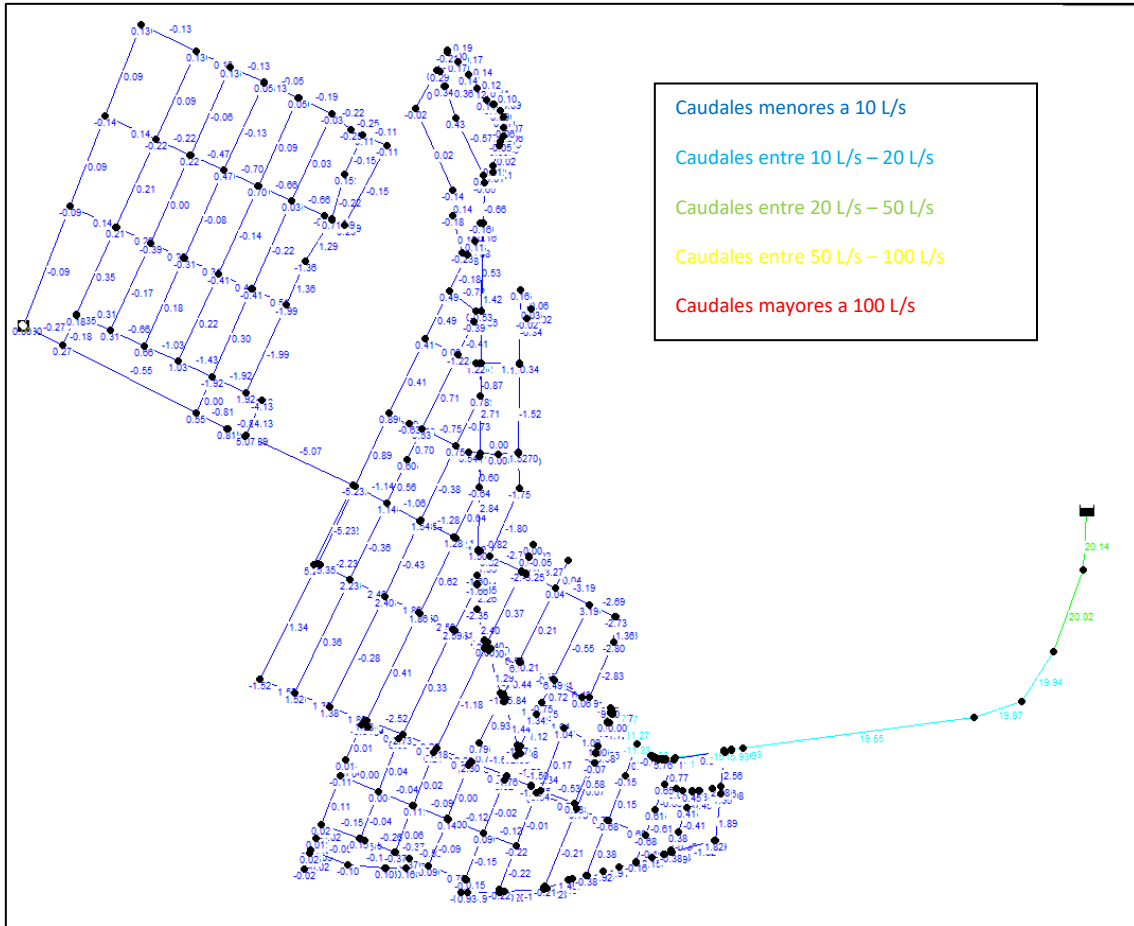


Figura 22: Modelo de análisis hidráulico de caudales

El caudal de salida del tanque de almacenamiento “El Quingo” marcado por el software de análisis hidráulico es de 20.14 L/s, este valor resultante no va acorde con el caudal máximo horario de 17.46 L/s. Los resultados obtenidos en el análisis hidráulico indica que el caudal de salida en el tanque “El Quingo” es mayor al caudal máximo horario, esto puede deberse a lo ya mencionado anteriormente, posibles conexiones ilícitas a la red de distribución “El Quingo”, fugas, consumo del caudal para un fin no doméstico.

3.3 Propuesta de mejoras

Para mejorar la red de distribución “El Quingo” es necesario que las presiones estén dentro de los límites permisibles de presiones estáticas máximas, para esto fue necesario incluir válvulas reguladoras de caudal en la red las cuales fueron 20 y se encuentran distribuidas a lo largo de toda la red

Tabla 6: Características de válvulas reguladoras de caudal implementadas en la red de distribución “El Quingo”

N.º Válvula	Ubicación en Coordenadas UTM	Diámetro (mm)
1	818713.2291 E 5504.2922 N	101.6
2	818807.9399 E 5654.1055 N	101.6
3	818644.4124 E 5726.7385 N	58
4	818946.7102 E 5792.1606 N	101.6
5	818783.5116 E 5873.2117 N	58
6	819041.5452 E 5852.7828 N	83
7	818730.6634 E 6049.1561 N	58
8	818376.9246 E 6076.1870 N	58
9	818625.7349 E 6103.3164 N	58
10	818449.0432 E 6186.6393 N	101.6
11	818834.1433 E 5855.44711 N	101.6
12	818888.9140 E 6157.9612 N	58
13	818680.4131 E 6221.6017 N	58
14	818828.26 E 6302.24 N	58
15	818827.3096 E 6302.2514 N	58
16	818738.5459 E	58

	6341.0068 N	
17	818892.0185 E 6419.1695 N	58
18	818820.6057 E 6386.20 N	58
19	818807.3735 E 6476.11 N	58
20	818773.5257 E 6803.4549 N	58

Por otro lado, como se observó en la figura 22 las velocidades de la red de distribución son muy bajas, por esto es necesaria la inclusión de válvulas de desagüe en los puntos más bajos y extremos de la red de distribución para evacuar el sedimento generado el cual puede provocar taponamientos a las tuberías.

Tabla 7: Características de válvulas de desagüe implementadas en la red de distribución “El Quingo”

N.º Válvula	Ubicación en Coordenadas UTM	Diámetro (mm)
1	818796.2599 E 5449.6531 N	101.6
2	8185.42.7373 E 5486.6226 N	58
3	818472.4340 E 5793.4081 N	58
4	818091.0607 E 6362.6083 N	58
5	818165.9792 E 6554.1534 N	58
6	818222.8714 E 6700.5607 N	58
7	818280.6908 E 6847.1551 N	58
8	818774.6217 E 6805.6217 N	58

9	818847.2247 E 6609.51 N	58
10	818901.7928 E 6373.38 N	58
11	818912.3814 E 6009.3168 N	58
12	818968.8351 E 5983.7832 N	58

4 CONCLUSIONES

El registro de datos de caudales con el equipo de ultrasonido determinó que existen caudales que superan al caudal máximo horario que fue estudiado técnicamente, fue medido y fue analizado hidráulicamente con valores de caudales que llegan a 50 L/s cuando deberían ser 17.46 L/s que es el caudal máximo horario.

Las presiones del sistema en el modelo estático superan en 40 mca la normativa que establece que las presiones estáticas máximas son de 60 mca.

La mayoría de las velocidades del sistema no cumplen con la normativa para velocidades mínimas de 0.45 m/s teniendo velocidades de 0.3 m/s e incluso llegando a velocidades en algunos sectores de 0 m/s.

Al realizar el levantamiento catastral de válvulas se encontró que en toda la red de distribución solo existen 12 válvulas localizadas, los operarios de las válvulas comentaron la existencia de al menos 60 válvulas perdidas en toda la red de distribución.

Para evaluar hidráulicamente la red de distribución “El Quingo” fue necesario adecuar ellos nodos y las tuberías existentes en el plano, a los 1017 nodos se los puso el caudal de diseño calculado y a las 356 tuberías se las corto 10 cm de sus extremos y se las volvió a colocar, esto para que al momento de realizar la modelación hidráulica sea más fácil colocar cualquier tipo de válvulas.

El caudal máximo horario previsto por la EMAPAAC-EP para la red de distribución “El Quingo” es de 17.46 L/s, siendo menor al caudal arrojado software de análisis hidráulico que es de 20.14 L/s.

5 RECOMENDACIONES

Se debe identificar en donde se están realizando los consumos que podrían ser ilícitos porque se nota la existencia de un caudal que siempre sale del tanque de almacenamiento, la media de este caudal de salida es de 15 L/s

Realizar un levantamiento catastral completo de todas las válvulas existentes en la red distribución "El Quingo" no solo las válvulas conocidas, si no también encontrar las válvulas perdidas y en base al modelo de análisis hidráulico realizado para este documento se puede añadir las válvulas encontradas.

Se debe considerar la posibilidad de añadir válvulas rompe presión y de desagüe en la red de distribución "El Quingo". Las válvulas reguladoras de caudal porque existe presiones estáticas máximas de 100 mca muy por arriba de la normativa que establece como máximo 60 mca y las válvulas de desagüe debido a que en la red existen sectores en donde la velocidad en las tuberías es de 0m/s lo que facilita la acumulación de sedimento.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACUMAR. (2018). *Aforos en la red de Estaciones hidrométricas de la ACUMAR*. Argentina: Coordinación de Calidad Ambiental.
- Adriano, Y. (2017). *Diseño del sistema de agua potable y su influencia en la calidad de vida de la licalidad de Huacamayo*. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Aguera, J. (2012). *Resistencia de Superficie en Conducciones*. Córdoba: Universidad de Córdoba.
- Alvarado, E., Gil, S., Nelson, A., & Espinoza, H. (2017). *Manual de Medición de Caudales*. Guatemala: Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático.
- Álvarez, V. (2013). *Red de Abastecimiento*. Villanova.
- Aragón, J. (2013). *Modelación numérica integrada de los procesos hidráulicos en el drenaje urbano*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Bonifaz, D. (2013). *Resumen del Cantón Cayambe*. Cayambe, Pichincha, Ecuador.
- Chulluncuy, N. (2011). *Tratamiento de agua para consumo*. Lima: Universidad de Lima.
- CONAGUA. (2016). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Ecuador, G. d. (2 de Octubre de 2019). *Instituto Nacional de Patrimonio Cultural*. Obtenido de Instituto Nacional de Patrimonio Cultural:
<https://www.patrimoniocultural.gob.ec/cayambe/>

- EMAAP-Q. (2009). *Normas de Diseño de Sistemas de Agua Potable* . Quito.
- EMAPAAC-EP. (2019). *Estudios del Plan Maestro de Agua Potable y Saneamiento de la Ciudad Urbana de Cyambe, Cantón Cayambe , Provincia de Pichincha*. Cayambe.
- Engineering, O. (Noviembre de 2018). *Guía de usuario Medidor Ultrasonics FDT-21*. Obtenido de Omega: <https://assets.omega.com/manuals/M5011ES.pdf>
- Jara, G. (2017). *¿Qué es y para que sirve el AUTOCAD Civil 3D?* Cajamarca.
- Leon, J. d. (2010). *Diseño y Cálculo de Redes de Vapor* . Junta de Castilla y Leon.
- Lossio, M. (2012). *Sistema de abastecimiento de agua potable para cuatro poblados rurales del distrito de Lancones*. Piura: Universidad de Piura.
- Loza, D. (2008). Medidores Ultrasónicos empleados en las mediciones de flujo de Hidrocarburos Líquidos. 26-47.
- OMS. (2004). *Guía para el Diseño y Construcción de Captación de Manantiales*. Lima.
- Orellana, J. (2005). *Abastecimiento de Agua Potable*. Argentina: UTN - FRRO.
- Patiño, F. (2010). *ESTUDIOS Y DISEÑOS DEFINITIVOS DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA COMUNIDAD DE TUTUCÁN, CANTÓN PAUTE, PROVINCIA DEL AZUAY*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Rossman, L. (2017). *EPANET 2 USER`S MANUAL*. Valencia: Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente.
- Salamanca, U. d. (2018). *Pérdidas Localizadas*. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Sánchez, J. (2013). *Medida de Caudales*. Salamanca: Dpto. Geología Universidad de Salamanca.
- Trapote, A. (2013). *Infraestructuras Hidráulico-Sanitarios*. Alicante: Unión de Editorial Universitarias Españolas.
- UNATSABAR. (2001). *Guía de Diseño para Captación del Agua Lluvia*. Lima.

7 ANEXOS

ANEXO I

Resultado de originalidad

Resumen de coincidencias ×		
12 %		
< >		
1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3 % >
2	Entregado a Pontificia ... Trabajo del estudiante	1 % >
3	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	1 % >
4	www.pactomundial.org Fuente de Internet	1 % >
5	repositorio.uladech.ed... Fuente de Internet	1 % >
6	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 % >
7	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 % >
8	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 % >
9	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 % >
10	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 % >
11	epmmc.gob.ec Fuente de Internet	<1 % >
12	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 % >
13	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1 % >
14	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 % >
15	Sara González Orenga. ... Publicación	<1 % >
16	mriuc.bc.uc.edu.ve Fuente de Internet	<1 % >
17	doku.pub Fuente de Internet	<1 % >
18	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	<1 % >
19	www.studocu.com Fuente de Internet	<1 % >
20	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	<1 % >
21	prezi.com Fuente de Internet	<1 % >

ANEXO II

Caudales de diseño para cada tramo de tubería

Qmáx horario Caudal Específico	17,46 0,000863	L/s L/s*m
# Tubería	Longitud (L)	Caudales en Cada Tramo (L/s*m)
T1	139,27	0,120163044
T2	94,97	0,081940721
T3	81,92	0,070681098
T4	376,75	0,325062301
T5	18,71	0,016143107
T6	10,85	0,009361449
T7	1,00	0,000862806
T8	9,74	0,008403734
T9	80,13	0,069136675
T10	83,61	0,072139241
T11	15,64	0,013494292
T12	13,35	0,011518465
T13	4,63	0,003994794
T14	4,73	0,004081074
T15	6,32	0,005452936
T16	6,47	0,005582357
T17	3,95	0,003408085
T18	4,11	0,003546134
T19	4,65	0,00401205
T20	4,82	0,004158727
T21	4,70	0,00405519
T22	4,86	0,004193239
T23	29,91	0,025806539
T24	29,61	0,025547697
T25	60,71	0,052380975
T26	3,83	0,003304548
T27	5,28	0,004555618
T28	2,31	0,001993083
T29	38,28	0,033028228
T30	62,74	0,054132472
T31	60,57	0,052260182
T32	1,88	0,001622076
T33	51,67	0,044581205
T34	7,48	0,006453792
T35	0,48	0,000414147
T36	55,96	0,048282645
T37	2,93	0,002528023
T38	59,96	0,05173387
T39	2,45	0,002113876
T40	60,07	0,051828779
T41	61,92	0,053424971
T42	53,74	0,046367215
T43	4,21	0,003632415

T44	56,01	0,048325785
T45	12,46	0,010750567
T46	42,42	0,036600246
T47	1,00	0,000862806
T48	14,10	0,01216557
T47	21,45	0,018507197
T50	11,09	0,009568523
T51	15,03	0,01296798
T52	11,29	0,009741084
T53	19,82	0,017100822
T54	26,64	0,022985162
T55	1,00	0,000862806
T56	26,64	0,022985162
T57	42,51	0,036677899
T58	31,47	0,027152517
T59	43,87	0,037851316
T60	44,29	0,038213694
T61	2,87	0,002476254
T62	72,44	0,062501694
T63	12,39	0,010690171
T64	19,55	0,016867865
T65	28,14	0,024279371
T66	1,70	0,001466771
T67	44,89	0,038731378
T68	64,96	0,056047902
T69	27,58	0,0237962
T70	26,64	0,022985162
T71	27,53	0,023753059
T72	1,00	0,000862806
T73	94,00	0,081103799
T74	77,61	0,066962403
T75	54,17	0,046738221
T76	23,25	0,020060248
T77	6,90	0,005953364
T78	37,18	0,032079141
T79	5,29	0,004564246
T80	2,65	0,002286437
T81	3,14	0,002709212
T82	134,32	0,115892152
T83	54,34	0,046884898
T84	79,36	0,068472314
T85	3,62	0,003123359
T86	15,05	0,012985236
T87	53,72	0,046349958
T88	2,29	0,001975827
T89	57,55	0,049654507
T90	1,30	0,001121648

T91	11,81	0,010189743
T92	88,38	0,076254827
T93	58,26	0,050267099
T94	70,19	0,060560379
T95	106,77	0,092121837
T96	61,54	0,053097104
T97	49,40	0,042622635
T98	168,26	0,145175801
T99	41,85	0,036108447
T100	20,04	0,01729064
T101	64,07	0,055280004
T102	7,05	0,006082785
T103	4,54	0,003917141
T104	75,35	0,06501246
T105	91,52	0,078964039
T106	55,36	0,047764961
T107	16,36	0,014115512
T108	42,94	0,037048906
T109	1,00	0,000862806
T110	54,60	0,047109228
T111	36,72	0,03168225
T112	7,71	0,006652237
T113	8,41	0,007256202
T114	4,59	0,003960281
T115	58,49	0,050465545
T116	92,01	0,079386814
T117	57,22	0,049369781
T118	80,16	0,069162559
T119	0,59	0,000509056
T120	1,21	0,001043996
T121	52,16	0,04500398
T122	10,28	0,00886965
T123	22,48	0,019395887
T124	63,03	0,054382686
T125	81,75	0,070534421
T126	60,55	0,052242926
T127	1,24	0,00106988
T128	92,09	0,079455839
T129	61,98	0,053476739
T130	61,22	0,052821006
T131	32,80	0,028300049
T132	58,83	0,050758899
T133	92,02	0,079395443
T134	1,04	0,000897319
T135	81,61	0,070413628
T136	32,80	0,028300049
T137	25,45	0,021958422

T138	16,88	0,014564172
T139	32,58	0,028110232
T140	60,26	0,051992712
T141	59,70	0,051509541
T142	91,68	0,079102088
T143	81,65	0,07044814
T144	53,06	0,045780506
T145	64,78	0,055892597
T146	27,26	0,023520102
T147	6,64	0,005729034
T148	20,04	0,01729064
T149	23,81	0,02054342
T150	7,54	0,00650556
T151	66,05	0,056988361
T152	83,57	0,072104729
T153	66,56	0,057428392
T154	27,94	0,02410681
T155	60,23	0,051966828
T156	60,14	0,051889175
T157	32,80	0,028300049
T158	84,22	0,072665553
T159	4,80	0,004141471
T160	72,25	0,062337761
T161	55,53	0,047911638
T162	6,88	0,005936108
T163	5,65	0,004874856
T164	3,49	0,003011194
T165	5,49	0,004736807
T166	58,44	0,050422405
T167	71,29	0,061509466
T168	181,92	0,156961736
T169	4,42	0,003813604
T170	7,55	0,006514188
T171	136,71	0,117954259
T172	7,20	0,006212206
T173	6,00	0,005176838
T174	126,71	0,109326196
T175	52,41	0,045219682
T176	131,64	0,113579831
T177	132,71	0,114503034
T178	96,84	0,083554169
T179	42,08	0,036306892
T180	60,08	0,051837407
T181	59,12	0,051009113
T182	52,69	0,045461268
T183	10,90	0,009404589
T184	62,63	0,054037563

T185	187,61	0,161871104
T186	61,76	0,053286922
T187	0,50	0,000431403
T188	3,06	0,002640188
T189	60,87	0,052519024
T190	192,46	0,166055715
T191	199,13	0,171810633
T192	60,81	0,052467256
T193	60,08	0,051837407
T194	207,47	0,179006438
T195	202,94	0,175097926
T196	115,89	0,099990631
T197	63,40	0,054701924
T198	82,38	0,071077989
T199	53,67	0,046306818
T200	46,06	0,039740862
T201	60,82	0,052475884
T202	49,09	0,042355165
T203	53,26	0,045953067
T204	7,81	0,006738518
T205	26,64	0,022985162
T206	20,40	0,01760125
T207	56,98	0,049162707
T208	14,14	0,012200082
T209	39,47	0,034054968
T210	41,86	0,036117075
T211	118,11	0,101906061
T212	57,96	0,050008257
T213	17,14	0,014788501
T214	2,60	0,002243297
T215	156,86	0,135339808
T216	39,64	0,034201645
T217	134,68	0,116202762
T218	3,36	0,002899029
T219	89,84	0,077514525
T220	48,70	0,04201867
T221	60,91	0,052553536
T222	134,29	0,115866268
T223	0,77	0,000664361
T224	132,63	0,114434009
T225	60,17	0,05191506
T226	136,10	0,117427948
T227	78,05	0,067342037
T228	138,28	0,119308865
T229	142,10	0,122604786
T230	57,93	0,049982373
T231	130,31	0,112432299

T232	190,82	0,164640712
T233	143,39	0,123717806
T234	32,91	0,028394958
T235	29,90	0,025797911
T236	145,82	0,125814425
T237	18,21	0,015711704
T238	23,19	0,02000848
T239	89,86	0,077531781
T240	60,76	0,052424115
T241	54,44	0,046971179
T242	21,98	0,018964484
T243	36,97	0,031897952
T244	52,34	0,045159286
T245	132,98	0,114735992
T246	132,80	0,114580686
T247	118,02	0,101828408
T248	61,50	0,053062592
T249	225,31	0,194398904
T250	0,95	0,000819666
T251	7,33	0,006324371
T252	31,40	0,02709212
T253	58,46	0,050439661
T254	58,72	0,05066399
T255	87,10	0,075150435
T256	3,38	0,002916286
T257	30,68	0,0264709
T258	62,22	0,053683813
T259	57,36	0,049490574
T260	239,79	0,20689234
T261	62,74	0,054132472
T262	28,81	0,024857452
T263	60,19	0,051932316
T264	155,56	0,13421816
T265	155,54	0,134200903
T266	60,02	0,051785639
T267	155,17	0,133881665
T268	60,12	0,051871919
T269	155,15	0,133864409
T270	59,16	0,051043625
T271	155,13	0,133847153
T272	61,05	0,052674329
T273	53,45	0,046117001
T274	71,14	0,061380045
T275	206,05	0,177781253
T276	2,42	0,002087991
T277	154,93	0,133674592
T278	81,41	0,070241067

T279	157,07	0,135520997
T280	155,96	0,134563282
T281	60,29	0,052018596
T282	155,77	0,134399349
T283	0,74	0,000638477
T284	59,11	0,051000485
T285	155,73	0,134364837
T286	60,40	0,052113505
T287	155,62	0,134269928
T288	59,73	0,051535425
T289	155,74	0,134373465
T290	60,20	0,051940944
T291	76,50	0,066004688
T292	80,06	0,069076278
T293	21,72	0,018740154
T294	145,11	0,125201833
T295	74,73	0,06447752
T296	70,67	0,060974526
T297	14,00	0,012079289
T298	57,29	0,049430177
T299	0,81	0,000698873
T300	154,64	0,133424378
T301	58,92	0,050836552
T302	155,83	0,134451117
T303	60,40	0,052113505
T304	34,85	0,030068802
T305	17,86	0,015409722
T306	18,30	0,015789357
T307	7,89	0,006807542
T308	141,49	0,122078474
T309	53,47	0,046134257
T310	64,51	0,055659639
T311	25,19	0,021734093
T312	10,36	0,008938674
T313	61,22	0,052821006
T314	30,17	0,026030868
T315	3,15	0,00271784
T316	0,92	0,000793782
T317	64,89	0,055987506
T318	12,42	0,010716055
T319	101,53	0,087600731
T320	40,37	0,034831493
T321	145,01	0,125115552
T322	80,07	0,069084906
T323	5,22	0,004503849
T324	70,50	0,060827849
T325	33,41	0,028826361

T326	2,22	0,00191543
T327	1,27	0,001095764
T328	22,00	0,01898174
T329	27,64	0,023847968
T330	25,86	0,022312173
T331	24,21	0,020888542
T332	13,22	0,0114063
T333	13,93	0,012018893
T334	12,08	0,010422701
T335	17,48	0,015081855
T336	12,79	0,011035294
T337	9,39	0,008101752
T338	8,06	0,006954219
T339	33,52	0,02892127
T340	10,52	0,009076723
T341	41,86	0,036117075
T342	21,28	0,01836052
T343	40,60	0,035029939
T344	58,79	0,050724387
T345	60,54	0,052234298
T346	155,35	0,13403697
T347	59,86	0,05164759
T348	156,00	0,134597794
T349	60,29	0,052018596
T350	155,67	0,134313068
T351	98,67	0,085133105
T352	157,64	0,136012797
T353	90,49	0,078075349
T354	60,29	0,052018596
T355	59,85	0,051638961
T356	1,22	0,001052624
Total	20236,29	17,46