

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

**EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN  
DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE LA COMUNA  
CHINCHILOMA**

**EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DEL  
BARRIO “SECTOR 3”**

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

**ANGIE PAMELA ALMACHI ALMACHI**

**DIRECTOR: EDUARDO MAURICIO VÁSQUEZ FALCONES**

**DMQ, febrero 2024**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, Angie Pamela Almachi Almachi 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.

---

**Angie Pamela Almachi Almachi**

**angie.almachi@epn.edu.ec**

**[pamelaalmachi2011@gmail.com](mailto:pamelaalmachi2011@gmail.com)**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Angie Pamela Almachi Almachi, bajo mi supervisión.

---

**Eduardo Mauricio Vásquez Falcones**

**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.

Angie Pamela Almachi Almachi

## **DEDICATORIA**

A mis padres Fabian y Rosita que son muy importantes en mi vida, mi motor de seguir adelante y los amo demasiado, por su gran apoyo incondicional estoy cumpliendo esta meta.

A mis hermanos, Karen, Alexis y Elian que son los que me han acompañado día a día y me brindan esa fuerza para seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por haber guiado mis pasos día a día.

Agradezco a mis padres, Fabian Almachi y Rosita Almachi, que fueron mi motivo de salir adelante y jamás rendirme a pesar de las circunstancias de la vida, por brindarme su apoyo incondicional día a día.

Agradezco a mis hermanos, por su gran cariño y apoyo moral a lo largo de esta trayectoria.

A Bryan por ser un apoyo incondicional en mi vida y motivarme a seguir adelante.

A los docentes por sus enseñanzas para desarrollarme profesionalmente y sobre todo a mi tutor de tesis, el Ing. Eduardo Vásquez por guiarme y ser paciente al solventar mis dudas a lo largo de este proyecto.

A Edhisson por ser una gran persona que me ha apoyado en todo momento, en las buenas y en las malas.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO .....	1
1.1 Objetivo general .....	1
1.2 Objetivos específicos .....	1
1.3 Alcance .....	1
1.4 Marco teórico.....	2
1.4.1 Sistemas de abastecimiento .....	2
1.4.2 Redes de distribución .....	4
1.4.3 Levantamientos topográficos de líneas de conducción.....	7
1.4.4 Aforo de caudales.....	8
2 METODOLOGÍA.....	9
2.1 Levantamiento de información .....	9
2.1.1 Ubicación del componente .....	9
2.1.2 Visitas técnicas .....	10
2.1.3 Datos de población.....	10
2.1.4 Recorridos con GPS.....	10
2.1.5 Topografía con restitución.....	11
2.1.6 Aforo de caudal.....	11
2.2 Evaluar hidráulicamente la infraestructura de las redes de distribución.....	12
2.2.1 Procesamiento de información de campo.....	12
2.2.2 Cálculo de caudales .....	13
2.2.3 Verificación de presiones, velocidades y caudales en Epanet 2.0 vE por normativa vigente.....	17

2.2.4	Generación de información planimétrica (Planos).....	18
2.3	Propuesta de mejoras en base a los resultados de evaluación hidráulica .....	19
2.3.1	Elaboración de informe técnico.....	19
3	RESULTADOS .....	20
3.1	Levantamiento de información .....	20
3.1.1	Visitas técnicas.....	20
3.1.2	Recorridos con GPS.....	20
3.1.3	Datos de la población .....	22
3.1.4	Aforo de caudales.....	22
3.2	Evaluación hidráulica de la infraestructura de las redes de distribución .....	25
3.2.1	Procesamiento de información de campo.....	25
3.2.2	Cálculo de caudales .....	27
3.2.3	Evaluación hidráulica en Epanet 2.0 vE .....	31
3.2.4	Plano de distribución .....	34
3.3	Propuesta de mejoras .....	34
4	CONCLUSIONES.....	39
5	RECOMENDACIONES .....	40
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41
7	ANEXOS.....	43
	ANEXO I .....	43
	ANEXO 2 .....	44
	ANEXO 3 .....	47
	ANEXO 4 .....	1
	ANEXO 5 .....	1

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1. Tasa de crecimiento poblacional por método logarítmico.....	14
Ecuación 2.2. Población futura .....	14
Ecuación 2.3. Caudal medio .....	14
Ecuación 2.4. Caudal máximo diario.....	15
Ecuación 2.5. Caudal máximo horario .....	16
Ecuación 2.6. Caudal específico .....	16

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Ubicación del componente .....	9
Figura 3.1. Colocación de puntos de interés en trazado de línea de conducción visto por mapa aéreo.....	21
Figura 3.2. Crecimiento poblacional mediante método logarítmico .....	22
Figura 3.3. Configuración de flujómetro ultrasónico .....	23
Figura 3.4. Curva de consumo diaria.....	24
Figura 3.5. Red de distribución del Sector 3.....	26
Figura 3.6. Perfiles del trazado de la línea de distribución del Sector 3 .....	26
Figura 3.7. Simulación hidráulica con propuesta de mejoras en modelo estático.....	36
Figura 3.8. Simulación hidráulica con propuesta de mejoras en modelo dinámico.....	37

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Estimación de dotaciones de agua.....	15
Tabla 2.2. Coeficiente de rugosidad-Ecuación de Darcy Weisbach .....	17
Tabla 3.1. Descripción de puntos de interés .....	21
Tabla 3.2. Datos poblacionales obtenidos del PDOT de Santa Rosa de Cuzubamba.....	22
Tabla 3.3. Datos obtenidos por flujómetro ultrasónico .....	23
Tabla 3.4. Caudales otorgados por el flujómetro ultrasónico .....	25
Tabla 3.5. Elevaciones y abscisas de puntos de interés.....	26
Tabla 3.6. Tasa de crecimiento poblacional promedio .....	27
Tabla 3.7. Población futura .....	28
Tabla 3.8. Comparación de caudales de consumo .....	29
Tabla 3.9. Caudales para cada nodo de la línea de distribución del Sector 3.....	30
Tabla 3.10. Presiones en modelo dinámico.....	31
Tabla 3.11. Presiones en modelo estático.....	32
Tabla 3.12. Velocidades en modelo dinámico .....	33
Tabla 3.13. Propuesta de mejoras en modelo estático .....	35
Tabla 3.14. Propuesta de mejoras en modelo dinámico .....	36

## RESUMEN

El presente componente aborda la evaluación hidráulica de la red de distribución del “Sector 3”, como parte del proyecto de Evaluación hidráulica de las redes de distribución del sistema de abastecimiento de la comuna Chinchiloma en la parroquia de Santa Rosa de Cuzubamba.

Para la recopilación de datos existentes del sistema primario de abastecimiento del barrio “Sector 3”, se levantó la información topográfica de la línea de distribución en donde fue necesario el apoyo del operador de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) para que especifique los puntos de interés que se encontraban a lo largo de la red.

Posteriormente, se evaluó hidráulicamente la infraestructura de las redes, mediante software especializado. Al realizarse la línea de distribución se establecieron nodos de los puntos de interés y nodos extras para comprobar la presión en el modelo estático y dinámico y velocidades.

Adicionalmente, se realizó el cálculo de caudales de consumo para cada tramo de tubería y adicionalmente el caudal máximo horario, caudal máximo diario y caudal medio. Se ejecutó el aforo de caudales de la tubería que sale del tanque de almacenamiento que contenía un volumen de  $40 m^3$ , con la finalidad de obtener una curva de consumo para identificar posibles fallas en la red.

Por último, se propuso mejoras con base en los resultados de la evaluación hidráulica, tomando en cuenta la normativa de la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EPMAP-Q), con la realización de dos planos que contengan la línea de distribución actual y la línea con la propuesta de mejoras realizada que consistió en la colocación de válvulas reguladoras de presión en puntos estratégicos, con el fin de garantizar un suministro de agua eficiente.

**PALABRAS CLAVE:** evaluación hidráulica, red de distribución, caudales, nodos, válvula reguladora de presión, tubería

## ABSTRACT

This component addresses the hydraulic evaluation of the distribution network of “Sector 3”, as part of the project for Hydraulic Evaluation of the distribution networks of the supply system of the Chinchiloma commune in the parish of Santa Rosa de Cuzubamba.

For the collection of existing data from the primary supply system of the “Sector 3” neighborhood, topographic information was collected from the distribution line where the support of the operator of the Drinking Water Treatment Plant (PTAP) was necessary to specify the points of interest that were along the network.

Subsequently, the network infrastructure was evaluated hydraulically, using specialized software. When the distribution line was created, nodes of the points of interest and extra nodes were established to check the pressure in the static and dynamic model and speeds.

Additionally, the calculation of consumption flows was carried out for each section of pipe and additionally the maximum hourly flow, maximum daily flow and average flow. The flow rate of the pipe leaving the storage tank that contained a volume of  $40 \text{ m}^3$  was carried out, in order to obtain a consumption curve to identify possible failures in the network.

Lastly, improvements were proposed based on the results of the hydraulic evaluation, taking into account the regulations of the Metropolitan Company of Sewerage and Drinking Water of Quito (EPMAP-Q), with the creation of two plans that contain the distribution line current and the line with the proposed improvements made, which consisted of the placement of pressure regulating valves at strategic points, in order to guarantee an efficient water supply.

**KEYWORDS:** hydraulic evaluation, distribution network, flows, nodes, pressure regulating valve, pipes

# **1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO**

En este componente, se llevó a cabo la evaluación hidráulica de la red de distribución de la comuna Chinchiloma en el Sector 3. El objetivo primordial es identificar y proponer mejoras que redunden en beneficios significativos para los habitantes del barrio. Este componente comprende diversas fases como el levantamiento de información mediante el reconocimiento del estado actual, levantamiento de sitios de interés, dimensiones de las estructuras, diagramas de los componentes hidráulicos, aforo de caudales y evaluación hidráulica de líneas de distribución.

Además, se elaboró los planos de la topografía con restitución y el perfil longitudinal de la red de distribución de esta localidad. Se ejecutará un aforo de caudales en la tubería que sale del tanque, para obtener datos cuantitativos sobre el flujo del agua en los puntos de interés. Estos datos recopilados serán cruciales para la evaluación hidráulica de las líneas de distribución, permitiendo identificar posibles defectos y zonas de mejora.

Con el enfoque de este componente, no solo se busca abordar los aspectos técnicos y operativos de la línea de suministro de agua potable, sino también garantizar que las propuestas de mejoras estén acorde a las necesidades y demandas de los habitantes del lugar. De esta manera se optimizó la eficiencia del sistema de distribución de agua potable, contribuyendo a la calidad de vida de la comunidad en el sector 3 de la comuna Chinchiloma.

## **1.1 Objetivo general**

Evaluar hidráulicamente la red de distribución ubicada en el sector 3 en la comuna Chinchiloma.

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Levantar información y recopilar datos existentes de la red de distribución del sistema primario de abastecimiento del barrio Sector 3.
2. Evaluar hidráulicamente la infraestructura de las redes de distribución.
3. Proponer mejoras con base en los resultados de evaluación hidráulica.

## **1.3 Alcance**

Este proyecto se realizó en la parroquia Santa Rosa de Cuzubamba, concretamente en la comuna Chinchiloma en el barrio Sector 3, en el cual se desarrollará el levantamiento de información de la infraestructura de la red de distribución, aforo de caudales, trazado de

redes, análisis de la población y estudio de caudales. Se evaluó hidráulicamente la infraestructura de la red de distribución del barrio mencionado, tomando en cuenta el cumplimiento de la normativa en cuanto a presiones, velocidades y diámetros. Analizando dichos resultados se pudo proponer mejoras a los sistemas de distribución y, conjuntamente, entregar a la comuna información necesaria que les ayude a gestionar la implementación de las mejoras en beneficio de los usuarios.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Sistemas de abastecimiento**

Los sistemas de abastecimiento de agua permiten que las comunidades urbanas y rurales tengan acceso a buena calidad de agua para que el ser humano la pueda consumir y no contraigan enfermedades gastrointestinales. Existen diferentes fuentes de agua natural para abastecer a la comunidad tales como arroyos, ríos, manantiales, agua lluvia y subterránea como los acuíferos (Dillon, 2020).

Para las comunidades urbanas es más complejo, mientras que en las comunidades rurales son sistemas de abastecimiento sencillos puesto que, la mayor parte de la población no contiene cadenas o líneas de distribución, si no que emplean piletas o conexiones domiciliarias. Existen diferentes procesos en un procedimiento de provisión de agua que reciben dicho nombre de grupos funcionales (Dillon, 2020).

#### **Captación**

Dillon (2020), menciona que, “esta función es importante para captar el agua de la fuente, debido a que es una estructura de hormigón o geomembrana que recibe el agua de fuentes naturales como ríos, arroyos o lagunas para distribuirla a los habitantes de una comunidad” (párr. 1).

La infraestructura de la captación depende de características hídricas y topográficas del territorio, así mismo de la suma o flujo de agua requerido por la comunidad. Este procedimiento puede funcionar por gravedad cuando la fuente de agua escogida sobrepasa el nivel de punto de uso. Funciona por medio de bombeo cuando la fuente de agua está al inferior del nivel en donde residen los habitantes (Stauffer & Spuhler, 2020).

#### **Tipos de captaciones**

##### **a. Aguas Superficiales**

Son captaciones de agua que provienen de ríos, arroyos y lagos debido a que están cerca de la superficie, tienden a ser más contaminadas. Es importante realizar un pretratamiento antes de distribuir el agua a la comunidad. Se pueden construir estructuras hidráulicas como presas para retener agua en un río y crear un embalse. En la base de la presa se ubica la toma de agua, en donde se obtiene agua para diversos usos (Aguas del Norte, 2018).

#### **b. Aguas Subterráneas**

Este tipo de agua está ubicada debajo de la superficie terrestre. Son captadas a través de pozos y es agua de buena calidad con baja contaminación y turbidez, por lo tanto, son reservas de alta importancia (Aguas del Norte, 2018).

#### **Conducción**

Esta función traslada el suministro de agua de dos maneras, a presión o a flujo libre. Se realiza por medio de gravedad debido a que pueden existir terrenos con diferencia de nivel de suelos o por bombeo utilizando tuberías cuando es agua subterránea (Dillon, 2020).

#### **Líneas de conducción y sus tipos**

##### **a. Línea de conducción por bombeo**

Este tipo de conducción es implementado por tuberías el cual es utilizado cuando el nivel del agua del punto de captación es menor que la elevación requerida para distribuir agua a los habitantes. Los componentes de bombeo proporcionan la energía y fuerza requerida para superar la pendiente del terreno y las diferencias de energía generadas por la fricción del transporte de agua. Algunas tuberías requieren de múltiples estaciones de bombeo ubicadas en diferentes puntos a lo largo de ellas, puesto que los puntos de entrega varían en elevación (Benavides, 2020).

##### **b. Línea de conducción por gravedad**

Esta conducción está presente si la altura de agua en el tanque colector es superior que la presión solicitada en el sitio de transferencia de agua, el cual produce la conducción por gravedad y el fluido es transportado por la diferencia de energías. La línea de administración de agua se efectúa a través de tuberías de presión, pero cuando el agua captada es trasladada por gravedad, se implementan canales de superficie libre para mayor eficacia de fluidez de agua cruda (Benavides, 2020).

## **Almacenamiento y desinfección**

Son estructuras que están diseñadas para almacenar y otorgar agua que fue captada de fuentes naturales. Posteriormente, es transformada en agua de calidad que sea apta para el consumo humano. La desinfección del agua se realiza mediante procesos de tratamiento, basándose en normativas. Dichos procesos se clasifican en físicos y químicos, que confieren al agua las propiedades elementales para hacerla potable (Dillon, 2020).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que, el agua corrompida consigue provocar un impacto perjudicial en la salud de los seres humanos como enfermedades gastrointestinales, problemas en la piel, daños en el sistema nervioso, entre otros (OMS, 2023).

Las infraestructuras de almacenamiento de agua purificada son elementales para distribuir este líquido vital a los hogares para diferentes usos, así mismo nivelan las dotaciones de la cantidad y calidad de agua. La dotación de agua potable es posible, mediante el almacenamiento cuando la demanda es baja, es decir en horarios nocturnos, y abasteciendo de agua necesaria cuando la demanda es mayor, esto es en horarios pico cuando los habitantes ocupan el agua al mismo tiempo en horarios de la mañana y tarde (Pérez, 2020).

## **Distribución**

Está formada de diversas estructuras que dirigen el agua potable hacia los habitantes de una comunidad, el suministro de agua hacia los diferentes hogares debe ser todo el día, sin excepción alguna. Si se requiere de un mantenimiento en los tanques de almacenamiento u otra operación unitaria, se realiza un corte de agua por un cierto tiempo. Si el abastecimiento de agua potable es mediante bombeo se debe hacer un mantenimiento en los accesorios como tanques rompe presión, válvulas y tuberías, para que la población obtenga la cantidad y calidad requerida de agua, cumpliendo con las normativas de agua para consumo humano (Dillon, 2020).

### **1.4.2 Redes de distribución**

Las redes de distribución son muy importantes en el abastecimiento de agua potable, puesto que son las responsables de transportar el agua tratada a los hogares de las personas, mediante conexiones domiciliarias. Está compuesta de varias tuberías, válvulas, tanques rompe presión y otros accesorios que son los encargados de trasladar el agua potable después de su tratamiento en la planta que tiene la comunidad. El agua es controlada hasta el final del punto de la red de distribución, debido a que la dosificación de

cloro no es la misma que llega a la primera y última casa. Estas medidas de desinfección con cloro son importantes para prevenir que el agua se vuelva a contaminar y que el ser humano sufra alguna enfermedad (**Gur & Spuhler, 2020**).

Existen las redes matrices o también llamadas redes de distribución principal, son aquellas que proveen presiones y velocidades requeridas en la normativa de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) para garantizar el correcto trabajo del procedimiento de abasto de agua apta para que la consuman los seres humanos (EMAAP, 2008).

### **Redes abiertas**

Las redes abiertas son un conjunto de tubos principales que son indispensables para abastecer gran parte del agua a los habitantes de una comunidad. Estas redes se identifican por carecer de un circuito cerrado. Es un grupo de tuberías que conecta un grupo de pozos a una planta de tratamiento de agua potable. Este tipo de redes se analizan por medio de un enfoque de equilibrio cuantitativo que garantiza la calidad de agua en toda la red. Existe la ecuación de continuidad en cada nodo de la red que se debe cumplir y en cada tanque se debe proporcionar el caudal demandado (Prieto, 2009).

### **Presión máxima**

Las redes de distribución primaria y secundaria están diseñadas para obtener una presión estática máxima de 60 metros de columna de agua (m.c.a). Estas presiones están establecidas para niveles estáticos, es decir para aquellas que estén en una posición de agua subterránea en estado natural y no exista corriente en la línea de distribución. Realiza la operación con la carga al máximo desde los depósitos de almacenamiento y en las plantas de bombeo (EMAAP, 2008).

Si se requiere una presión mayor que la presión máxima considerada, se debe obtener permiso de Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable Quito (EMAAP-Q). Es de suma importancia utilizar cajas rompe presión y evitar tuberías rotas debido a la alta presión que exista en ellas (EMAAP, 2008).

### **Presión mínima**

La presión mínima en la red principal en comunidades urbanas fue determinada de 15 metros de columna de agua, cuando se esté distribuyendo el caudal de diseño. En las comunidades rurales la presión mínima que pueden utilizar es de 10 m.c.a (EMAAP, 2008).

En Cayambe la baja de presiones en los distintos barrios se debe a roturas de red de conducción, mismas que pueden ser ocasionadas por personas externas a la Empresa Pública Municipal de Agua Potable Alcantarillado y Aseo Cayambe (EMAPAAC) al realizar el aseo de canales de riego (EMAPAAC-EP, 2021).

### **Velocidad máxima**

La velocidad máxima autorizada en las tuberías dependerá del caudal que transporte, además de otras características como el radio hidráulico de la sección transversal y del material fabricado, si son de canales de hormigón es de 6 m/s y si son tuberías de plástico es de 8 m/s (EMAAP, 2008).

### **Velocidad mínima**

La velocidad mínima permitida está en función del valor más bajo para evitar la sedimentación. El valor mínimo de velocidad para tuberías que sean fabricadas de material de concreto o plástico es de 0,45 m/s (EMAAP, 2008).

### **Caudales de consumo**

#### **a. Caudal máximo diario (QMD)**

Es el consumo máximo inscrito en un periodo de 24 horas durante un año. Es calculado, multiplicando el caudal medio horario en el transcurso de un año por el factor de consumo máximo diario identificado como  $k_1$  que puede variar su valor para ciudades y parroquias (EMAAP, 2008).

#### **b. Caudal máximo horario (QMH)**

Es el consumo máximo registrado en una hora durante el año, sin tomar en cuenta el caudal de incendios. El método de cálculo es multiplicar el caudal medio diario por el factor de consumo máximo horario que es  $k_2$  (EMAAP, 2008).

#### **c. Caudal medio diario (Qmd)**

Este caudal es el promediado de los consumos diarios del caudal en un tiempo de un año. Se obtiene calculando la dotación media futura por la población y dividiendo para un factor de 86400 (EMAAP, 2008).

### **Zonificación**

La zonificación del territorio permite dividir al territorio en unidades de diferente tamaño, forma y ubicación, dependiendo del tipo de relieve, topografía o características

hidrológicas. Genera una gran cantidad de espacios unidos por la unidad espacial global y las múltiples personas que puedan utilizar este espacio continuamente. Existe una clasificación administrativa de los espacios que presentan algunos niveles, que están en un orden jerárquico de permanencia, van desde macrorregión, país, región, provincia, comuna y finalmente predio (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, s.f.).

### **Accesorios**

Son elementos que componen un sistema de suministro de agua tales como tuberías, uniones, codos, bombas de agua, cajas rompe presión, entre otros. Dichos accesorios deben tener mantenimiento para localizar suciedad, adhesiones, grietas o cualquier defecto (EMAAP, 2008).

### **Dotación**

La dotación es aquella cantidad de agua establecida a cada residente, incluido el consumo diario de todos los servicios prestados, tomando en cuenta las pérdidas, y esta es expresada en litros/habitante-día. Esta dotación es de bastante utilidad para realizar estudios de proyección de demandas de agua en un sistema de agua potable. (EMAAP, 2008)

#### **1.4.3 Levantamientos topográficos de líneas de conducción**

Los levantamientos topográficos implican determinar el diámetro, dependiendo las pérdidas de carga por la conducción y tipo de tubería. Dichas pérdidas se consiguen empleando distintas ecuaciones como Darcy-Weisbach, Manning o Hazen Williams. Existen dos tipos de conducciones de tubería, que son ejecutadas por medio de gravedad o bombeo (SAGARPA, s.f.).

Las líneas de conducción consisten en tuberías que trasladan agua desde un punto de recolección hasta el tanque de almacenamiento en la planta de tratamiento y estructuras relacionadas como las válvulas integradas en las mismas. Debe tener una capacidad máxima para cubrir el gasto de diseño. Dependiendo de su ubicación son fuente-red o tanque-red (Espinoza, Pérez, & Gonzáles, 2006).

##### **a. Conducción por gravedad**

Este tipo de conducción no contiene excesiva diferencia de altura para mandar una presión adecuada hacia el funcionamiento y obtener un adecuado suministro de agua. El funcionamiento se basa en hacer deslizar el agua por su propio peso desde una fuente elevada hasta los consumidores situados más abajo, en donde se conserva la energía

aplicando tubos con diámetros mayores para obtener minúsculas pérdidas de carga por fricción evitando un sistema de bombeo (SAGARPA, s.f.).

#### **b. Conducción combinada**

Son un tipo de tubería que se implementan cuando la topografía del terreno no tiene las características adecuadas y la tubería tiene que pasar a cierta distancia por encima del nivel del agua del punto de entrega, por lo que se prevé un tanque en este punto. La implementación del tanque crea una línea de gravedad por bombeo, en la cual consta de dos partes, la primera se bombea y la segunda es impulsada por gravedad (Vanegas, 2020).

#### **Topografía de restitución**

La topografía de restitución fotogramétrica accede la vectorización de la información capturada digitalmente para producir ortofotos precisas y objetivas. Este tipo de topografía utiliza las escalas cartográficas típicas que pueden variar como 1:1000, 1:2000 y 1:5000. Estas escalas son obtenidas mediante vuelos fotogramétricos. Cuando se requiere mapeo 3D, los productos cartográficos se pueden obtener mediante restauración fotogramétrica tradicional utilizando un software especializado, para tener como resultado la tercera dimensión a partir de mapeo plano (SIGLA, 2014).

#### **1.4.4 Aforo de caudales**

Es una operación para determinar y registrar la suma de agua que se transporta por medio físico en un tiempo determinado, mediante medidas de altura y secciones. Es importante medir cuerpos de agua que van desde caudales bajos hasta caudales grandes. Existen dos tipos de aforos que son directos e indirectos. El aforo directo es aquel que se puede determinar utilizando dispositivos con los que se puede medir directamente el caudal. En el aforo indirecto se calcula la altura del agua en el canal y se estima el caudal en función del nivel. (Sánchez, 2013).

#### **Evaluación Hidráulica**

La evaluación hidráulica, es necesaria cuando una comunidad dispone de limitado suministro de agua, puesto que, habrá problemas en el desarrollo de su funcionamiento, por esta razón es necesario mejorar el sistema para proporcionar a la población agua de calidad y en cantidades requeridas que dependerán de varios factores como la población, el progreso de sus actividades diarias, entre otros (Espinoza, Pérez, & Gonzáles, 2006).

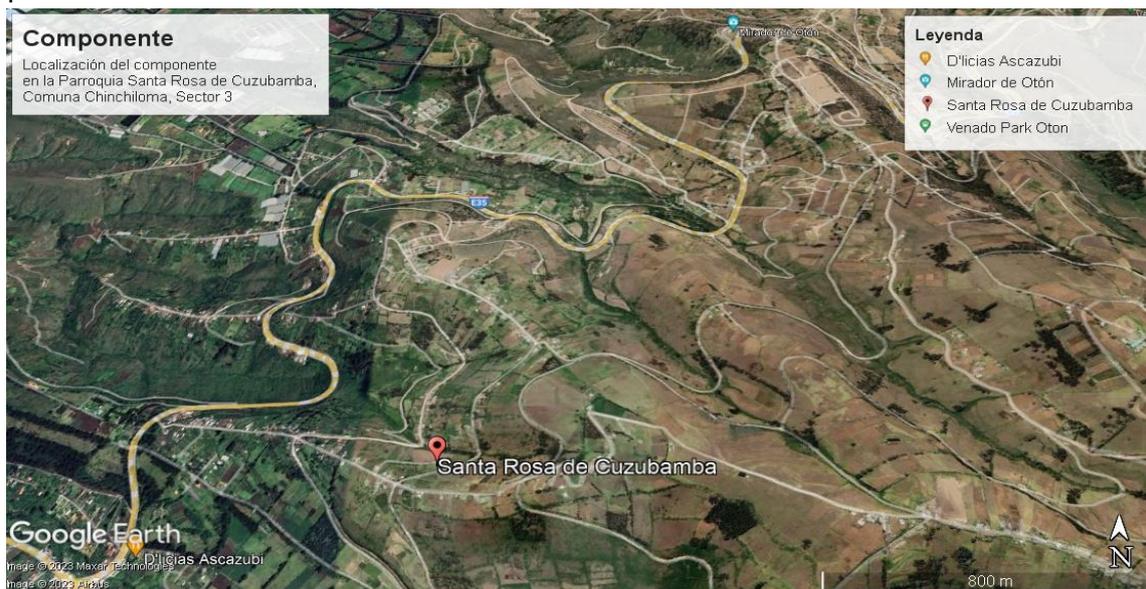
## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 Levantamiento de información

El levantamiento de información fue de suma importancia para determinar una gestión eficiente y segura del suministro de agua potable para los residentes del Sector 3. Se realizó un recorrido del lugar, planificaciones y visitas técnicas para determinar los diversos problemas que contiene la red de distribución. Se realizó el reconocimiento del estado actual, levantamiento de sitios de interés mediante GPS. Se obtuvieron dimensiones de las estructuras, para realizar una evaluación hidráulica de líneas de distribución.

#### 2.1.1 Ubicación del componente

El componente del proyecto está ubicado en la parroquia Santa Rosa de Cuzubamba en el cantón Cayambe, en la comuna Chinchiloma, específicamente en el "Sector 3". Este lugar cuenta con un suelo que es apto para cultivos, que luego son consumidos por los mismos habitantes. El clima oscila en los 10°C y 25°C, por esta razón a inicios del año recibe precipitaciones de mayor cantidad. En este lugar no existe gran fauna nativa a excepción de los animales que son de crianza de la población que habita en este lugar. Debido a la gran pendiente que tiene por sus montañas existen problemas de distribución de agua potable.



**Figura 2.1.** Ubicación del componente

**Fuente:** Google Earth

### **2.1.2 Visitas técnicas**

En la primera visita técnica se realizó el levantamiento de información de puntos georreferenciados, utilizando un GPS de mano desde el comienzo de la red de distribución ubicada en la planta de tratamiento de Chinchiloma. Fue indispensable la ayuda del operador de la planta de tratamiento, quien llevaba trabajando 8 años en la planta y, por ende, ya conocía las diferentes redes que existen en dicho lugar. Se tomó varios puntos de interés en diferentes coordenadas mediante el GPS.

En la segunda visita técnica, se instaló el flujómetro ultrasónico en la red de distribución del sector 3 con los debidos requerimientos y ayuda del operador de la planta. En la tercera visita, se procedió a quitar el equipo de la tubería y se descargó los datos que midió en los días establecidos.

### **2.1.3 Datos de población**

Los datos poblacionales se obtuvieron en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de Santa Rosa de Cuzubamba, en el cual se evidenció que existen censos desde el año 1950 hasta el 2010 cada uno con sus respectivos habitantes, estos datos fueron generados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC).

### **2.1.4 Recorridos con GPS**

En el recorrido con el GPS de mano se desarrolló un trazado de la línea de distribución del barrio "Sector 3", con ayuda del operador de la planta de tratamiento, quien fue el guía que iba mostrando el camino por donde están las redes de distribución de este sector, adicionalmente indicó los diferentes accesorios que existen en las redes y los diferentes diámetros de tuberías. El GPS se configuró en coordenadas UTM y se presionó la tecla "Quit" para salir. Luego, para tomar los puntos de interés se presionó en la tecla "mark", en donde no fue necesario cambiar el nombre de estos. Finalmente se escogió la opción "hecho" y se presionó la tecla "enter" para que se queden guardados los puntos tomados. Para tomar los "tracks" en el GPS, se escogió la opción de "track manager", en el cual se tuvo que suprimir el "track" actual que había anteriormente. Se procedió a recorrer todo el trayecto de la red de distribución para que vaya tomando la sucesión de puntos y al finalizar el recorrido, nuevamente se escogió la opción de "track manager" y luego en la opción guardar "track" para que se queden registrados.

### **2.1.5 Topografía con restitución**

Con el fin de generar una topografía de restitución en el trazado de la línea de conducción, con base en ortofotografías existentes del Sector 3, se instaló la aplicación de “Plex-earth” y se abrió el software “Civil 3D”, en donde se agregaron las distintas funciones que tiene “Plex-earth”, en el cual se escogió la opción de Import terrain y se seleccionó todo el dibujo del perfil con las redes de distribución. Luego se realizó los ajustes en la opción de civil tridimensional y se modificó los contornos para las curvas de nivel. Se generaron las curvas de nivel encima del trazado de las líneas de distribución, con el propósito de obtener un mejor diseño en el plano.

### **2.1.6 Aforo de caudal**

Se utilizó un flujómetro ultrasónico Valuestore USF-100 para la medición de caudales, su proceso se basa en emitir y recibir señales de ultrasonido desde un par de transductores y la utilización de un gel para eliminar el aire que pueda existir entre los transductores y la tubería. De esta manera, se pudo verificar la discrepancia del tiempo en que se transmiten las señales aguas arriba y aguas abajo por la tubería. Al medir la diferencia en el recorrido y conocer el diámetro de la tubería, el equipo puede determinar la velocidad y el flujo. Para el aforo de caudales, se realizó una conexión para conectar el cargador del flujómetro ultrasónico. Después, se procedió a colocar los cables de los transductores del medidor ultrasónico. Al tener ubicados correctamente los cables, se ejecutó la colocación de los transductores siendo el color rojo aguas arriba y el color azul aguas abajo, debido a que se debe tomar en cuenta la dirección del flujo del caudal. Para la instalación de los transductores, se necesitó el gel que fue colocado en el conducto que salía del tanque de distribución, en donde se tuvo que medir el diámetro de la tubería mediante un flexómetro y el equipo automáticamente entrega el dato de espaciamiento que debe tener entre los transductores, para empezar a medir.

Luego, se prosiguió a configurar el equipo para medir el caudal, en donde pide que se especifique el diámetro de la tubería, el espesor de la misma, material, recubrimiento de pintura, tipo de fluido, tipo de transductores, método, separación entre los transductores y diámetro interno que es calculado por el equipo mismo, al finalizar la configuración del equipo se regresa al menú principal. Luego, se configuró el equipo para guardar los datos en la memoria interna del equipo. Después, se colocó la hora, fecha y el intervalo de tiempo en el cual se programó que registre datos cada cinco minutos. Al finalizar, se escogió la opción de “enter” y se empezaron a grabar los datos.

Una vez que se grabaron los datos, estos se extrajeron mediante un cable serial de conexión USB, desde el equipo ultrasónico hasta la computadora. Se necesitó del software de "PuTTY" para descargar los datos, que fueron grabados por un archivo ".log". Al realizar estas configuraciones, se desplegó una pantalla de cuadro de diálogo en el que se tuvo que colocar el comando "DUMP" para que prosiga a descargar los datos y trasladarlos a un bloc de notas. Finalmente, el equipo otorgará datos de caudal, velocidad de flujo, fecha y hora en el que se tomó cada dato del caudal y el volumen de agua consumido por los habitantes.

## **2.2 Evaluar hidráulicamente la infraestructura de las redes de distribución**

### **2.2.1 Procesamiento de información de campo**

Se abrió la aplicación de "MapSource", para trasladar los "waypoints" del GPS tomados en el sector 3 de la comuna Chinchiloma, luego se abrió una hoja de Excel para pegar los datos que se generaron en "MapSource", en el cual se colocó en columnas separadas el número de puntos, coordenada este, coordenada norte y coordenada zeta que es la responsable de medir la altura o elevación. Después, se concatenaron los datos que fueron separados por comas, para que sean trasladados a un bloc de notas y proceder a guardar el archivo con el nombre de "waypoints". Luego, se abrió el software de Civil 3D para insertar los puntos del archivo que previamente se guardó. Seguido, se abrió una ventana en donde se debe escoger la opción de PENZ (delimitado por comas) y se creó un grupo para los puntos, con el nombre de "waypoints", después se pudo observar el gráfico de los puntos propuestos, en el que corresponden al trayecto recorrido de la línea de distribución de agua potable del Sector 3. Luego, se añadieron los "tracks", que son la sucesión de puntos que fue tomando el GPS a lo largo del recorrido, con los datos generados en "mapsources", en donde se copiaron los puntos y se pegaron en una hoja de cálculo. Aquí se ordenaron los datos en número de punto, este, norte y elevación, para concatenar estos datos y pasarlos a un bloc de notas. Se creó un grupo para los puntos con el nombre de "tracks", en donde se graficaron los puntos por los "waypoints".

Después, se trazó una polilínea por los puntos previamente graficados, para tener más exactitud, se encendió la opción del mapa aéreo para observar la ortofotografía, esto con la finalidad de verificar si los puntos están correctos por la línea de abasto e ir trazando una polilínea desde la planta de tratamiento, la cual era el principio de la línea de abasto hasta una "y", en donde era el comienzo de dos líneas de distribución. Así mismo, se trazó otra polilínea desde el comienzo de las dos redes de distribución hasta el final de estas. Se

procedió a crear dos perfiles, en el cual se hizo un alineamiento de color verde, de los puntos de la red de distribución hasta llegar a la “y” donde comienzan las dos redes, a esta se colocó el nombre de red sector 3-1. Para crear el segundo perfil, de igual manera, se hizo un alineamiento para las dos redes de distribución, a este se lo llamo red sector 3-2. Los ejes izquierdo y derecho de los perfiles, indicaban la elevación, a los cuales se les colocó una distancia adecuada, para una mejor visualización de los puntos de interés.

Se colocaron los datos de cotas y abscisas de accesorios, para obtener las distancias entre la abscisa y el punto de accesorio. Con los datos obtenidos de las distancias, se procedió a colocar líneas en las abscisas del perfil 1, con el comando distancia, la línea se colocó hacia la derecha con la distancia obtenida, y se trazó una línea en la abscisa para ver la intersección con el perfil. Seguido, se realizó el mismo procedimiento para el perfil 2 de las dos redes de distribución.

Se procedió a colocar la estación y la elevación de los puntos intersecados con las líneas trazadas previamente en los dos perfiles, este proceso se lo realizó con la opción de agregar etiquetas de vista y luego con la opción de estación y elevación, esto se realiza en todos los puntos tomados con descripción de los accesorios.

Una vez que se realizó la topografía por restitución se procedió a cortar la polilínea en accesorios, en este caso fue necesario colocar nodos cada 100 metros de las abscisas hasta el final de las redes de distribución. Luego, se procedió a separar solamente las redes de distribución a una nueva hoja de dibujo en el “Civil 3D”. Se guardó el archivo en tipo “dxf”. Después, se abrió la aplicación “EpaCAD” para configurar el archivo en el que se escogió la opción del layer, en el modo vertex y guardarlo como tipo de archivo “inp”. Este proceso fue necesario para abrir el archivo en el software Epanet 2.0 vE, en el que posteriormente se dibujan las redes de distribución separadas por accesorios.

### **2.2.2 Cálculo de caudales**

En una hoja de cálculo se colocaron los datos de los habitantes y el año correspondiente, para realizar una curva de crecimiento poblacional en la que se relacionó al eje de las abscisas con los años y al eje de las ordenadas con el número de habitantes de cada año. Se escogió la opción de insertar gráfico lineal y se agregaron los datos descritos anteriormente, para observar la forma del crecimiento poblacional debido a que existen varios métodos para obtener la población futura como el método lineal, geométrico y logarítmico, cada una con su respectiva ecuación. Para obtener la población futura, se tuvo que calcular “Kg”, el cual significa la tasa de crecimiento poblacional, con la siguiente ecuación (Ver ecuación 2.1.).

$$Kg = \frac{\ln(Puc) - \ln(Pci)}{(Tuc - Tci)}$$

**Ecuación 2.1.** Tasa de crecimiento poblacional por método logarítmico

En donde:

*Kg*: Tasa de crecimiento poblacional

*Puc*: Población de último censo

*Pci*: Población del censo inicial

*Tuc*: Año del último censo

*Tci*: Año del censo inicial

Se realizó un “kg” promediado de todos los años censados en el INEC en la parroquia de Santa Rosa, para colocarlo en la ecuación de población futura que se detalla a continuación. La población futura se calculó en base al número de habitantes del último censo en el sector 3 de la comuna Chinchiloma, utilizando el kg promedio, luego se estimaron los años a proyectar desde 2025 hasta 2055 y se utilizó el año del último censo (Ver ecuación 2.2.).

$$Pf = Puc * e^{\overline{Kg} (Tf - Tuc)}$$

**Ecuación 2.2.** Población futura

En donde:

*Pf*: Población futura

*Puc*: Población de último censo

$\overline{Kg}$ : Tasa de crecimiento poblacional promedio

*Tf*: Año de la proyección

*Tuc*: Año del último censo

Para realizar los cálculos de caudales, se inició con el caudal medio diario haciendo uso de la ecuación detalla a continuación (Ver ecuación 2.3.).

$$Q_{md} = \frac{Pf * Dot}{86400}$$

**Ecuación 2.3.** Caudal medio

En donde:

$Q_{md}$ : Caudal medio diario (l/s)

$P_f$ : Población futura (hab)

$Dot$ : Dotación (l/hab\*día)

Se necesitó la población futura calculada en base a los años a proyectar, en donde este dato se multiplicó por la dotación estimada y se dividió para el factor de 86400. La dotación estimada se basó en lo determinado por la Norma para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones mayores a 1000 habitantes del Código Ecuatoriano, en donde se escogió un número grande de la siguiente tabla (Ver tabla 2.1.), tomando en cuenta los habitantes de la comunidad y el clima del Sector 3.

**Tabla 2.1.** Estimación de dotaciones de agua

<b>Población (Habitantes)</b>	<b>Clima</b>	<b>Dotación media (l/Hab*día)</b>
Hasta 5000	Frío	120-150
	Templado	130-160
	Cálido	170-200
5000 a 50000	Frío	180-200
	Templado	190-220
	Cálido	200-230
Más de 50000	Frío	>200
	Templado	>220
	Cálido	>230

Para obtener el caudal máximo diario, se multiplicó el caudal medio por el coeficiente de consumo máximo diario ( $K_1$ ) establecidos en la Norma de Diseño de Sistemas de Agua Potable para la EPMAAP, en este caso se tomó en cuenta que es una zona rural y se lo realizó mediante la siguiente ecuación (Ver ecuación 2.4.).

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

**Ecuación 2.4.** Caudal máximo diario

En donde:

$Q_{MD}$ : Caudal máximo diario (l/s)

$Q_{md}$ : Caudal medio diario (l/s)

$k_1$ : Coeficiente de consumo máximo diario (1,25 para ciudades y 1,4 para parroquias)

Para la obtención del caudal máximo horario, el procedimiento consistió en multiplicar el caudal máximo diario por el coeficiente de consumo máximo horario ( $K_2$ ), de la misma forma tomando en cuenta que es una zona rural, utilizando la siguiente ecuación (Ver ecuación 2.5.).

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

#### **Ecuación 2.5.** Caudal máximo horario

En donde:

$Q_{MH}$ : Caudal máximo horario (l/s)

$Q_{MD}$ : Caudal máximo diario (l/s)

$k_2$ : Coeficiente de consumo máximo horario (1,5)

Para el cálculo del caudal específico necesario para el método de evaluación de redes de distribución, se dividió el caudal máximo horario, para la distancia total de distribución correspondiente al Sector 3, en este caso como se tenía dos líneas de distribución, se sumaron las abscisas que estaban en el comienzo de las dos líneas de distribución y al final de las dos líneas, en donde la abscisa del final fue multiplicada por dos, de esta manera se obtuvo la longitud total, utilizando la siguiente ecuación (Ver ecuación 2.6.).

$$Q_e = \frac{Q_{MH}}{L}$$

#### **Ecuación 2.6.** Caudal específico

En donde:

$Q_e$ : Caudal específico (l/s)

$Q_{MH}$ : Caudal máximo horario (l/s)

$L$ : Longitud total de distribución

### 2.2.3 Verificación de presiones, velocidades y caudales en Epanet 2.0 vE por normativa vigente

En el software de Epanet se abrió el documento previamente guardado en formato “inp”, en el que solo contenía el trazado de las líneas de distribución. En las tuberías, se colocaron los diámetros recolectados en la visita técnica. Posteriormente, se obtuvo el dato de las longitudes de cada tramo de tubería de las dos líneas de distribución, este dato se visualizó en la tabla de descripciones, en el software de Epanet. Luego, en una hoja de cálculo de Excel, se anotaron los datos de las longitudes de distribución de cada tramo de la tubería, por el método de longitudes equivalentes, que se basa en añadir a la distancia real de la tubería una longitud que corresponda a la pérdida de presión que se produce en los componentes de la tubería. A cada segmento de tubería se le otorgó una longitud extra imaginaria, en este caso esta longitud fue otorgada por el software de Epanet, en el trazado de la línea de conducción. Seguidamente, se calculó el caudal que tendrá cada nodo de la red de suministro de agua potable, mediante el caudal específico y la longitud de cada tramo de tubería, y se hizo una suma total de todos los caudales. Se prosiguió a colocar las cotas, este dato se obtuvo por medio de los perfiles en el que contenían la estación y la elevación de los puntos de interés y los cortes que se hicieron en la línea de distribución cada 100 metros. El dato de las cotas, también se colocó en una hoja de cálculo con su respectiva descripción. Después, se procedió a colocar la ecuación de pérdidas de Darcy Weisbach en opciones de hidráulica con el respectivo coeficiente de rugosidad, debido a que tiene varios coeficientes que corresponden a diferentes tipos de material de tubería. El coeficiente de rugosidad fue establecido en base a la Normativa de la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable (EPMAAP).

**Tabla 2.2.** Coeficiente de rugosidad-Ecuación de Darcy Weisbach

<b>Coeficientes de rugosidad</b>	
<b>Material de tubería</b>	<b>Coeficiente Ks (mm)</b>
PVC	0,12
Polietileno de alta densidad	0,12
GRP (Fibra de vidrio)	0,12
CCP (Concrete cylinder pipe)	0,24

Para realizar el análisis hidráulico en el software de Epanet, se colocó un tanque al inicio correspondiente a la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de la red de distribución que estaba conectado por una tubería de longitud de 1 metro al primer nodo de la línea de distribución. Al finalizar de configurar todos los datos obtenidos, se añadieron

las etiquetas de valores de nudos y líneas para que se muestren en el plano los datos de interés. Una vez que se mostraron los datos en las líneas de distribución, se inició con el análisis hidráulico y se procedió a proponer mejoras en base a los resultados del análisis ejecutado en el software, respectivos para los dos tipos de modelos.

#### **2.2.4 Generación de información planimétrica (Planos)**

Una vez que se obtuvo la topografía por restitución, se necesitó obtener la topografía con datos de las elevaciones en las curvas de nivel mayores. En primer lugar, se seleccionó la topografía, en añadir etiquetas, se escogió la opción de múltiples contornos en un intervalo para que ponga las curvas de nivel al mismo tiempo, luego se trazó una línea sobre las curvas de nivel para que les ponga el dato de la distancia. Se escogió previamente el formato del plano y se procedió a rotular, este valor de escala tiene su respectivo tamaño de letra, para que sea visualizado en el plano. En el software de Civil 3D, se cambió el tamaño de la letra. Luego, en añadir etiquetas, se editó el estilo solo en los datos mayores, luego se escogió la superficie, se trazó nuevamente la línea sobre las curvas de nivel para que se actualicen los datos. Después, se cambió el tamaño de letra de las abscisas para que concuerde con los datos de curva de nivel. Se modificó el texto de las descripciones de los puntos de interés para hacerlo más abreviado y que contengan la abscisa a la que corresponden, debido a que luego se apagarán los puntos en los que estaban ubicados, seguido se optó por modificar el signo de los puntos de interés para realizar una leyenda. Posteriormente, se cambió de tipo de hoja para realizar el enlaminado, en donde apareció un recuadro que se tuvo que modificar a las condiciones requeridas para el formato que se escogió para colocar las líneas de distribución con las curvas de nivel y el perfil que también tuvo sus modificaciones para que los datos estén ordenados. Después, se exportó el dibujo a AutoCad normal con el comando export C3D Drawing y se guardó el documento en la versión 2018, en donde para diferenciarlo de la versión Civil viene predefinido el nombre de ACAD para identificarlo como el AutoCad normal, se grabó el documento porque este se exporta hasta donde fue guardado por última vez. En la lámina de dibujo, se colocó el norte, esta función podía hacer que rote el dibujo para poder visualizarlo mejor y por último se colocó la barra de sistema de referencias solamente en el trazado de las líneas de distribución y finalizar el enlaminado.

## **2.3 Propuesta de mejoras en base a los resultados de evaluación hidráulica**

### **2.3.1 Elaboración de informe técnico**

Con base en los resultados de la evaluación hidráulica se pudo notar que existen problemas de presiones que no cumplen con la normativa de la EPMAAP-Q, puesto que, exceden al límite máximo en los dos tipos de modelo, estático y dinámico.

Para la propuesta de mejoras, se realizó simulaciones hidráulicas adicionales en el software de Epanet, en el cual se basó en agregar válvulas reguladoras de presión en los nodos que tenían una presión demasiado alta. Para este proceso se tuvo que eliminar la tubería ya existente y colocar un nuevo nodo en donde se requería bajar la presión para que cumpla con normativa, en este nuevo nodo se colocará una válvula reguladora de presión. Al colocar la nueva válvula, se configuró el diámetro, el coeficiente de pérdidas correspondiente a la ecuación de Darcy Weisbach y la consigna que es la que indica a que presión se desea llegar para cumplir con las condiciones idóneas, establecidas en la normativa de la EPMAAP-Q. Este proceso fue realizado en los dos tipos de modelo para regular la presión en toda la red de distribución y así mismo verificar si cambia la velocidad del agua.

Con la propuesta de mejoras, se podrá fortalecer la red de distribución de agua potable del Sector 3 en la comuna Chinchiloma para que los habitantes no tengan inconvenientes a la hora de adquirir este líquido vital y tengan un suministro de agua eficiente y seguro.

## **3 RESULTADOS**

### **3.1 Levantamiento de información**

El levantamiento de información fue de suma importancia para realizar el análisis hidráulico de la red de distribución del Sector 3. Se utilizó el GPS para obtener las coordenadas de 8 puntos de interés y realizar el respectivo trazado en Civil 3D para posteriormente trasladarlo a Epanet y proponer mejoras en presiones y velocidades en base a la normativa de la EPMAAP-Q.

#### **3.1.1 Visitas técnicas**

Se realizaron tres visitas técnicas para llevar a cabo el proyecto, en la primera visita técnica, se obtuvo el trazado de la red de distribución, en la que se evidenciaron ocho puntos de interés a lo largo del recorrido. Uno de los datos interesantes que mencionó el operador en esta visita fue que los habitantes no tienen cisternas, en este caso es importante que tengan almacenado cierta cantidad de agua para casos de emergencia. El operador indicó que tienen problemas de presión con el agua, debido a que, en algunos casos tienen presiones muy altas que tienden a romper las tuberías y por ende están obligados a cerrar la válvula del medidor. En otras ocasiones tienen presiones muy bajas que no permite que llegue agua potable a las casas de algunos habitantes, por lo mismo se realizó un registro fotográfico de estos puntos de interés (Ver anexo 2).

En la segunda visita técnica, se colocó el flujómetro ultrasónico para medir el caudal que se distribuye en el Sector 3, en el cual se dejó 4 días para obtener los datos suficientes correspondientes a cada día, y poder localizar posibles fallas. En la última visita, se obtuvo los resultados del consumo que tiene el sector 3 al día, los cuales fueron descargados en una computadora para realizar las gráficas de curvas de consumo correspondientes a cada día.

#### **3.1.2 Recorridos con GPS**

En el recorrido con el GPS, se demostraron ocho puntos de interés que correspondían al inicio de la distribución, cambios de diámetro de tubería, válvulas rompe presión el cual tenían el dato de ingresar con 100 psi y salir con 30 psi y cambios de una a dos tuberías. La descripción de estos puntos se encuentra detallada en la tabla 3.1 y mismos que fueron colocados en el trazado de la línea de conducción (Ver figura 3.1).

La red de distribución está conformada por una tubería de 50 mm y una válvula reguladora de presión correspondiente al inicio de la distribución. Seguido, se evidenció la separación

de dos tuberías que iniciaban con el diámetro de 25 y 32 mm y finalizaban con 25 mm. El operador mencionó que solo una de estas tuberías contenía una válvula reguladora de presión y la otra no, por la misma razón no cumplían en diferentes puntos de la línea de distribución, los estándares de presión de agua con la normativa de la EPMAAP-Q.

**Tabla 3.1.** Descripción de puntos de interés

N°	N° de Puntos	Este	Norte	Zeta (m)	Descripción
1	561	803901	9995435	2882	Empieza la línea de distribución
2	560	803611	9995326	2824	Línea recta desde el comienzo de distribución
3	559	803417	9995317	2796	Cambio de diámetro de tubería de 50 mm
4	558	803027	9995416	2733	Válvula reguladora de presión
5	557	802776	9995561	2693	Cambio de red a una sola tubería de 50 mm
6	556	802589	9995617	2656	Válvula reguladora de presión
7	555	802334	9995675	2606	2 tuberías de 25 mm y 32 mm
8	554	802332	9995673	2606	2 tuberías de 25 mm y 1" a una distancia de 1,50 m del bordillo



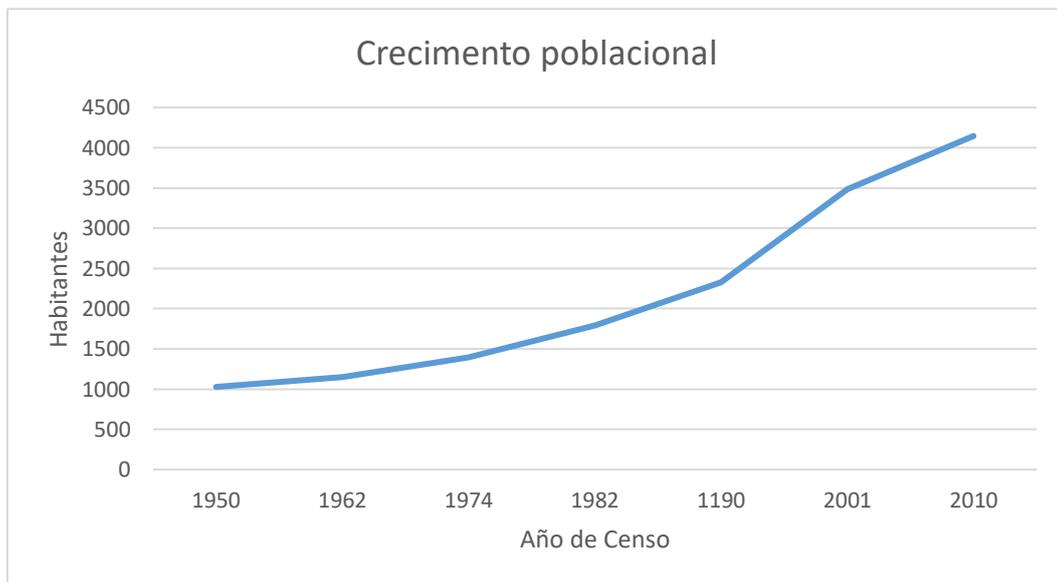
**Figura 3.1.** Colocación de puntos de interés en trazado de línea de conducción visto por mapa aéreo

### 3.1.3 Datos de la población

Para obtener la población futura, se utilizó el método logarítmico, debido a que, al realizar la gráfica en la hoja de cálculo, se obtuvo por resultado una gráfica logarítmica. En la gráfica se utilizó el año de censos desde 1950 hasta el 2010, cada uno con sus respectivos habitantes, los mismos que se pueden observar en la figura 3.2. Los datos poblacionales fueron obtenidos del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de Santa Rosa de Cuzubamba que fueron generados por el INEC (Ver tabla 3.2).

**Tabla 3.2.** Datos poblacionales obtenidos del PDOT de Santa Rosa de Cuzubamba

Año de censos	Habitantes
1950	1027
1962	1150
1974	1392
1982	1794
1990	2326
2001	3487
2010	4147



**Figura 3.2.** Crecimiento poblacional mediante método logarítmico

### 3.1.4 Aforo de caudales

Para la programación del equipo fue necesario configurarlo con los siguientes datos, para la tubería que sale del tanque colocar el diámetro de 63 mm, espesor de la pared 3 mm, diámetro interno 57 mm, el material de la tubería de PVC, tubería sin recubrimiento, el tipo de flujo que maneja, en este caso agua, el tipo de transductores que se utilizó fue Ts2,

puesto que son para tuberías pequeñas, el espacio entre transductores fue de 39,69 mm y se lo realizó mediante el método V para que el sonido atravesase el tubo dos veces.



**Figura 3.3.** Configuración de flujómetro ultrasónico

**Fuente:** Propia

El flujómetro ultrasónico, realizó la medición de caudales a la salida de la tubería del tanque correspondiente al sector 3, el cual tenía un volumen de  $40 \text{ m}^3$ , dicho dato mencionado por el operador de la planta. El equipo comenzó a medir un caudal máximo horario de  $0,9 \text{ l/s}$ , y esto tenía sentido, puesto que no era una hora de consumo máximo, lo que sucedería al ser una hora demandada es que el consumo del caudal subiría y cumpliría con lo establecido.

### Curva de consumo

Al descargar los datos que se tomaron del flujómetro durante un día cada 5 minutos, se ordenaron en una hoja de cálculo de Excel, mediante la hora, caudal y porcentaje para poder realizar el gráfico de curva de consumo, en el cual se estableció para el eje “x” las horas y para el eje “y” el caudal que consumen (Ver figura 3.4). Al realizar la tabla con los datos obtenidos por el equipo, se puede deducir que hay un caudal mínimo de alrededor de  $0,27 \text{ l/s}$ , este valor podría ser ocasionado por pérdidas de agua, ya sea por rotura de tuberías o fugas en la red de distribución (Ver tabla 3.3).

**Tabla 3.3.** Datos obtenidos por flujómetro ultrasónico

Fecha	Hora		Caudal	
2/2/2024	0	1	0,300	2%
	1	2	0,272	2%
	2	3	0,311	2%
	3	4	0,316	2%

	4	5	0,501	3%
	5	6	0,709	4%
	6	7	0,868	6%
	7	8	0,611	4%
	8	9	0,620	4%
	9	10	0,770	5%
	10	11	1,413	9%
	11	12	1,091	7%
	12	13	0,698	4%
	13	14	0,563	4%
	14	15	0,605	4%
	15	16	0,646	4%
	16	17	0,688	4%
	17	18	1,084	7%
	18	19	0,814	5%
	19	20	0,888	6%
	20	21	0,663	4%
	21	22	0,579	4%
	22	23	0,463	3%
	23	24	0,305	2%
<b>TOTAL</b>				100%



**Figura 3.4.** Curva de consumo diaria

En la curva de consumo diaria que se estableció entre los días jueves y viernes, se observa que hay una mayor demanda al mediodía, esto puede deberse a que es un horario en que los habitantes realizan diversas actividades como cocinar, lavar o ducharse. Luego, el caudal de consumo disminuye significativamente alrededor de las 14:00 horas y vuelve a aumentar a las 18:00 horas, debido que regresan de realizar sus actividades cotidianas y requieren de este líquido vital.

**Tabla 3.4.** Caudales otorgados por el flujómetro ultrasónico

<b>Caudales</b>	
<b>Caudal mínimo</b>	0,23 l/s
<b>Caudal medio diario</b>	0,73 l/s
<b>Caudal máximo horario</b>	1,80 l/s

Los resultados obtenidos por el flujómetro se muestran en la tabla 3.4, en el cual se realizó un promedio del caudal medio diario con los caudales que se obtuvo durante un día, se pudo observar que el caudal máximo horario excede con el caudal teórico que se calculó previamente de 1,18 l/s. Se obtuvo el volumen de agua consumido al día por los habitantes del Sector 3 que es de 62,01 m<sup>3</sup>, desde las 9 am del día 01 de febrero hasta las 9 am el 02 de febrero.

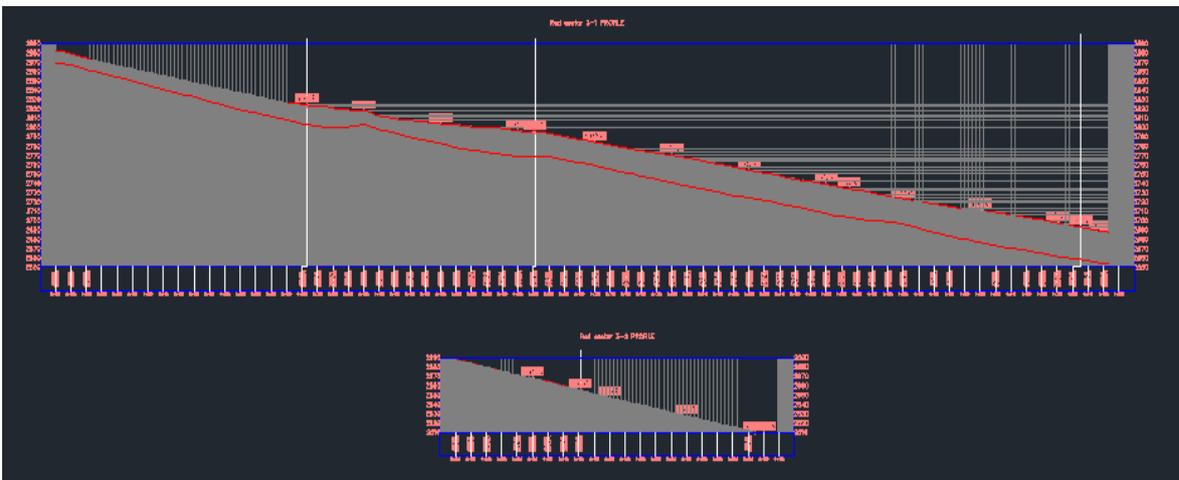
## **3.2 Evaluación hidráulica de la infraestructura de las redes de distribución**

### **3.2.1 Procesamiento de información de campo**

Se exportaron los datos recopilados en la primera visita técnica del GPS al software de Civil 3D, para realizar el trazado de la línea de abasto de agua del Sector 3, la cual tenía una longitud total de 2225,18 metros (Ver figura 3.5). Al realizar el perfil de la línea de distribución del Sector 3, se tuvo que realizar dos perfiles, puesto que, había una división de tuberías para abastecer a dos lugares de este sector (Ver figura 3.6). Esta división de tuberías comenzó en la abscisa 1+330,65, en el que también se evidenció el cambio de tubería de 50 mm de diámetro a 25 y 32 mm correspondientes a las dos tuberías, a una elevación de 2692,87 m.s.n.m. Dichas tuberías finalizaron en la abscisa 0+400 del segundo perfil, a una altura de 2610,04 m.s.n.m. Para realizar la simulación hidráulica, se realizó una separación cada 100 metros basándose en las abscisas de la línea de distribución para analizar las presiones en cada punto de interés.



**Figura 3.5.** Red de distribución del Sector 3



**Figura 3.6.** Perfiles del trazado de la línea de distribución del Sector 3

Se añadieron nodos cada 100 metros además de los puntos de interés recolectados en la visita técnica con la finalidad de verificar presiones, velocidades y el caudal en cada uno de ellos. Adicionalmente, se obtuvo la elevación, abscisas y la descripción de estos puntos (Ver tabla 3.5).

**Tabla 3.5.** Elevaciones y abscisas de puntos de interés

ID	Elevación	Abscisa	Descripción
n1	2689,14	1+355,07	Inicio de tubería 1
n2	2668,07	0+100	Nodo-Separación cada 100 metros
n3	2654,93	0+162,29	Válvula reguladora de presión
n4	2647,31	0+200	Nodo-Separación cada 100 metros
n5	2627,03	0+300	Nodo-Separación cada 100 metros
n6	2610	0+388,22	Dos tuberías (tubería de 25 mm)
n7	2610	0+419	Fin de 1 tubería (25mm)

n8	2686,88	1+368,01	Inicio tubería 2
n9	2668,07	0+100	Nodo-Separación cada 100 metros
n10	2654,93	0+160	Implemento de válvula reguladora de presión
n11	2647,31	0+200	Nodo-Separación cada 100 metros
n12	2627,03	0+300	Nodo-Separación cada 100 metros
n13	2610	0+388,22	Dos tuberías (tubería de 32 mm)
n14	2610	0+419	Fin de 2 tubería (25 mm)
n15	2896	0+000	Inicio tanque de almacenamiento
n16	2824	0+326,34	Línea recta empieza la línea de distribución
n17	2816,99	0+400	Nodo-Separación cada 100 metros
n18	2803,55	0+500	Nodo-Separación cada 100 metros
n19	2796,29	0+600	Nodo-Separación cada 100 metros
n20	2795,23	0+622,15	Nodo-Tubería por debajo de las casas
n21	2784,13	0+700	Nodo-Separación cada 100 metros
n22	2769,92	0+800	Nodo-Separación cada 100 metros
n23	2753,95	0+900	Nodo-Separación cada 100 metros
n24	2738,57	1+000	Nodo-Separación cada 100 metros
n25	2734,24	1+029,89	Válvula reguladora de presión
n26	2723,6	1+100	Nodo-Separación cada 100 metros
n27	2710,71	1+200	Nodo-Separación cada 100 metros
n28	2697,64	1+300	Nodo-Separación cada 100 metros
n29	2692,87	1+330,65	Cambio de red a una sola tubería

### 3.2.2 Cálculo de caudales

#### Tasa de crecimiento poblacional

Al obtener los datos de la población de la parroquia, se procedió a calcular las tasas de crecimiento poblacional con la ecuación 2.1, en el cual se obtuvieron 6 tasas de crecimiento. Dichas tasas se calcularon entre los años 2010-1950, 2010-1962, 2010-1974, 2010-1982, 2010-1990 y 2010-2001. Al obtener los resultados de cada año, se prosiguió a desarrollar un promedio de las tasas obtenidas.

**Tabla 3.6.** Tasa de crecimiento poblacional promedio

Kg	
2010-1950	0,02
2010-1962	0,03
2010-1974	0,03
2010-1982	0,03
2010-1990	0,03
2010-2001	0,02
Promedio	<b>0,03</b>

En el cálculo de la población futura se utilizaron los habitantes actuales del sector 3, mismos que son de 130 usuarios que fueron registrados por el INEC en el último censo que fue realizado en el 2023, este dato fue otorgado por la presidenta de la junta de la comuna. Se necesitó la tasa de crecimiento poblacional promediada con una proyección de 30 años, que se realizó desde el año 2025 hasta el 2055, en el cual la población aumentará notoriamente, siendo esta aproximadamente de 303 habitantes.

**Tabla 3.7. Población futura**

<b>Población proyectada</b>	
2025	137
2030	156
2035	178
2040	204
2045	232
2050	265
2055	303

### **Estimación de dotación**

Se estimó la dotación que está establecida por la Norma para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes del Código Ecuatoriano. En el cual se tomó en cuenta el clima de la comunidad que está determinado en el Plan de Ordenamiento Territorial (PDOT) de Santa Rosa de Cuzubamba, siendo este un clima templado que no sobrepasa los 25°C, para población hasta de 5000 habitantes, debido a que es una zona rural y, por lo tanto, no existe demasiada población. Después de determinar las condiciones requeridas, se debe establecer la dotación máxima entre 130-160, en el que se optó por 160 l/hab\*día.

### **Caudal medio**

El caudal medio fue necesario para obtener el caudal máximo diario. Este caudal se obtuvo utilizando la ecuación 2.3. en el que se utilizó la población futura del año 2055 con un total de 303 habitantes y el caudal medio que se proporciona en el Sector 3 es de:

$$Q_{md} = 0,56 \text{ l/s}$$

### **Caudal máximo diario**

Para el consumo máximo diario se tuvo que seleccionar el coeficiente de consumo máximo diario "k1" de 1,4 para parroquias establecido en la Normativa de la EPMAAP-Q, debido a que es una zona rural. El consumo máximo diario que se proporciona en el Sector 3 se obtuvo con la ecuación 2.4 y el resultado fue el siguiente:

$$Q_{MD} = 0,78 \text{ l/s}$$

### Caudal máximo horario

Para el consumo máximo horario, se seleccionó el coeficiente de consumo máximo horario “k2” de 1,5 en relación con el tamaño de la zona y de las características de consumo de los residentes, como lo indica en la Normativa de la EPMAAP-Q. El consumo máximo horario que se proporciona en el Sector 3 se obtuvo con la ecuación 2.5, teniendo como resultado lo siguiente:

$$Q_{MH} = 1,18 \text{ l/s}$$

Con los resultados obtenidos, se realizó una tabla comparativa de caudales (Ver tabla 3.8), en el que se estableció una dotación de 160 l/hab\*día indicado en el INEC, se pudo observar que el caudal máximo horario es mayor al establecido en el caudal teórico, sin embargo, el caudal medio y el caudal máximo diario son menores a los establecidos en el caudal teórico, los cuales fueron calculados con la población futura del año 2055 con un total de 303 habitantes. Esto se debe a que la zona de estudio se está convirtiendo en una zona urbana por lo que la dotación de agua puede incrementarse a 200 l/hab\*día.

**Tabla 3.8.** Comparación de caudales de consumo

	Caudales teóricos (l/s)	Caudales de equipo ultrasónico (l/s)
<b>Q medio</b>	0,56	0,23
<b>Q máximo diario</b>	0,78	0,73
<b>Q máximo horario</b>	1,18	1,80

### Caudal específico

Para el caudal específico, se seleccionó el caudal máximo horario y la longitud total de la línea de distribución que fue de 2225,22 metros. El resultado se obtuvo mediante la ecuación 2.6.

$$Q_e = 0,005 \text{ l/s}$$

Adicionalmente, se determinaron los caudales para cada nodo, mediante el caudal específico y la longitud de cada tramo de tubería que fue aportado por el software de Epanet. Luego, se realizó una sumatoria total de las longitudes para comprobar si es el mismo con el que se mostró en el software de Civil 3D cuando se realizó el trazado de la

línea de distribución y efectivamente en las dos cumplía con la misma longitud de tubería total de 2225,22 metros. Se realizó una sumatoria total de los caudales para cada nodo y el resultado fue de 1,18 l/s. Dichos caudales se encuentran detallados en la tabla 3.9. Estos datos serán de relevancia para realizar la evaluación hidráulica y verificar el cumplimiento de normativa en presiones y velocidades.

**Tabla 3.9.** Caudales para cada nodo de la línea de distribución del Sector 3

<b>Punto</b>	<b>Longitud de distribución</b>	<b>Caudal (l/s)</b>
L1	326,24	0,17
L2	73,76	0,04
L3	100	0,05
L4	100	0,05
L5	19,27	0,01
L6	80,73	0,04
L7	100	0,05
L8	100	0,05
L9	100	0,05
L10	31,63	0,01
L11	68,37	0,03
L12	100	0,05
L13	100	0,05
L14	22,09	0,01
L15	44,17	0,02
T1 L1	109,9	0,05
T1 L2	60,36	0,03
T1 L3	39,78	0,02
T1 L4	99,88	0,05
T1 L5	100,1	0,05
T1 L6	20,06	0,01
T2 L1	10	0,005
T2 L2	100	0,05
T2 L3	60	0,03
T2 L4	40	0,02
T2 L5	100	0,05
T2 L6	100	0,05
T2 L7	18,88	0,01
<b>Total</b>	<b>2225,22</b>	<b>1,176</b>

### 3.2.3 Evaluación hidráulica en Epanet 2.0 vE

#### Modelo Actual

#### Presiones

Al realizar el análisis hidráulico en el software de Epanet con los datos recolectados previamente, se obtuvieron resultados de presiones altas en toda la red, siendo estas mayores a 100 m.c.a, y por ende no cumplen con la normativa de la EPMAP-Q del título 7, teniendo esta un límite mínimo de 10 m.c.a en zonas rurales y que este en el modelo dinámico, el cual consiste en que los nodos tengan las demandas calculadas y un límite máximo de 60 m.c.a en el modelo estático que no debe tener demandas. En el nodo 15 se observa que no tiene demanda y la presión es menor al límite mínimo de 10 m.c.a, debido a que es el inicio de la tubería y está conectado con el tanque de almacenamiento (Ver tabla 3.10).

Al observar los resultados con el modelo dinámico (Ver anexo 3), se muestra que la presión máxima del nodo 13 y 14 llega a superar los 276 m.c.a, por ende, no cumple con normativa vigente, causando problemas a los habitantes del sector 3. De esta manera se optó por proponer mejoras en puntos estratégicos para que los habitantes tengan un suministro de agua eficiente y seguro.

**Tabla 3.10.** Presiones en modelo dinámico

	<b>Caudal</b>	<b>Presión</b>
<b>ID Nudo</b>	<b>LPS</b>	<b>m</b>
n1	0,02	198,35
n2	0,06	217,63
n3	0,03	230,2
n4	0,02	237,56
n5	0,05	257,36
n6	0,05	274,26
n7	0,01	274,25
n8	0,005	200,56
n9	0,05	218,92
n10	0,03	231,89
n11	0,02	239,43
n12	0,05	259,57
n13	0,05	276,57
n14	0,01	276,57
n15	0	0,01
n16	0,17	68,49
n17	0,04	74,92

n18	0,05	87,62
n19	0,05	94,21
n20	0,01	95,15
n21	0,04	105,78
n22	0,05	119,46
n23	0,05	134,97
n24	0,05	149,94
n25	0,02	154,16
n26	0,04	164,57
n27	0,05	177,15
n28	0,05	189,97
n29	0,01	194,69

En el modelo estático consistió en dejar la demanda en cero (Ver anexo 3), es decir sin caudales, para observar si la presión del agua cambiaba, y pues se siguieron observando presiones que exceden con el límite máximo y por lo tanto no cumplen con la Normativa de la EPMAAP-Q del título 7, puesto que estas sobrepasan el límite máximo de 60 m.c.a en el modelo estático, en toda la red. Se pudo observar que en los nodos 6, 7, 13 y 14, exceden la presión máxima con 286 m.c.a, incumpliendo con la normativa de la EPMAAP-Q. De igual forma, se notó que en el nodo 15 no existe presión de agua puesto que es el inicio de la tubería (Ver tabla 3.11).

**Tabla 3.11.** Presiones en modelo estático

<b>ID Nudo</b>	<b>Caudal LPS</b>	<b>Presión m</b>
n1	0	206,86
n2	0	227,93
n3	0	241,07
n4	0	248,69
n5	0	268,97
n6	0	286
n7	0	286
n8	0	209,12
n9	0	227,93
n10	0	241,07
n11	0	248,69
n12	0	268,97
n13	0	286
n14	0	286
n15	0	0
n16	0	72

n17	0	79,01
n18	0	92,45
n19	0	99,71
n20	0	100,77
n21	0	111,87
n22	0	126,08
n23	0	142,05
n24	0	157,43
n25	0	161,76
n26	0	172,4
n27	0	185,29
n28	0	198,36
n29	0	203,13

### Velocidades

En el análisis hidráulico se pudo observar que las velocidades están dentro del límite máximo que es de 3 m/s, utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach establecida en la normativa de la EMAAP-Q (Página 84), están relativamente bajas, puesto que tienen un caudal muy bajo (Ver tabla 3.12).

**Tabla 3.12.** Velocidades en modelo dinámico

	<b>Caudal</b>	<b>Velocidad</b>
<b>ID Línea</b>	<b>LPS</b>	<b>m/s</b>
Tubería p2	0,17	0,34
Tubería p3	0,14	0,28
Tubería p4	0,12	0,24
Tubería p5	0,06	0,13
Tubería p6	0,01	0,02
Tubería p7	0,22	0,28
Tubería p8	0,17	0,21
Tubería p9	0,14	0,17
Tubería p10	0,12	0,14
Tubería p11	0,06	0,08
Tubería p12	0,01	0,02
Tubería p13	1,18	0,6
Tubería p14	1	0,51
Tubería p15	0,97	0,49
Tubería p16	0,91	0,46
Tubería p17	0,86	0,44
Tubería p18	0,85	0,43
Tubería p19	0,81	0,41

Tubería p20	0,75	0,38
Tubería p21	0,7	0,36
Tubería p22	0,65	0,33
Tubería p23	0,63	0,32
Tubería p24	0,6	0,3
Tubería p25	0,54	0,28
Tubería p26	0,49	0,25
Tubería 1	0,48	0,24
Tubería 2	0,23	0,28
Tubería 3	1,18	0,6

### 3.2.4 Plano de distribución

Se realizaron dos planos, uno que corresponde al levantamiento de información de la línea de distribución del barrio “Sector 3” y otro correspondiente a la propuesta de mejoras que debería de realizarse en la red. Estos planos se realizaron en una escala de 1:2500, para que se observe toda la línea de distribución y en un formato de hoja A1 (Ver anexo 4).

## 3.3 Propuesta de mejoras

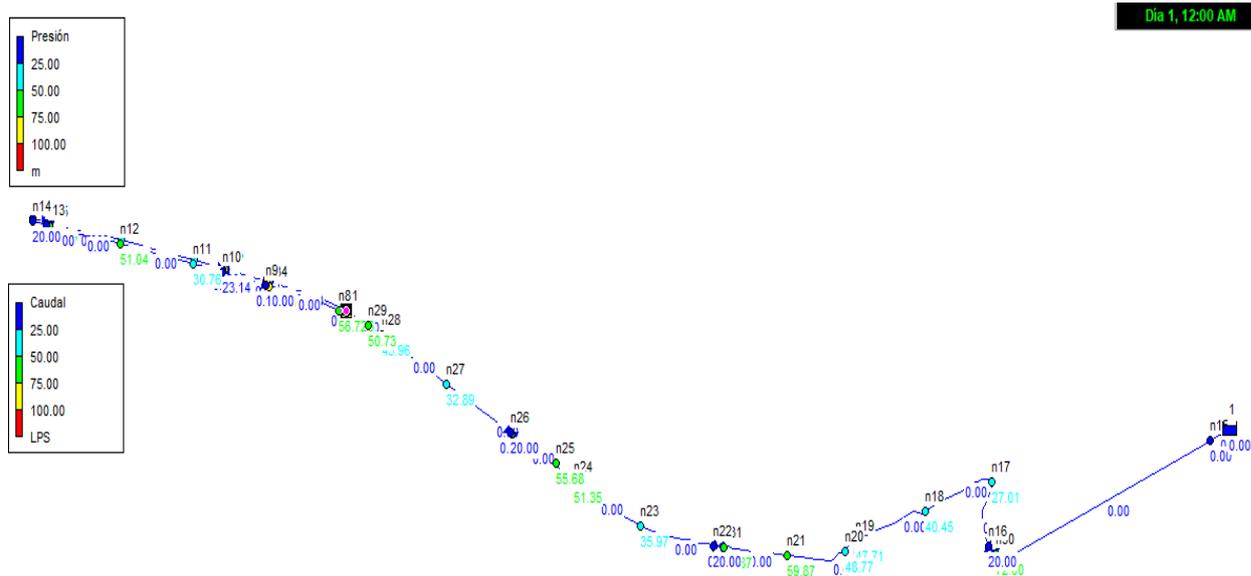
### Modelo estático con propuesta de mejoras

Después de realizar la evaluación hidráulica en el software de Epanet, se halló el problema de la línea de distribución del “Sector 3”, en donde surgió la propuesta de mejoras. Esta propuesta consistió en colocar 5 válvulas reguladoras de presión en puntos estratégicos, las cuales son después del nodo 36 y 34, puesto que ambos nodos tenían presiones alrededor de 70 m.c.a, entonces se pudo observar que al colocar las válvulas reguladoras de presión tienen una presión de 20 y de 10 m.c.a y están cumpliendo con el límite. Sin embargo, se observó que al seguir con la distribución de agua potable las presiones vuelven a subir. De esta manera, se colocó válvulas reguladoras de presión después de los nodos 35, 30 y 31, que tenían una presión mayor a 60 m.c.a y disminuyen significativamente a 10 y 20 m.c.a, en donde ya estarían cumpliendo con normativa, teniendo como límite mínimo de 10 m.c.a en zonas rurales. Después, se colocaron las válvulas reguladoras de presión ya existentes en la red, mismas que no eran suficientes para controlar la presión en toda la red. Estas válvulas estaban localizadas después del nodo 32 y 33, en donde se puede observar que la presión era de 66,32 y 88,67 m.c.a y ambas se reducen a 20 m.c.a, el cual ya cumple con el límite máximo de 60 m.c.a en el modelo estático establecido en la EPMAAP-Q (Ver figura 3.7). De esta manera, se

garantizará un funcionamiento efectivo del sistema y el suministro de agua adecuadamente a los habitantes.

**Tabla 3.13.** Propuesta de mejoras en modelo estático

	<b>Demanda</b>	<b>Presión con válvula reguladora de presión</b>
<b>ID Nudo</b>	LPS	m
Conexión n1	0,00	54,46
Conexión n2	0,00	75,53
Conexión n33	0,00	88,67
Conexión n3	0,00	20,00
Conexión n4	0,00	27,62
Conexión n5	0,00	47,90
Conexión n36	0,00	64,93
Conexión n6	0,00	20,00
Conexión n7	0,00	20,00
Conexión n8	0,00	56,72
Conexión n34	0,00	75,53
Conexión n9	0,00	10,00
Conexión n10	0,00	23,14
Conexión n11	0,00	30,76
Conexión n12	0,00	51,04
Conexión n35	0,00	68,07
Conexión n13	0,00	20,00
Conexión n14	0,00	20,00
Conexión n15	0,00	0,00
Conexión n30	0,00	72,00
Conexión n16	0,00	20,00
Conexión n17	0,00	27,01
Conexión n18	0,00	40,45
Conexión n19	0,00	47,71
Conexión n20	0,00	48,77
Conexión n21	0,00	59,87
Conexión n31	0,00	59,87
Conexión n22	0,00	20,00
Conexión n23	0,00	35,97
Conexión n24	0,00	51,35
Conexión n25	0,00	55,68
Conexión n32	0,00	66,32
Conexión n26	0,00	20,00
Conexión n27	0,00	32,89
Conexión n28	0,00	45,96
Conexión n29	0,00	50,73



**Figura 3.7.** Simulación hidráulica con propuesta de mejoras en modelo estático

### Modelo dinámico con propuesta de mejoras

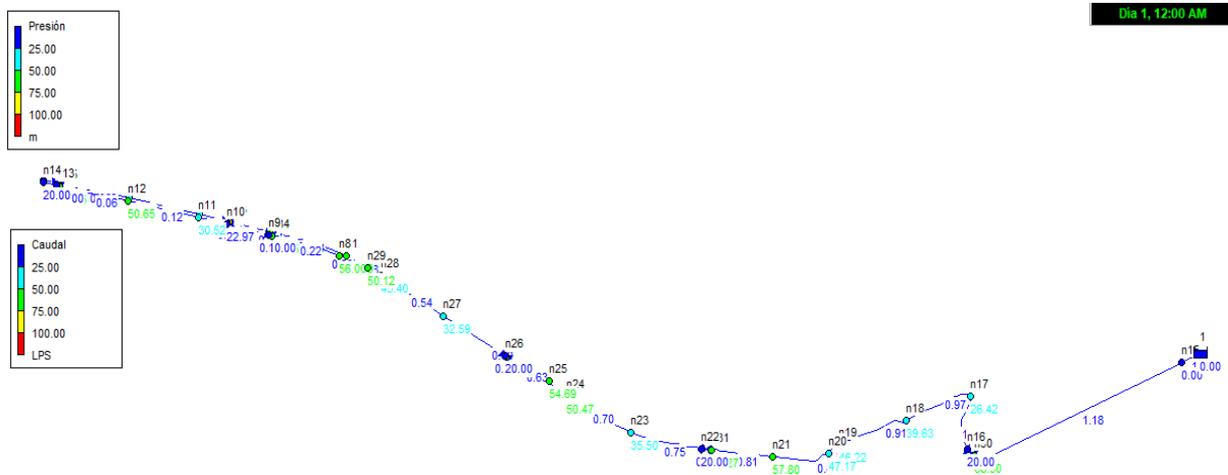
En esta propuesta de mejoras, se basó en el modelo dinámico que consiste en colocar las demandas en los nodos. Se observó que en los nodos 33, 36, 34, 35, 30, 31 y 32 no existe demanda, esto se debe a que fueron nuevos nodos colocados en el software de Epanet para colocar las válvulas reguladoras de presión (Ver figura 3.8).

Se observó que las presiones en los nodos que fueron colocadas las válvulas reguladoras de presión previamente, cumplen con el límite mínimo de 10 m.c.a, propuesto para zonas rurales y establecido en la EMAAP-Q. En cuanto a las velocidades se identificó que aumentan al colocar las válvulas, pero de igual manera siguen dentro de un rango aceptable en normativa de 3 m/s.

**Tabla 3.14.** Propuesta de mejoras en modelo dinámico

	Demanda	Presión con válvula reguladora de presión	Velocidad
ID Nudo	LPS	m	m/s
Conexión n1	0,02	53,79	0,46
Conexión n2	0,06	73,06	0,34
Conexión n33	0	85,63	0,28
Conexión n3	0,03	20	0,24
Conexión n4	0,02	27,36	0,13
Conexión n5	0,05	47,16	0,02
Conexión n36	0	64,06	0,28
Conexión n6	0,05	20	0,21

Conexión n7	0,01	20	0,17
Conexión n8	0,01	56	0,14
Conexión n34	0	74,35	0,08
Conexión n9	0,05	15	0,02
Conexión n10	0,03	22,97	0,6
Conexión n11	0,02	30,52	0,51
Conexión n12	0,05	50,65	0,49
Conexión n35	0	67,65	0,46
Conexión n13	0,05	20	0,44
Conexión n14	0,01	20	0,43
Conexión n15	0	0	0
Conexión n30	0	68,49	0,38
Conexión n16	0,17	20	0,36
Conexión n17	0,04	26,42	0,33
Conexión n18	0,05	39,12	0,32
Conexión n19	0,05	45,72	0,3
Conexión n20	0,01	46,66	0,28
Conexión n21	0,04	57,29	0,25
Conexión n31	0	56,76	0,24
Conexión n22	0,05	20	0,28
Conexión n23	0,05	35,5	0,6
Conexión n24	0,05	50,47	0,6
Conexión n25	0,02	54,69	0,41
Conexión n32	0	65,1	0,32
Conexión n26	0,04	20	0,09
Conexión n27	0,05	32,59	0,28
Conexión n28	0,05	45,4	0,08
Conexión n29	0,01	50,12	0,13



**Figura 3.8.** Simulación hidráulica con propuesta de mejoras en modelo dinámico

Estas mejoras en la red permitirán que el agua fluya de manera constante y evitará interrupciones en el suministro, puesto que los habitantes tenían que cerrar la llave válvula de paso para evitar roturas de tubería. De esta manera, los habitantes de este sector tendrán una presión de agua adecuada que garantice la seguridad y calidad del suministro. De igual manera, se realizó una memoria técnica (Ver anexo 5) que será de gran ayuda para el operador de la planta y habitantes del Sector 3.

## 4 CONCLUSIONES

Al realizar el levantamiento topográfico se pudo evidenciar ocho puntos de interés que fueron especificados al elaborar el trazado de la línea de distribución en el software Civil 3D. Se observó que cuentan con dos válvulas reguladoras de presión pero que no son suficientes para controlar la presión del agua a lo largo de toda la red.

Para realizar el levantamiento de información se utilizó la topografía por restitución encima del trazado de la línea de distribución del Sector 3, para transformar la información obtenida por medio de la digitalización sobre una ortofoto.

Al realizar la simulación hidráulica se dedujo que las presiones no cumplen con normativa de la EMAAP-Q, debido a que sobrepasan el límite máximo de 60 m.c.a en el modelo estático con una presión mayor a 100 m.c.a y en el modelo dinámico con presiones menores a 10 m.c.a.

Las velocidades del caudal son relativamente bajas, pero estaban dentro del rango máximo de 3 m/s establecido en la normativa de la EPMAAP-Q. Este cumplimiento con los límites especificados garantiza la seguridad del sistema de distribución, evitando problemas relacionados a velocidades extremas que podrían afectar directamente a las tuberías.

La red de distribución del "Sector 3" abastece 160 Litros por habitante al día, los cuales se distribuyen en un caudal medio diario de 0,73 l/s y un caudal mínimo de 0,23 l/s. El volumen de agua consumido por los habitantes al día es de 62,09  $m^3$ .

Los datos obtenidos mediante el flujómetro ultrasónico indicaron que hay caudales que sobrepasan el caudal máximo horario calculado considerablemente siendo este de 1,18 l/s y el dato que se muestra en el equipo es de 1,80 l/s.

La curva de consumo de la red de distribución del Sector 3 indica que los usuarios consumen mayormente el agua al mediodía y que al llegar a las 14:00 horas esta disminuye, siendo a las 18:00 horas esta vuelve a incrementarse, debido a que los usuarios regresan de realizar sus actividades cotidianas y requieren de este líquido vital. Sin embargo, se observó un caudal mínimo que es alto de 0,27 l/s, el cual podría ser ocasionado por pérdidas de agua.

En el trazado de la línea de distribución, se observó que tiene una longitud total de 2225,18 metros, esta línea se llega a dividir en dos tuberías para abastecer de agua a los demás habitantes de este barrio. No obstante, cuentan con el mismo problema de presiones altas a pesar de que solo una tubería de las dos, cuenta con una válvula reguladora de presión que no es suficiente para regular la presión del agua y cumplir con normativa.

En el modelo propuesto se evidenció que las presiones llegan a cumplir la normativa de presiones establecida en la EPMAAP-Q, siendo estas presiones mínimas de 10 m.c.a en el nodo 9 del modelo estático y presiones máximas de 20 y 50 m.c.a en el modelo dinámico.

Para la propuesta de mejoras, se estableció que se deben colocar cinco válvulas reguladoras de presión en los nodos especificados, en donde adicionalmente se realizó un plano con la localización de estas válvulas. Estas propuestas logran conservar las presiones adecuadas en el modelo estático y dinámico para el cumplimiento de normativa establecido en la EMAAP-Q y un suministro de agua eficiente que beneficia directamente a los habitantes.

## **5 RECOMENDACIONES**

Es de suma importancia que se coloquen válvulas reguladoras de presión en los puntos especificados de la línea de distribución del Sector 3, para garantizar una presión adecuada y que cumpla con normativa. Además, se recomienda que estas válvulas sean monitoreadas regularmente para asegurar su funcionamiento eficiente.

Se debe llevar a cabo una inspección completa de la red de distribución del Sector 3, puesto que tienen un caudal mínimo que sobrepasa el caudal mínimo calculado. De esta manera se podrá identificar el origen de pérdidas de agua y velocidades bajas, que podrían deberse a diversos factores, como roturas en las tuberías, fugas en el sistema o conexiones ilícitas.

Si es posible, establecer un sistema de monitoreo para supervisar la presión en tiempo real, que permitirá la obtención de datos actualizados y alertas en caso de cambios significativos de presión.

Se debe realizar limpiezas en los tanques de almacenamiento y en el sistema de distribución de agua potable semanalmente, de esta manera se garantizará un mantenimiento ideal y la preservación de la calidad del agua debido a que puede afectar la pureza del suministro de agua.

Se enfatiza la importancia de colocar un tanque de almacenamiento independiente que distribuya agua potable solamente al Sector 3, para optimizar de manera significativa el abastecimiento de agua en el lugar.

Es recomendable tener presente los planos del modelo actual y con la propuesta de mejoras en el sistema de abastecimiento y ser utilizados en operación y mantenimiento para la infraestructura e insumos importantes para este fin.

Es de gran relevancia que se otorgue una capacitación al operador de la planta de tratamiento, sobre cómo se debe realizar correctamente la operación del sistema de abastecimiento de agua, con el propósito de mantener al operador informado sobre los avances y cambios que puedan desarrollarse en este ámbito.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguas del Norte. (2018). *TIPOS DE CAPTACIÓN. Aguas del Norte*. Obtenido de <https://www.aguasdelnortesalta.com.ar/captacion.php>

Benavides, C. M. (31 de Agosto de 2020). *La línea de conducción es algo más que tramos de tuberías*. CARLINHOS. Obtenido de <https://www.carlinhosnica.com/post/la-l%C3%ADnea-de-conducci%C3%B3n-es-algo-m%C3%A1s-que-tramos-de-tuber%C3%ADas>

Dillon, L. B. (2020). *¿Sabes qué son los sistemas de abastecimiento de agua?*. SSWM. Obtenido de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/acerca-de-esta-herramienta/%C2%BFsabes-qu%C3%A9-son-los-sistemas-de-abastecimiento-de-agua%3F>

EMAAP. (2008). *NORMAS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE PARA LA EMAAP-Q*. EMAAPQ. Obtenido de <file:///C:/Users/USER/Downloads/EPMAPS%20-%20Normas%20Agua%20Potable.pdf>

EMAPAAC-EP. (2021). *Servicios. Agua Potable y Saneamiento*. Obtenido de <https://emapaac.gob.ec/emapaac-aguapotable-saneamiento.php>

Espinoza, J., Pérez, D., & Gonzáles, M. (2006). *Evaluación y Mejoramiento del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable en la localidad de El Sauce, departamento de León*. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/4921/1/72449.pdf>

Gur, E., & Spuhler, D. (2020). *Red de distribución comunitaria*. SSWM. Obtenido de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/red-de-distribuci%C3%B3n-comunitaria>

Ministerio de Desarrollo Social y Familia. (s.f.). *ZONIFICACIÓN PARA LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL*. Obtenido de

<https://www.desarrollosocialyfamilia.gob.cl/btca/txtcompleto/mideplan/cuad1-zon.planterrit.pdf>

OMS. (13 de Septiembre de 2023). *Agua para consumo humano. Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#:~:text=El%20agua%20contaminada%20y%20el,fiebre%20tifoidea%20y%20la%20poliomielitis>

Pérez, L. R. (2020). *Tanque de almacenamiento. SSWM*. Obtenido de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/tanque-de-almacenamiento>

Prieto, C. (Enero de 2009). *Diseño Optimizado de Redes Abiertas: Superficie Óptima de Presiones. Universidad de los Andes*. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/04241cac-8757-451e-bec4-ee188dac75ed/content>

SAGARPA. (s.f.). *Líneas de conducción por gravedad*. Obtenido de [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/SAGARPA%20s.f.%20L%C3%ADneas%20de%20Conducc%C3%ADon%20por%20gravedad..pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SAGARPA%20s.f.%20L%C3%ADneas%20de%20Conducc%C3%ADon%20por%20gravedad..pdf)

Sánchez, J. (Abril de 2013). *Dpto. Geología Universidad de Salamanca (España)*. Obtenido de <https://hidrologia.usal.es/temas/Aforos.pdf>

SIGLA. (2014). *Restitución fotogramétrica, elaboración de cartografía digital basada en fotos aéreas (2D y 3D) a diferentes escalas. Sistemas de Información Geográfica de Latinoamérica S.A.S*. Obtenido de <http://www.sigla-sas.com/restitucion-fotogrametrica-y-cartografia.html>

Stauffer, B., & Spuhler, D. (2020). *Captación de ríos, lagos y embalses (reservorios). SSWM*. Obtenido de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/captacion/captaci%C3%B3n-de-r%C3%ADos%20C-lagos-y-embalses-%28reservorios%29>

Vanegas, C. (31 de Agosto de 2020). *La línea de conducción es algo más que tramos de tuberías. EL BLOG: de Carlhinos*. Obtenido de <https://www.carlinhosnica.com/post/la-l%C3%ADnea-de-conducci%C3%B3n-es-algo-m%C3%A1s-que-tramos-de-tuber%C3%ADas>

## 7 ANEXOS

### ANEXO I

Turnitin porcentaje máximo 12%

TIC\_Angie\_Almachi\_2023B

#### ORIGINALITY REPORT

10%

SIMILARITY INDEX

9%

INTERNET SOURCES

1%

PUBLICATIONS

2%

STUDENT PAPERS

#### PRIMARY SOURCES

1	<a href="http://bibdigital.epn.edu.ec">bibdigital.epn.edu.ec</a> Internet Source	1%
2	<a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a> Internet Source	1%
3	<a href="http://repositorio.uladech.edu.pe">repositorio.uladech.edu.pe</a> Internet Source	1%
4	<a href="http://documentop.com">documentop.com</a> Internet Source	1%
5	<a href="http://repositorio.uta.edu.ec">repositorio.uta.edu.ec</a> Internet Source	1%
6	<a href="http://repositorio.puce.edu.ec">repositorio.puce.edu.ec</a> Internet Source	<1%
7	Submitted to Universidad Catolica De Cuenca Student Paper	<1%
8	<a href="http://dokumen.pub">dokumen.pub</a> Internet Source	<1%
9	<a href="http://documents.mx">documents.mx</a> Internet Source	<1%

## ANEXO 2

### Registro fotográfico



**Válvula reguladora de presión**

**Fuente: Propia**



**División de dos tuberías en el barrio "Sector 3"**

**Fuente: Propia**



**Inicio de abastecimiento con una tubería por debajo de las casas**

**Fuente:** Propia



**Salida de tubería de distribución desde tanque de almacenamiento**

**Fuente:** Propia



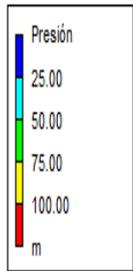
**Colocación de flujómetro ultrasónico en la tubería de distribución**

**Fuente:** Propia

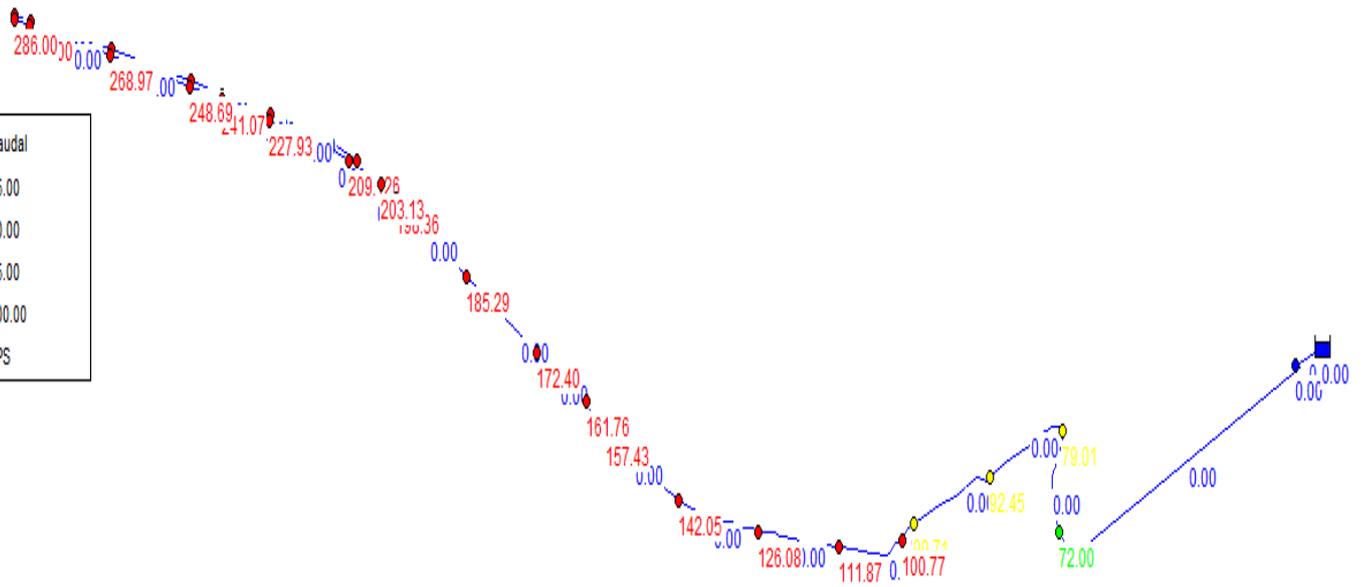
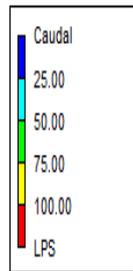
# ANEXO 3

## Simulación hidráulica en Epanet 2.0 Ve

### Modelo Estático Actual

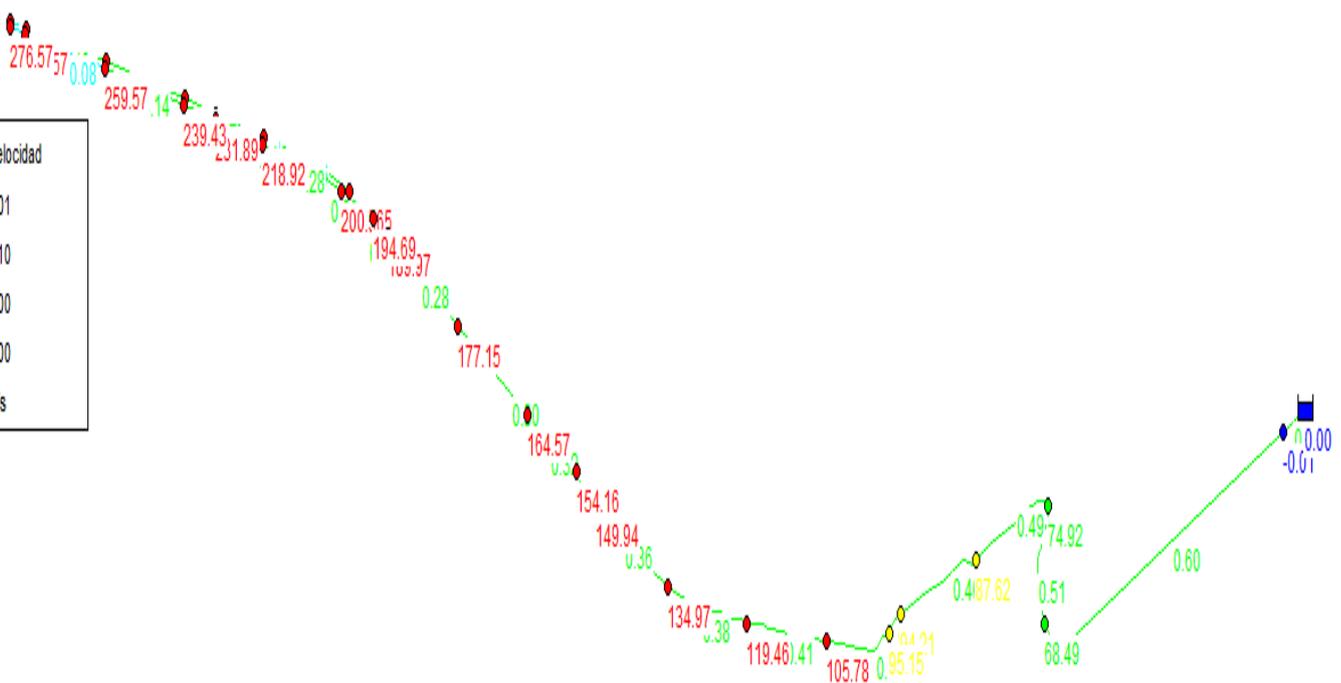
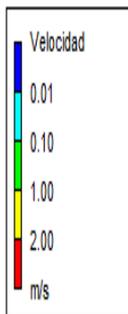
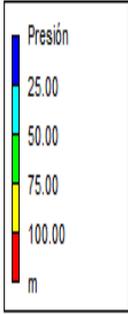


Dia 1, 12:00 AM



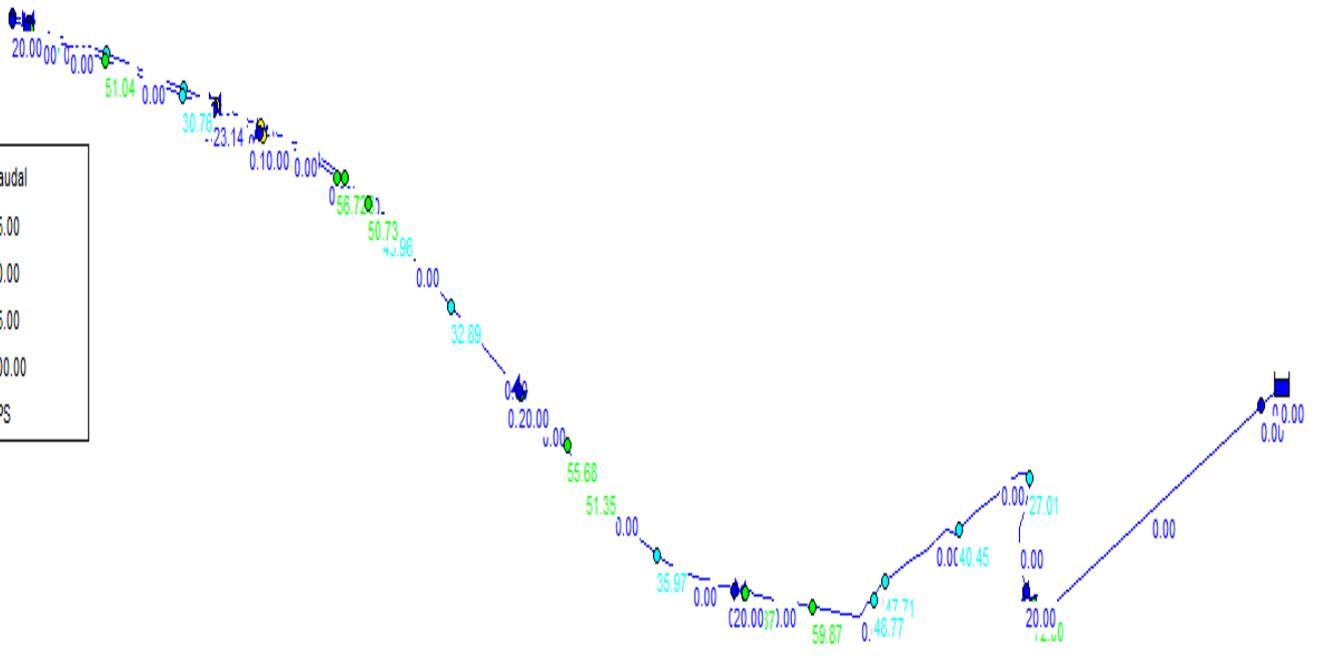
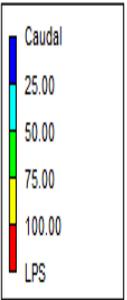
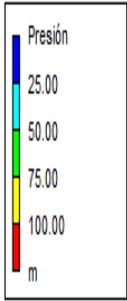
# Modelo Dinámico Actual

Dia 1, 12:00 AM



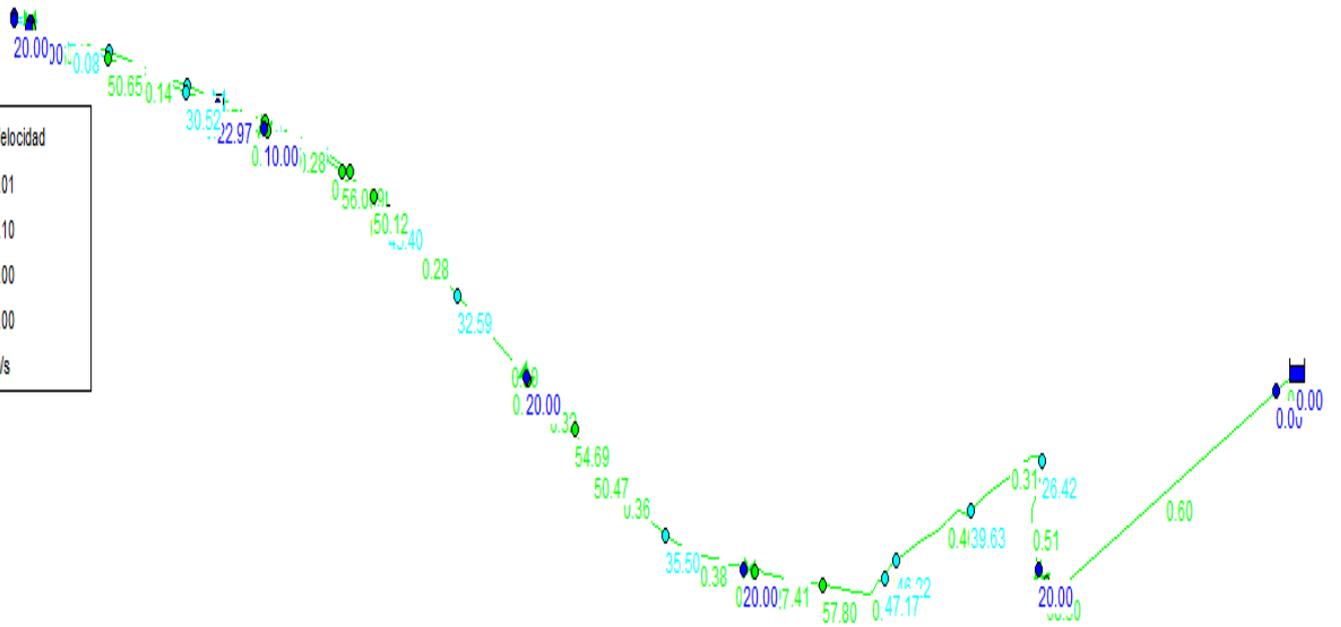
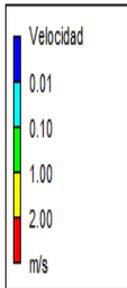
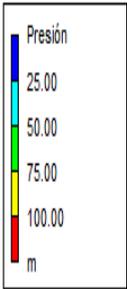
# Propuesta de mejoras en modelo estático

Día 1, 12:00 AM



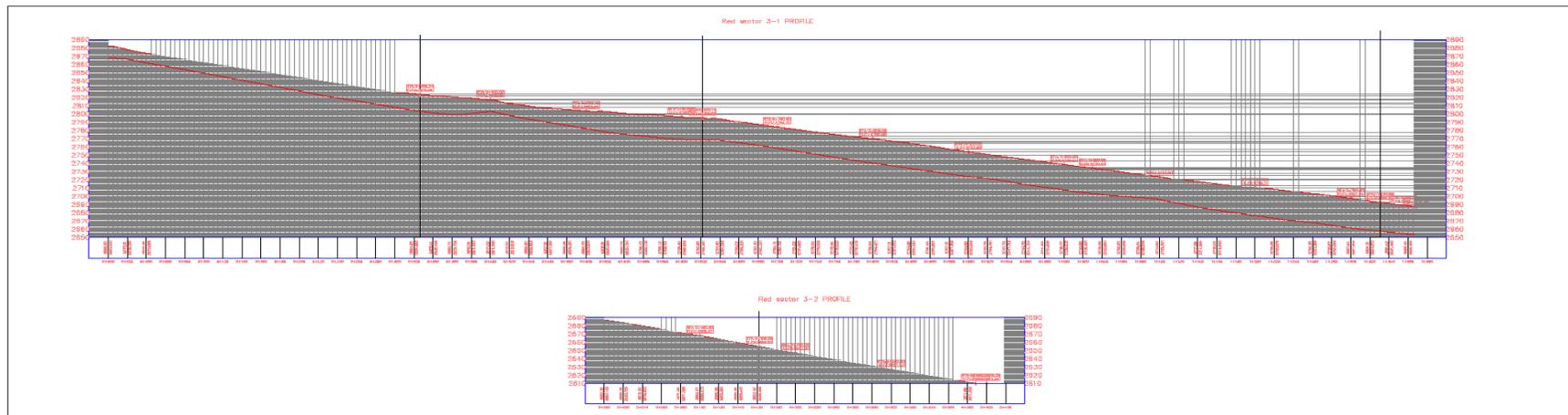
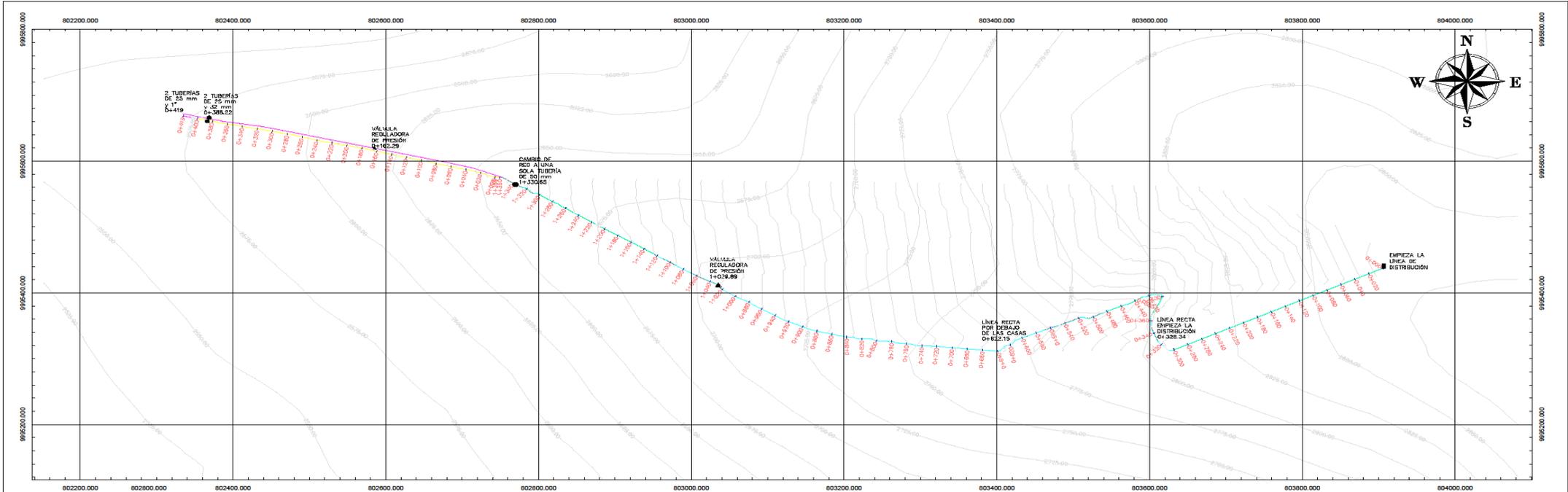
# Propuesta de mejoras en modelo dinámico

Día 1, 12:00 AM

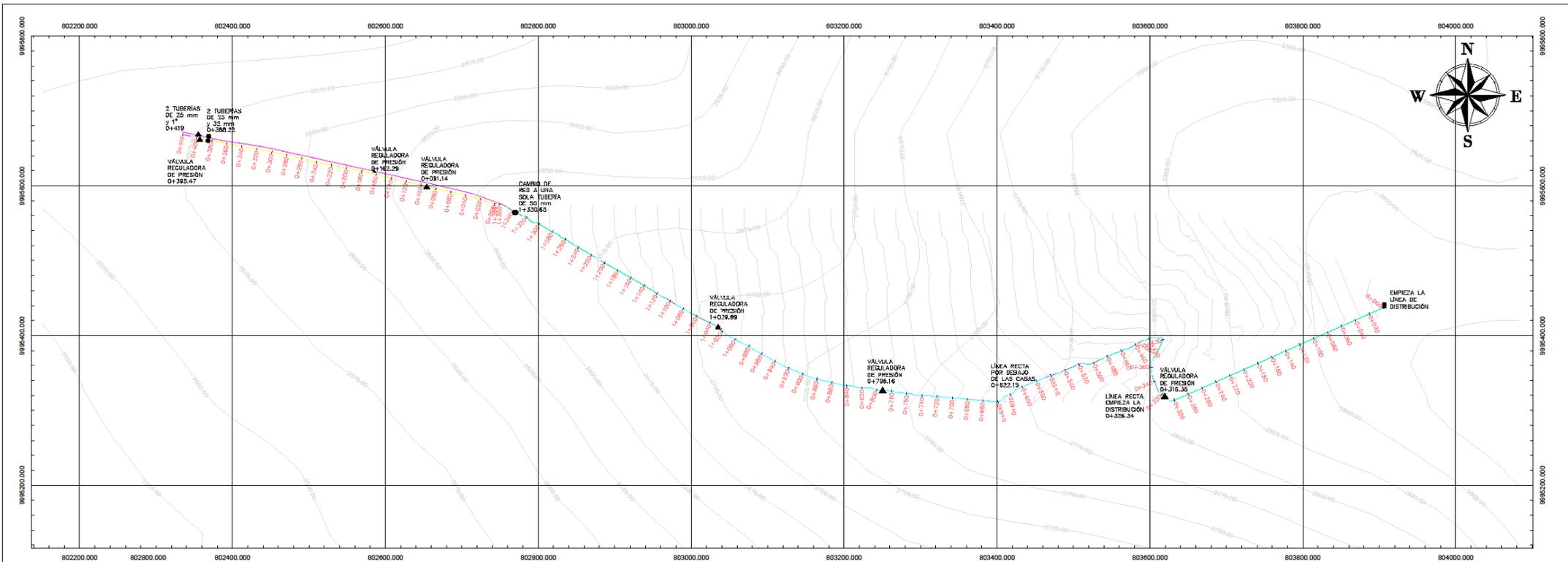


# ANEXO 4

## Planos de distribución



LEYENDA	
	TANQUE DE DISTRIBUCIÓN
	VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN
	CAMBIO DE DIÁMETRO
	TUBERÍA Ø 50 mm
	TUBERÍA Ø 32 mm
	TUBERÍA Ø 25 mm



## **ANEXO 5**

**Memoria técnica**

# Evaluación Hidráulica de la Red de Distribución del barrio “Sector 3”



Angie Pamela Almachi Almachi

2023-2024

# ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN .....	3
1.1	Objetivo general.....	4
1.2	Objetivos específicos .....	4
2	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN .....	4
2.1	Visitas técnicas .....	4
2.2	Recorridos con GPS .....	5
2.3	Datos de la población .....	6
2.4	Aforo de caudales.....	7
3	EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LA INFRAESTRUCTURA DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN .....	10
3.1	Procesamiento de información de campo.....	10
3.2	Cálculo de caudales .....	12
3.3	Evaluación hidráulica en Epanet 2.0 vE.....	15
3.4	Plano de distribución .....	18
4	PROPUESTA DE MEJORAS .....	19
4.1	Modelo estático con propuesta de mejoras .....	19
4.2	Modelo dinámico con propuesta de mejoras .....	20
5	CONCLUSIONES .....	22
6	RECOMENDACIONES.....	24
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	25
8	ANEXOS .....	25

# 1 INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico en Ecuador está bajo presión debido a las necesidades de agua y distribución desigual del agua en zonas rurales. En varias instituciones ya sean públicas o privadas se ocupan de este recurso natural cada vez más limitado, lo que amenaza esta prestación de servicios a las comunidades (Galárraga, 2004).

Según datos del (INEC, 2010), la población de la parroquia de Santa Rosa está dada por 55.11% (686) hombres y el 44.89% (557) son mujeres dando un total de 1243 habitantes. Esta parroquia es muy diversa ya que su población está formada por indígenas, afroecuatorianos, mestizos y blancos a pesar de esto la mayoría de su población se autodenomina mestiza con el 88.66%. De esta forma el sector 3 está conformado por 130 usuarios, los cuales requieren de servicios básicos, tan importantes como el agua (GAD Parroquial Santa Rosa, 2023).

El clima del sector es templado, permanentemente húmedo debido a su ubicación geográfica, y su temperatura no supera los 25° C y contiene precipitaciones de 2.300 a 3.800 mm. Los usos de agua en este cantón son consuntivos y se destinan para agua potable y riego, totalizando en el primer caso un caudal de 632,80 l/s, de los cuales el 89,0 %, es decir 563,0 l/s, son utilizados por la empresa Metropolitana de Agua Potable y Alcantarillado de Quito (EMAAP-Q) (GAD Parroquial Santa Rosa , 2023).

El acceso al agua es un derecho universal y es una de las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Todas las personas están en el derecho de un adecuado acceso al agua de calidad que puede mejorar la alimentación y disminuir la desnutrición infantil. Para promover el ejercicio del derecho humano al acceso al agua en los sectores rurales, se implementó la Gestión Social del Agua, que implica la promoción de la participación comunitaria en diversos momentos y espacios de la implementación de sistemas de agua potable. (García, 2021)

## **1.1 Objetivo general**

Evaluar hidráulicamente la red de distribución ubicada en el sector 3 en la comuna Chinchiloma.

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Levantar información y recopilar datos existentes de la red de distribución del sistema primario de abastecimiento del barrio Sector 3.
2. Evaluar hidráulicamente la infraestructura de las redes de distribución.
3. Proponer mejoras con base en los resultados de evaluación hidráulica.

## **2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN**

El levantamiento de información fue de suma importancia para realizar el análisis hidráulico de la red de distribución del Sector 3. Se utilizó el GPS para obtener las coordenadas de 8 puntos de interés y realizar el respectivo trazado en Civil 3D para posteriormente trasladarlo a Epanet y proponer mejoras en presiones y velocidades en base a la normativa de la EPMAAP-Q.

### **2.1 Visitas técnicas**

Se realizaron tres visitas técnicas para llevar a cabo el proyecto, en la primera visita técnica, se obtuvo el trazado de la red de distribución, en la que se evidenciaron ocho puntos de interés a lo largo del recorrido. Uno de los datos interesantes que mencionó el operador en esta visita fue que los habitantes no tienen cisternas, en este caso es importante que tengan almacenado cierta cantidad de agua para casos de emergencia. El operador indicó que tienen problemas de presión con el agua, debido a que, en algunos casos tienen presiones muy altas que tienden a romper las tuberías y por ende están obligados a cerrar la válvula del medidor. En otras ocasiones tienen presiones muy bajas que no permite que llegue agua potable a las casas de algunos habitantes, por lo mismo se realizó un registro fotográfico de estos puntos de interés (Ver anexo 1).

En la segunda visita técnica, se colocó el flujómetro ultrasónico para medir el caudal que se distribuye en el Sector 3, en el cual se dejó 4 días para obtener los datos suficientes correspondientes a cada día, y poder localizar posibles fallas. En la última visita, se obtuvo los resultados del consumo que tiene el sector 3 al día, los cuales fueron descargados en una computadora para realizar las gráficas de curvas de consumo correspondientes a cada día.

## 2.2 Recorridos con GPS

En el recorrido con el GPS, se demostraron ocho puntos de interés que correspondían al inicio de la distribución, cambios de diámetro de tubería, válvulas rompe presión el cual tenían el dato de ingresar con 100 psi y salir con 30 psi y cambios de una a dos tuberías. La descripción de estos puntos se encuentra a continuación (Tabla 1) y mismos que fueron colocados en el trazado de la línea de conducción (Ver figura 1)

La red de distribución está conformada por una tubería de 50 mm y una válvula reguladora de presión correspondiente al inicio de la distribución. Seguido, se evidenció la separación de dos tuberías que iniciaban con el diámetro de 25 y 32 mm y finalizaban con 25 mm. El operador mencionó que solo una de estas tuberías contenía una válvula reguladora de presión y la otra no, por la misma razón no cumplían en diferentes puntos de la línea de distribución, los estándares de presión de agua con la normativa de la EPMAAP-Q.

**Tabla 1.** Descripción de puntos de interés

N°	N° de Puntos	Este	Norte	Zeta (m)	Descripción
1	561	803901	9995435	2882	Empieza la línea de distribución
2	560	803611	9995326	2824	Línea recta desde el comienzo de distribución
3	559	803417	9995317	2796	Cambio de diámetro de tubería de 50 mm
4	558	803027	9995416	2733	Válvula reguladora de presión
5	557	802776	9995561	2693	Cambio de red a una sola tubería de 50 mm
6	556	802589	9995617	2656	Válvula reguladora de presión
7	555	802334	9995675	2606	2 tuberías de 25 mm y 32 mm
8	554	802332	9995673	2606	2 tuberías de 25 mm y 1" a una distancia de 1,50 m del bordillo



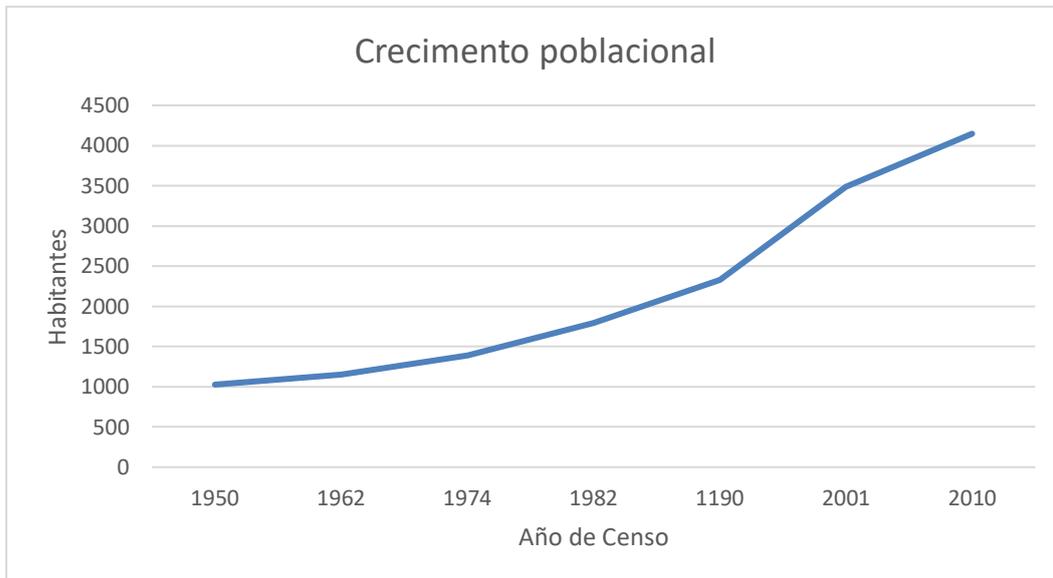
**Figura 1.** Colocación de puntos de interés en trazado de línea de conducción visto por mapa aéreo

### 2.3 Datos de la población

Para obtener la población futura, se utilizó el método logarítmico y para la gráfica se utilizó el año de censos desde 1950 hasta el 2010, cada uno con sus respectivos habitantes, los mismos que se pueden observar en la figura 2. Los datos poblacionales fueron obtenidos del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de Santa Rosa de Cuzubamba que fueron generados por el INEC (Ver tabla 2).

**Tabla 2.** Datos poblacionales obtenidos del PDOT de Santa Rosa de Cuzubamba

Año de censos	Habitantes
1950	1027
1962	1150
1974	1392
1982	1794
1990	2326
2001	3487
2010	4147



**Figura 2.** Crecimiento poblacional mediante método logarítmico

## 2.4 Aforo de caudales

Para la programación del equipo fue necesario configurarlo con los siguientes datos, para la tubería que sale del tanque colocar el diámetro de 63 mm, espesor de la pared 3 mm, diámetro interno 57 mm, el material de la tubería de PVC, tubería sin recubrimiento, el tipo de flujo que maneja, en este caso agua, el tipo de transductores que se utilizó fue Ts2, puesto que son para tuberías pequeñas, el espacio entre transductores fue de 39,69 mm y se lo realizó mediante el método V para que el sonido atraviese el tubo dos veces.

El flujómetro ultrasónico, realizó la medición de caudales a la salida de la tubería del tanque correspondiente al sector 3, el cual tenía un volumen de  $40 \text{ m}^3$ , dicho dato mencionado por el operador de la planta. El equipo comenzó a medir un caudal de 0,9 l/s, mientras que el caudal máximo horario calculado fue de 1,18 l/s, y esto tenía sentido, puesto que no era una hora de consumo máximo, lo que sucedería al ser una hora demandada es que el consumo del caudal subiría y cumpliría con lo establecido.



**Figura 3.** Configuración de flujómetro ultrasónico

### Curva de consumo

Al descargar los datos que se tomaron del flujómetro durante un día cada 5 minutos, se ordenaron en una hoja de cálculo de Excel, mediante la hora, caudal y porcentaje para poder realizar el gráfico de curva de consumo, en el cual se estableció para el eje "x" las horas y para el eje "y" el caudal que consumen (Ver figura 4). Al realizar la tabla con los datos obtenidos por el equipo, se puede deducir que hay un caudal mínimo de alrededor de 0,27 l/s, este valor podría ser ocasionado por pérdidas de agua, ya sea por rotura de tuberías o fugas en la red de distribución (Ver tabla 3).

**Tabla 3.** Datos obtenidos por flujómetro ultrasónico

Fecha	Hora		Caudal	
2/2/2024	0	1	0,300	2%
	1	2	0,272	2%
	2	3	0,311	2%
	3	4	0,316	2%
	4	5	0,501	3%
	5	6	0,709	4%
	6	7	0,868	6%
	7	8	0,611	4%
	8	9	0,620	4%
	9	10	0,770	5%
	10	11	1,413	9%
	11	12	1,091	7%
	12	13	0,698	4%
	13	14	0,563	4%
	14	15	0,605	4%
	15	16	0,646	4%
	16	17	0,688	4%
	17	18	1,084	7%
	18	19	0,814	5%
	19	20	0,888	6%
	20	21	0,663	4%
	21	22	0,579	4%
	22	23	0,463	3%
	23	24	0,305	2%
<b>TOTAL</b>			15,778	100%



**Figura 4.** Curva de consumo diaria

En la curva de consumo diaria que se estableció entre los días jueves y viernes, se observa que hay una mayor demanda al mediodía, esto puede deberse a que es un horario en que los habitantes realizan diversas actividades como cocinar, lavar o ducharse. Luego, el caudal de consumo disminuye significativamente alrededor de las 14:00 horas y vuelve aumentar a las 18:00 horas, debido que regresan de realizar sus actividades cotidianas y requieren de este líquido vital.

**Tabla 4.** Caudales otorgados por el flujómetro ultrasónico

Caudales	
<b>Caudal mínimo</b>	0,23 l/s
<b>Caudal medio diario</b>	0,73 l/s
<b>Caudal máximo horario</b>	1,80 l/s

Los resultados obtenidos por el flujómetro se muestran en la tabla 4, en el cual se realizó un promedio del caudal medio diario con los caudales que se obtuvo durante un día, se pudo observar que el caudal máximo horario excede con el caudal teórico que se calculó previamente de 1,18 l/s. Se obtuvo el volumen de agua consumido al día por los habitantes del Sector 3 que es de 62,01  $m^3$ , desde las 9 am del día 01 de febrero hasta las 9 am el 02 de febrero.

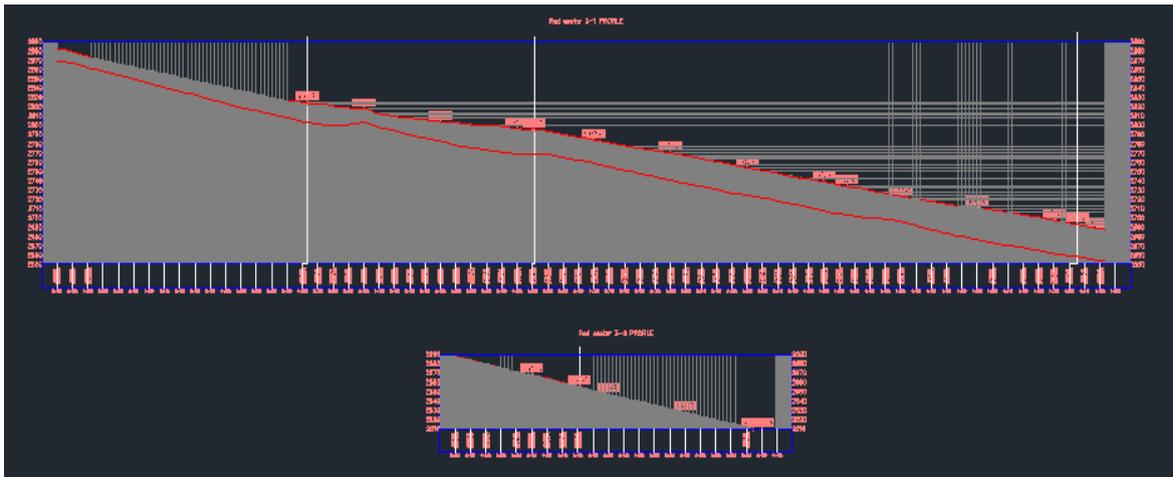
### 3 EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LA INFRAESTRUCTURA DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN

#### 3.1 Procesamiento de información de campo

Con los datos obtenidos en la primera visita técnica del GPS al programa de Civil 3D, para realizar el trazado de la red de distribución del Sector 3, la cual tenía una longitud total de 2225,18 metros (Ver figura 5). Al realizar el perfil de la línea de distribución del Sector 3, se tuvo que realizar dos perfiles, puesto que, había una división de tuberías para abastecer a dos lugares de este sector (Ver figura 6). Esta división de tuberías comenzó en el punto 1+330,65, en el que también se evidenció el cambio de tubería de 50 mm de diámetro a 25 y 32 mm correspondientes a las dos tuberías, a una elevación de 2692,87 m.s.n.m. Dichas tuberías finalizaron en el punto 0+400 del segundo perfil, a una altura de 2610,04 m.s.n.m. Para realizar la simulación hidráulica, se realizó una separación cada 100 metros basándose en las abscisas de la línea de distribución para analizar las presiones en cada punto de interés.



Figura 5. Red de distribución del Sector 3



**Figura 6.** Perfiles de la red de distribución del Sector 3

Se añadieron nodos (puntos) cada 100 metros además de los puntos de interés recolectados en la visita técnica con la finalidad de verificar presiones, velocidades y el caudal en cada uno de ellos. Adicionalmente se obtuvo la elevación, abscisas y la descripción de estos puntos (Ver tabla 5).

**Tabla 5.** Elevaciones y abscisas de puntos de interés

ID	Elevación	Abscisa	Descripción
n1	2689,14	1+355,07	Inicio de tubería 1
n2	2668,07	0+100	Nodo-Separación cada 100 metros
n3	2654,93	0+162,29	Válvula reguladora de presión
n4	2647,31	0+200	Nodo-Separación cada 100 metros
n5	2627,03	0+300	Nodo-Separación cada 100 metros
n6	2610	0+388,22	Dos tuberías (tubería de 25 mm)
n7	2610	0+419	Fin de 1 tubería (25mm)
n8	2686,88	1+368,01	Inicio tubería 2
n9	2668,07	0+100	Nodo-Separación cada 100 metros
n10	2654,93	0+160	Implemento de válvula reguladora de presión
n11	2647,31	0+200	Nodo-Separación cada 100 metros
n12	2627,03	0+300	Nodo-Separación cada 100 metros
n13	2610	0+388,22	Dos tuberías (tubería de 32 mm)
n14	2610	0+419	Fin de 2 tubería (25 mm)
n15	2896	0+000	Inicio tanque de almacenamiento
n16	2824	0+326,34	Línea recta empieza la línea de distribución
n17	2816,99	0+400	Nodo-Separación cada 100 metros
n18	2803,55	0+500	Nodo-Separación cada 100 metros
n19	2796,29	0+600	Nodo-Separación cada 100 metros
n20	2795,23	0+622,15	Nodo-Tubería por debajo de las casas
n21	2784,13	0+700	Nodo-Separación cada 100 metros
n22	2769,92	0+800	Nodo-Separación cada 100 metros
n23	2753,95	0+900	Nodo-Separación cada 100 metros
n24	2738,57	1+000	Nodo-Separación cada 100 metros
n25	2734,24	1+029,89	Válvula reguladora de presión

n26	2723,6	1+100	Nodo-Separación cada 100 metros
n27	2710,71	1+200	Nodo-Separación cada 100 metros
n28	2697,64	1+300	Nodo-Separación cada 100 metros
n29	2692,87	1+330,65	Cambio de red a una sola tubería

## 3.2 Cálculo de caudales

### Tasa de crecimiento poblacional

Al obtener los datos de la población de la parroquia, se procedió a calcular las tasas de crecimiento poblacional, en el cual se obtuvieron 6 tasas de crecimiento. Dichas tasas se calcularon entre los años 2010-1950, 2010-1962, 2010-1974, 2010-1982, 2010-1990 y 2010-2001. Al obtener los resultados de cada año, se prosiguió a desarrollar un promedio de las tasas obtenidas.

**Tabla 6.** Tasa de crecimiento poblacional promedio

Kg	
2010-1950	0,02
2010-1962	0,03
2010-1974	0,03
2010-1982	0,03
2010-1990	0,03
2010-2001	0,02
Promedio	<b>0,02</b>

En el cálculo de la población futura se utilizaron los habitantes actuales del sector 3, mismos que son de 130 usuarios que fueron registrados por el INEC en el último censo que fue realizado en el 2023, este dato fue otorgado por la presidenta de la junta de la comuna. Se necesitó la tasa de crecimiento poblacional promediada con una proyección de 30 años, que se realizó desde el año 2025 hasta el 2055, en el cual la población aumentará notoriamente, siendo esta aproximadamente de 303 habitantes.

**Tabla 7.** Población futura

Población proyectada	
2025	137
2030	156
2035	178
2040	204

2045	232
2050	265
2055	303

### **Estimación de dotación**

Se estimó la dotación que está establecida por la Norma para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes del Código Ecuatoriano. En el cual se tuvo en cuenta el clima de la comunidad que está establecido en el Plan de Ordenamiento Territorial (PDOT) de Santa Rosa de Cuzubamba, siendo este un clima templado que no sobrepasa los 25°C, para población hasta de 5000 habitantes, debido a que es una zona rural y, por lo tanto, no existe demasiada población. Después de determinar las condiciones requeridas, se debe establecer la dotación máxima entre 130-160, en el que se optó por 160 l/hab\*día.

### **Caudales**

#### **Caudal medio**

El caudal medio fue necesario para obtener el caudal máximo diario se utilizó la población futura del año 2055 con un total de 303 habitantes y el caudal medio que se proporciona en el Sector 3 es de:

$$Q_{md} = 0,561/s$$

#### **Caudal máximo diario**

Para el consumo máximo diario se tuvo que seleccionar el coeficiente de consumo máximo diario "k1" de 1,4 para parroquias establecido en la Normativa de la EPMAAP-Q, debido a que es una zona rural. El consumo máximo diario que se proporciona en el Sector 3 y el resultado fue el siguiente:

$$Q_{MD} = 0,781/s$$

#### **Caudal máximo horario**

Para el consumo máximo horario, se seleccionó el coeficiente de consumo máximo horario "k2" de 1,5 en relación con el tamaño de la zona y de las características de consumo de los residentes, como lo indica en la Normativa de la EPMAAP-Q. El consumo máximo horario que se proporciona en el Sector 3, teniendo como resultado lo siguiente:

$$Q_{MH} = 1,18 \text{ l/s}$$

Con los resultados obtenidos, se realizó una tabla comparativa de caudales (Ver tabla 8), en el que se estableció una dotación de 160 l/hab\*día indicado en el INEC, se pudo observar que el caudal máximo horario es mayor al establecido en el caudal teórico, sin embargo, el caudal medio y el caudal máximo diario son menores a los establecidos en el caudal teórico, los cuales fueron calculados con la población futura del año 2055 con un total de 303 habitantes. Esto se debe a que la zona de zona de estudio se está convirtiendo en una zona urbana por lo que la dotación de agua se puede aumentar a 200 l/hab\*día.

**Tabla 8.** Comparación de caudales de consumo

	Caudales teóricos (l/s)	Caudales de equipo ultrasónico (l/s)
<b>Q medio</b>	0,56	0,23
<b>Q máximo diario</b>	0,78	0,73
<b>Q máximo horario</b>	1,18	1,80

### Caudal específico

Para el caudal específico, se seleccionó el caudal máximo horario y la longitud total de la línea de distribución que fue de 2225,22 metros.

$$Q_e = 0.005 \text{ l/s}$$

Adicionalmente, se determinaron los caudales para cada punto, mediante el caudal específico y la longitud de cada tramo de tubería que fue aportado por el programa de Epanet. Luego, se realizó una sumatoria total de las longitudes para comprobar si es el mismo con el que se mostró en el programa de Civil 3D cuando se realizó el trazado de la línea de distribución y efectivamente en las dos cumplía con la misma longitud de tubería total de 2225,22 metros. Se realizó una sumatoria total de los caudales para cada nodo y el resultado fue de 1,18 l/s. Dichos caudales se encuentran detallados en la tabla 9. Estos datos serán de relevancia para realizar la evaluación hidráulica y verificar el cumplimiento de normativa en presiones y velocidades.

**Tabla 9.** Caudales para cada nodo de la línea de distribución del Sector 3

Punto	Longitud de distribución	Caudal (L/s)
L1	326,24	0,17
L2	73,76	0,04

L3	100	0,05
L4	100	0,05
L5	19,27	0,01
L6	80,73	0,04
L7	100	0,05
L8	100	0,05
L9	100	0,05
L10	31,63	0,02
L11	68,37	0,04
L12	100	0,05
L13	100	0,05
L14	22,09	0,01
L15	44,17	0,02
T1 L1	109,9	0,06
T1 L2	60,36	0,03
T1 L3	39,78	0,02
T1 L4	99,88	0,05
T1 L5	100,1	0,05
T1 L6	20,06	0,01
T2 L1	10	0,005
T2 L2	100	0,05
T2 L3	60	0,03
T2 L4	40	0,02
T2 L5	100	0,05
T2 L6	100	0,05
T2 L7	18,88	0,01
<b>Total</b>	<b>2225,22</b>	<b>1,18</b>

### 3.3 Evaluación hidráulica en Epanet 2.0 vE

#### Modelo Actual

##### Presiones

Al realizar el estudio en el programa de Epanet con los datos recolectados previamente, se obtuvieron resultados de presiones altas en toda la red, siendo estas mayores a 100 m.c.a, y por ende no cumplían con la normativa de la EPMAP-Q del título 7, teniendo esta un límite mínimo de 10 m.c.a en zonas rurales y que este en el modelo dinámico el cual consiste en que los nodos tengan las demandas calculadas. En el punto 15 se puede observar que no tiene flujo de agua y la presión es menor al límite mínimo de 10 m.c.a, debido a que es el inicio de la tubería y está conectado con el tanque de almacenamiento (Ver tabla 10).

Al observar los resultados con el modelo dinámico (Ver anexo 2), se muestra que la presión máxima de los puntos 13 y 14 llega a superar los 276 m.c.a y no cumple con normativa vigente, causando problemas a los habitantes del sector 3. De esta manera se optó por proponer mejoras en puntos estratégicos para que los habitantes tengan

un suministro de agua eficiente y seguro.

**Tabla 10.** Presiones en modelo dinámico

	<b>Demanda</b>	<b>Presión</b>
<b>ID Nudo</b>	<b>LPS</b>	<b>m</b>
Conexión n1	0,02	198,35
Conexión n2	0,06	217,63
Conexión n3	0,03	230,2
Conexión n4	0,02	237,56
Conexión n5	0,05	257,36
Conexión n6	0,05	274,26
Conexión n7	0,01	274,25
Conexión n8	0,005	200,56
Conexión n9	0,05	218,92
Conexión n10	0,03	231,89
Conexión n11	0,02	239,43
Conexión n12	0,05	259,57
Conexión n13	0,05	276,57
Conexión n14	0,01	276,57
Conexión n15	0	0,01
Conexión n16	0,17	68,49
Conexión n17	0,04	74,92
Conexión n18	0,05	87,62
Conexión n19	0,05	94,21
Conexión n20	0,01	95,15
Conexión n21	0,04	105,78
Conexión n22	0,05	119,46
Conexión n23	0,05	134,97
Conexión n24	0,05	149,94
Conexión n25	0,02	154,16
Conexión n26	0,04	164,57
Conexión n27	0,05	177,15
Conexión n28	0,05	189,97
Conexión n29	0,01	194,69

En el modelo estático consistió en dejar la demanda en cero (Ver anexo 2), es decir sin caudales, para observar si la presión del agua cambiaba, y pues se siguieron observando presiones que exceden con el límite máximo y por lo tanto no cumplen con la Normativa de la EPMAAP-Q del título 7, puesto que estas sobrepasan el límite máximo de 60 m.c.a en el modelo estático, en toda la red. Se pudo observar que en los nodos 6, 7, 13 y 14, exceden la presión máxima con 286 m.c.a, esta presión no cumple con la normativa de la EPMAAP-Q. De igual forma, se notó que en el nodo 15 no existe presión de agua puesto que es el inicio de la tubería (Ver tabla 11).

**Tabla 11.** Presiones en modelo estático

	<b>Demanda Base</b>	<b>Presión</b>
<b>ID Nudo</b>	<b>LPS</b>	<b>m</b>
Conexión n1	0	206,86
Conexión n2	0	227,93
Conexión n3	0	241,07
Conexión n4	0	248,69
Conexión n5	0	268,97
Conexión n6	0	286
Conexión n7	0	286
Conexión n8	0	209,12
Conexión n9	0	227,93
Conexión n10	0	241,07
Conexión n11	0	248,69
Conexión n12	0	268,97
Conexión n13	0	286
Conexión n14	0	286
Conexión n15	0	0
Conexión n16	0	72
Conexión n17	0	79,01
Conexión n18	0	92,45
Conexión n19	0	99,71
Conexión n20	0	100,77
Conexión n21	0	111,87
Conexión n22	0	126,08
Conexión n23	0	142,05
Conexión n24	0	157,43
Conexión n25	0	161,76
Conexión n26	0	172,4
Conexión n27	0	185,29
Conexión n28	0	198,36
Conexión n29	0	203,13

### **Velocidades**

En el estudio para el suministro de agua se pudo observar que las velocidades están dentro del límite máximo que es de 3 m/s, utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach establecida en la normativa de la EMAAP-Q (Página 84), están muy bajos, puesto que tienen un caudal muy bajo (Ver tabla 12).

**Tabla 12.** Velocidades en modelo dinámico

	<b>Caudal</b>	<b>Velocidad</b>
<b>ID Línea</b>	<b>LPS</b>	<b>m/s</b>
Tubería p2	0,17	0,34
Tubería p3	0,14	0,28
Tubería p4	0,12	0,24
Tubería p5	0,06	0,13
Tubería p6	0,01	0,02
Tubería p7	0,22	0,28
Tubería p8	0,17	0,21
Tubería p9	0,14	0,17
Tubería p10	0,12	0,14
Tubería p11	0,06	0,08
Tubería p12	0,01	0,02
Tubería p13	1,18	0,6
Tubería p14	1	0,51
Tubería p15	0,97	0,49
Tubería p16	0,91	0,46
Tubería p17	0,86	0,44
Tubería p18	0,85	0,43
Tubería p19	0,81	0,41
Tubería p20	0,75	0,38
Tubería p21	0,7	0,36
Tubería p22	0,65	0,33
Tubería p23	0,63	0,32
Tubería p24	0,6	0,3
Tubería p25	0,54	0,28
Tubería p26	0,49	0,25
Tubería 1	0,48	0,24
Tubería 2	0,23	0,28
Tubería 3	1,18	0,6

### **3.4 Plano de distribución**

Se realizaron dos planos, uno que corresponde al levantamiento de información de la red de distribución del Sector 3 y otro correspondiente a la propuesta de mejoras que debería de realizarse en la red. Estos planos se realizaron en una escala de 1:2500, para que se observe toda la línea de distribución y en un formato de hoja A1 (Ver anexo 3).

## 4 PROPUESTA DE MEJORAS

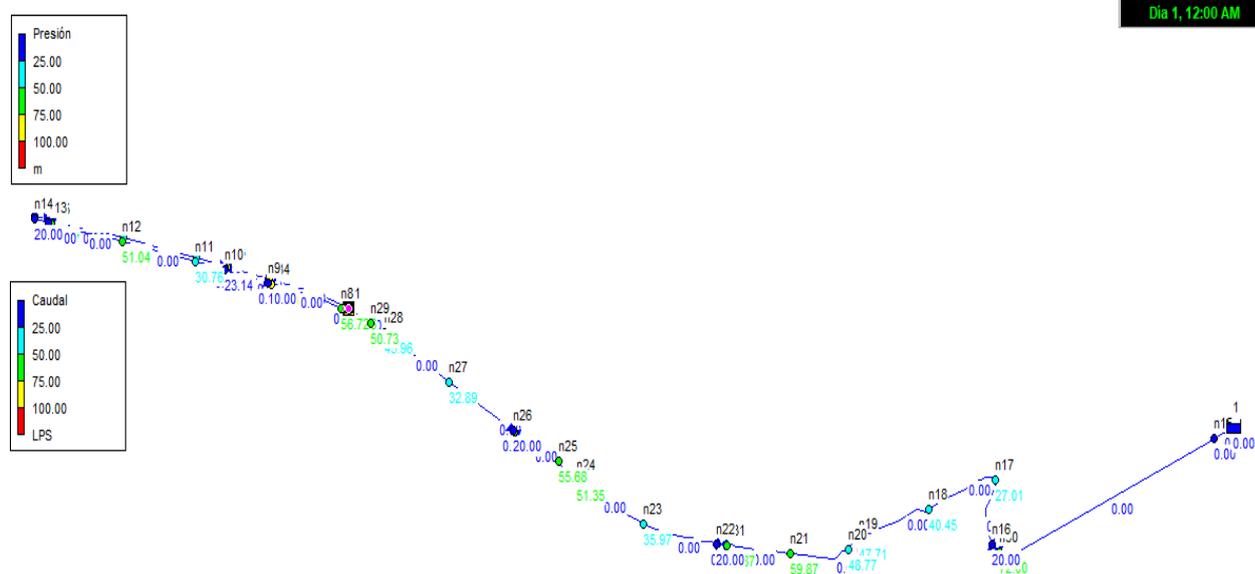
### 4.1 Modelo estático con propuesta de mejoras

Después de realizar el estudio en el programa de Epanet, se halló el problema que tiene la línea de distribución del Sector 3, en donde surgió la propuesta de mejoras. Esta propuesta consistió en colocar 5 válvulas reguladoras de presión en puntos estratégicos, las cuales son después del nodo 36 y 34, puesto que ambos puntos tenían presiones alrededor de 70 m.c.a, entonces se pudo observar que al colocar las válvulas reguladoras de presión tienen una presión de 20 y de 10 m.c.a y están cumpliendo con el límite. Sin embargo, se pudo observar que al seguir con la distribución de agua potable las presiones vuelven a subir. De esta manera, se colocó válvulas reguladoras de presión después de los nodos 35, 30 y 31, que tenían una presión mayor a 60 m.c.a y disminuyen significativamente a 10 y 20 m.c.a, en donde ya estarían cumpliendo con normativa, teniendo como límite mínimo de 10 m.c.a en zonas rurales. Después, se colocaron las válvulas reguladoras de presión ya existentes en la red, mismas que no eran suficientes para controlar la presión en toda la red. Estas válvulas estaban localizadas después del nodo 32 y 33, en donde se puede observar que la presión era de 66,32 y 88,67 m.c.a y ambas se reducen a 20 m.c.a, el cual ya cumple con el límite máximo de 60 m.c.a en el modelo estático establecido en la EPMAAP-Q (Ver figura 7). De esta manera, se garantizará un funcionamiento efectivo del sistema y el suministro de agua adecuadamente a los habitantes.

**Tabla 13.** Propuesta de mejoras en modelo estático

	<b>Demanda</b>	<b>Presión con válvula reguladora de presión</b>
<b>ID Nudo</b>	LPS	m
Conexión n1	0,00	54,46
Conexión n2	0,00	75,53
Conexión n33	0,00	88,67
Conexión n3	0,00	20,00
Conexión n4	0,00	27,62
Conexión n5	0,00	47,90
Conexión n36	0,00	64,93
Conexión n6	0,00	20,00
Conexión n7	0,00	20,00
Conexión n8	0,00	56,72
Conexión n34	0,00	75,53
Conexión n9	0,00	10,00
Conexión n10	0,00	23,14
Conexión n11	0,00	30,76

Conexión n12	0,00	51,04
Conexión n35	0,00	68,07
Conexión n13	0,00	20,00
Conexión n14	0,00	20,00
Conexión n15	0,00	0,00
Conexión n30	0,00	72,00
Conexión n16	0,00	20,00
Conexión n17	0,00	27,01
Conexión n18	0,00	40,45
Conexión n19	0,00	47,71
Conexión n20	0,00	48,77
Conexión n21	0,00	59,87
Conexión n31	0,00	59,87
Conexión n22	0,00	20,00
Conexión n23	0,00	35,97
Conexión n24	0,00	51,35
Conexión n25	0,00	55,68
Conexión n32	0,00	66,32
Conexión n26	0,00	20,00
Conexión n27	0,00	32,89
Conexión n28	0,00	45,96
Conexión n29	0,00	50,73



**Figura 7.** Simulación hidráulica con propuesta de mejoras en modelo estático

## 4.2 Modelo dinámico con propuesta de mejoras

En esta propuesta de mejoras, se basó en el modelo dinámico que consiste en colocar el flujo de agua en los nodos (puntos). Se observó que en los puntos 33, 36, 34, 35, 30, 31

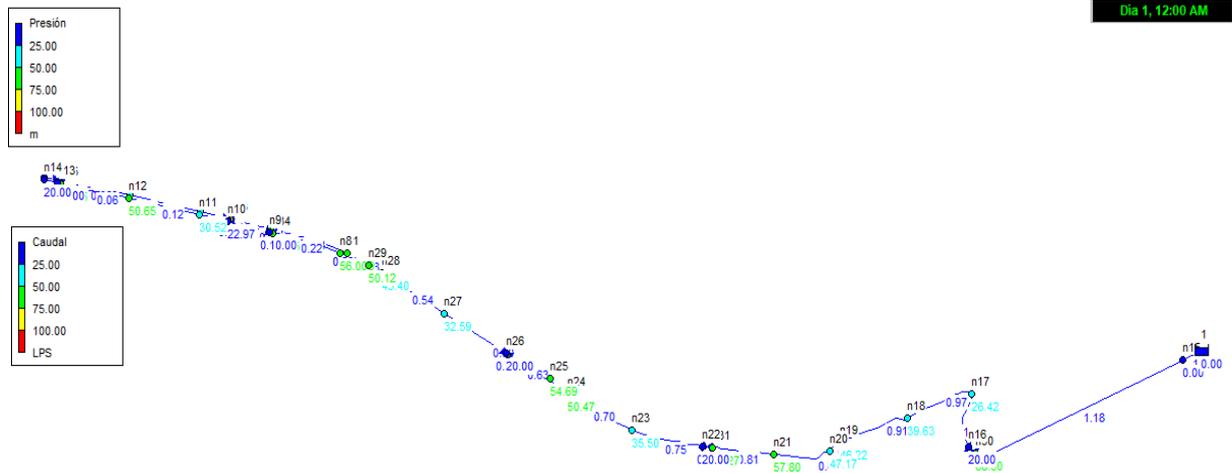
y 32 no existe demanda, esto se debe a que fueron nuevos nodos colocados en el programa de Epanet para colocar las válvulas reguladoras de presión (Ver figura 8).

Se pudo observar que las presiones en los puntos que fueron colocadas las válvulas reguladoras de presión previamente, cumplen con el límite mínimo de 10 m.c.a, propuesto para zonas rurales y establecido en la EMAAP-Q. En cuanto a las velocidades se identificó que aumentan al colocar las válvulas, pero de igual manera siguen dentro de un rango aceptable en normativa de 3 m/s.

**Tabla 14.** Propuesta de mejoras en modelo dinámico

	<b>Demanda</b>	<b>Presión con válvula reguladora de presión</b>	<b>Velocidad</b>
<b>ID Nudo</b>	<b>LPS</b>	<b>m</b>	<b>m/s</b>
Conexión n1	0,02	53,79	0,46
Conexión n2	0,06	73,06	0,34
Conexión n33	0	85,63	0,28
Conexión n3	0,03	20	0,24
Conexión n4	0,02	27,36	0,13
Conexión n5	0,05	47,16	0,02
Conexión n36	0	64,06	0,28
Conexión n6	0,05	20	0,21
Conexión n7	0,01	20	0,17
Conexión n8	0,01	56	0,14
Conexión n34	0	74,35	0,08
Conexión n9	0,05	15	0,02
Conexión n10	0,03	22,97	0,6
Conexión n11	0,02	30,52	0,51
Conexión n12	0,05	50,65	0,49
Conexión n35	0	67,65	0,46
Conexión n13	0,05	20	0,44
Conexión n14	0,01	20	0,43
Conexión n15	0	0	0
Conexión n30	0	68,49	0,38
Conexión n16	0,17	20	0,36
Conexión n17	0,04	26,42	0,33
Conexión n18	0,05	39,12	0,32
Conexión n19	0,05	45,72	0,3
Conexión n20	0,01	46,66	0,28
Conexión n21	0,04	57,29	0,25
Conexión n31	0	56,76	0,24
Conexión n22	0,05	20	0,28
Conexión n23	0,05	35,5	0,6
Conexión n24	0,05	50,47	0,6

Conexión n25	0,02	54,69	0,41
Conexión n32	0	65,1	0,32
Conexión n26	0,04	20	0,09
Conexión n27	0,05	32,59	0,28
Conexión n28	0,05	45,4	0,08
Conexión n29	0,01	50,12	0,13



**Figura 8.** Simulación hidráulica con propuesta de mejoras en modelo dinámico

Estas mejoras en la red, permitirá que el agua fluya de manera firme y evitará interrupciones en el suministro, puesto que los habitantes tenían que cerrar la llave válvula de paso para evitar roturas de tubería. De esta manera, los habitantes de este sector tendrán una presión de agua adecuada que garantice la seguridad y calidad del suministro.

## 5 CONCLUSIONES

Al realizar el levantamiento de información del Sector 3 se pudo evidenciar ocho puntos de interés que fueron especificados al elaborar el trazado de la línea de distribución en el programa Civil 3D. Se pudo observar que cuentan con dos válvulas reguladoras de presión pero que no son suficientes para controlar la presión del agua a lo largo de toda la red.

Para realizar el levantamiento de información se utilizó la topografía por restitución encima del trazado de la línea de distribución del Sector 3, para transformar la información obtenida por medio de la digitalización sobre una ortofoto.

Al realizar la simulación de conducción se dedujo que las presiones no cumplen con normativa de la EMAAP-Q, debido a que sobrepasan el límite máximo de 60 m.c.a en el modelo estático con una presión mayor a 100 m.c.a y en el modelo dinámico con presiones menores a 10 m.c.a.

Las velocidades del caudal son demasiado bajas, pero estaban dentro del rango máximo de 3 m/s establecido en la normativa de la EPMAAP-Q. Este cumplimiento con los límites especificados garantiza la seguridad del sistema de distribución, evitando problemas relacionados a velocidades extremas que podrían afectar directamente a las tuberías.

La red de distribución del "Sector 3" abastece 160 Litros por habitante al día, los cuales se distribuyen en un caudal medio diario de 0,73 l/s y un caudal mínimo de 0,23 l/s. El volumen de agua consumido por los habitantes al día es de 62,09  $m^3$ .

Los datos obtenidos mediante el flujómetro ultrasónico indicaron que hay caudales que sobrepasan el caudal máximo horario calculado considerablemente siendo este de 1,18 l/s y el dato que se muestra en el equipo es de 1,80 l/s.

La curva de consumo de la red de distribución del Sector 3 indica que los usuarios consumen mayormente el agua al mediodía y que al llegar a las 14:00 horas esta disminuye, siendo a las 18:00 horas esta vuelve a incrementarse, debido a que los usuarios regresan de realizar sus actividades cotidianas y requieren de este líquido vital. Sin embargo, se observó un caudal mínimo que es alto de 0,27 l/s, el cual podría ser ocasionado por pérdidas de agua.

En el trazado de la línea de distribución, se observó que tiene una longitud total de 2225,18 metros, esta línea se llega a dividir en dos tuberías para abastecer de agua a los demás habitantes de este barrio. No obstante, cuentan con el mismo problema de presiones altas a pesar de que solo una tubería de las dos, cuenta con una válvula reguladora de presión que no es suficiente para regular la presión del agua y cumplir con normativa.

En el modelo propuesto se pudo evidenciar que las presiones llegan a cumplir la normativa de presiones establecida en la EPMAAP-Q, siendo estas presiones mínimas de 10 m.c.a en el nodo 9 del modelo estático y presiones máximas de 20 y 50 m.c.a en el modelo dinámico.

Para la propuesta de mejoras, se estableció que se deben colocar cinco válvulas reguladoras de presión en los nodos especificados, en donde adicionalmente se realizó un plano con la localización de estas válvulas. Estas propuestas logran conservar las presiones adecuadas en el modelo estático y dinámico para el cumplimiento de normativa establecido en la EMAAP-Q y un suministro de agua eficiente que beneficia directamente a los habitantes.

## **6 RECOMENDACIONES**

Es de suma importancia que se coloquen válvulas reguladoras de presión en los puntos especificados de la red de distribución del Sector 3, para garantizar una presión adecuada y que cumpla con normativa. Además, se recomienda que estas válvulas sean monitoreadas regularmente para asegurar su funcionamiento eficiente.

Se recomienda llevar a cabo una inspección completa de la red de distribución del Sector 3, puesto que tienen un caudal mínimo alto. De esta manera se podrá identificar el origen de pérdidas de agua y velocidades bajas, que podrían deberse a diversos factores, como roturas en las tuberías, fugas en el sistema o conexiones ilícitas.

Si es posible, establecer un sistema de inspección para supervisar la presión en tiempo real, que permitirá la obtención de datos actualizados y alertas en caso de cambios significativos de presión.

Se debe realizar limpiezas en los tanques de almacenamiento y en el sistema de distribución de agua potable semanalmente, de esta manera se garantizará un mantenimiento ideal y la preservación de la calidad del agua debido a que puede afectar la pureza del suministro de agua.

Se enfatiza la importancia de colocar un tanque de almacenamiento independiente que distribuya agua potable solamente al Sector 3, para optimizar de manera significativa el abastecimiento de agua en el lugar.

Es recomendable tener presente los planos del modelo actual y con la propuesta de mejoras en el sistema de abastecimiento y ser utilizados en operación y mantenimiento para la infraestructura e insumos importantes para este fin.

Es de gran relevancia que se otorgue una capacitación al operador de la planta de tratamiento, sobre cómo se debe realizar correctamente la operación del sistema de abastecimiento de agua, con el propósito de mantener al operador informado sobre los avances y cambios que puedan desarrollarse en este espacio.

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GAD Parroquial Santa Rosa. (2023). PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL SANTA ROSA.

Galárraga, R. (26 de Marzo de 2004). ESTADO Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL ECUADOR. HidroRed. Obtenido de <http://tierra.rediris.es/hidrored/basededatos/docu1.html>

García, N. (21 de Mayo de 2021). La importancia del agua para el desarrollo en las zonas rurales. Ayuda en Acción. Obtenido de <https://ayudaenaccion.ec/blog/agua/agua-en-zonas-rurales/>

## 8 ANEXOS

### ANEXO 1

#### Registro fotográfico



**Válvula reguladora de presión**

**Fuente: Propia**



**División de dos tuberías en el barrio "Sector 3"**

**Fuente: Propia**



**Inicio de abastecimiento con una tubería por debajo de las casas**

**Fuente:** Propia



**Salida de tubería de distribución desde tanque de almacenamiento**

**Fuente:** Propia



**Colocación de flujómetro ultrasónico en la tubería de distribución**

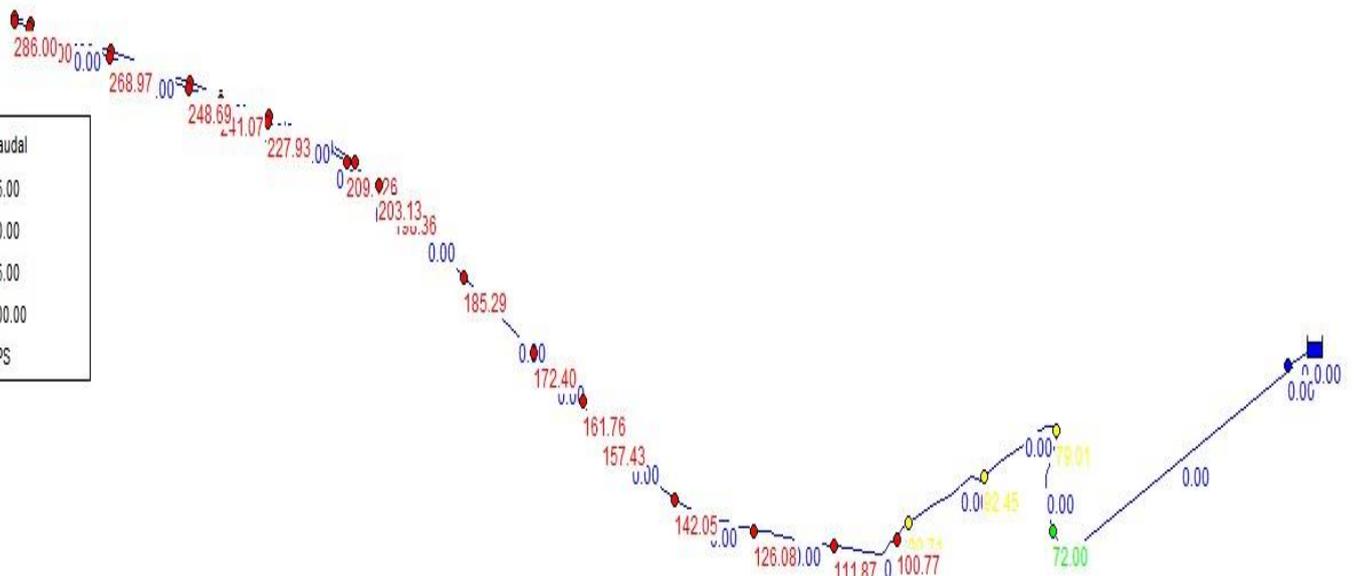
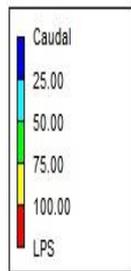
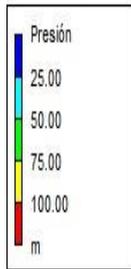
**Fuente:** Propia

## ANEXO 2

### Simulación hidráulica en Epanet 2.0 Ve

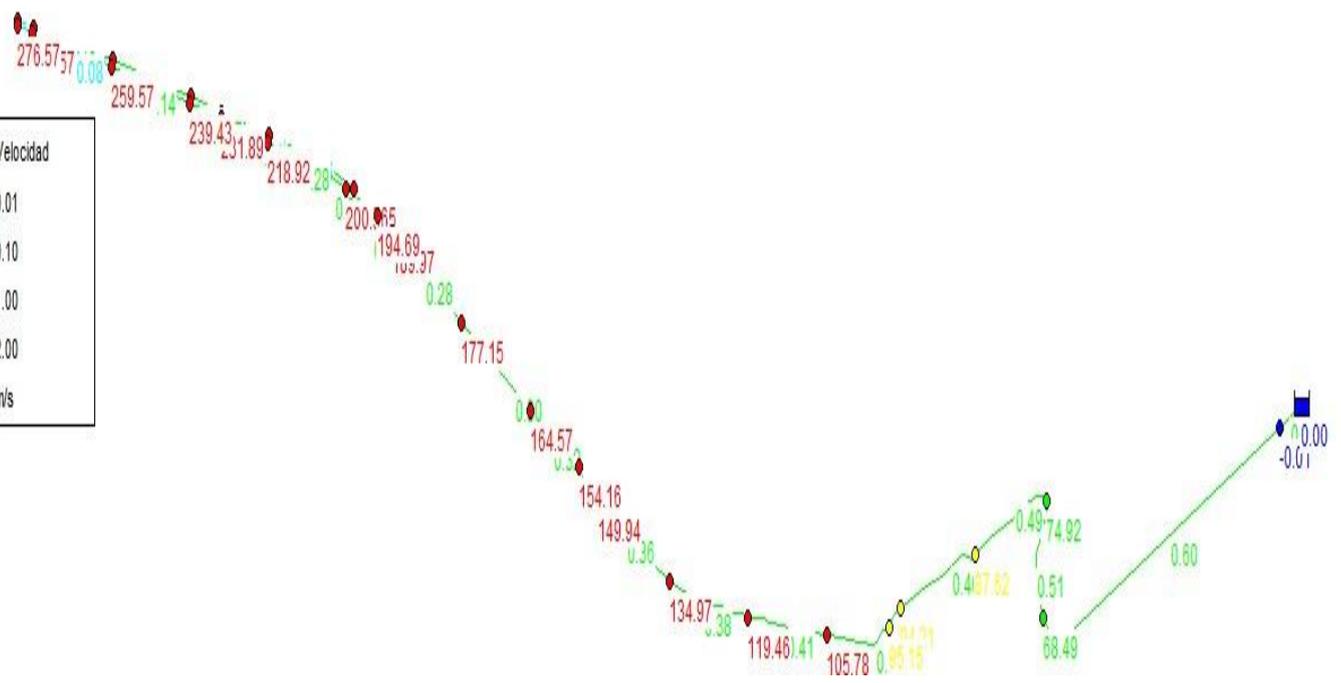
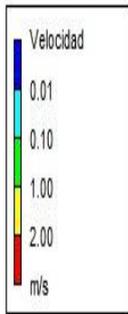
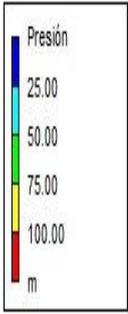
#### Modelo Estático Actual

Día 1, 12:00 AM



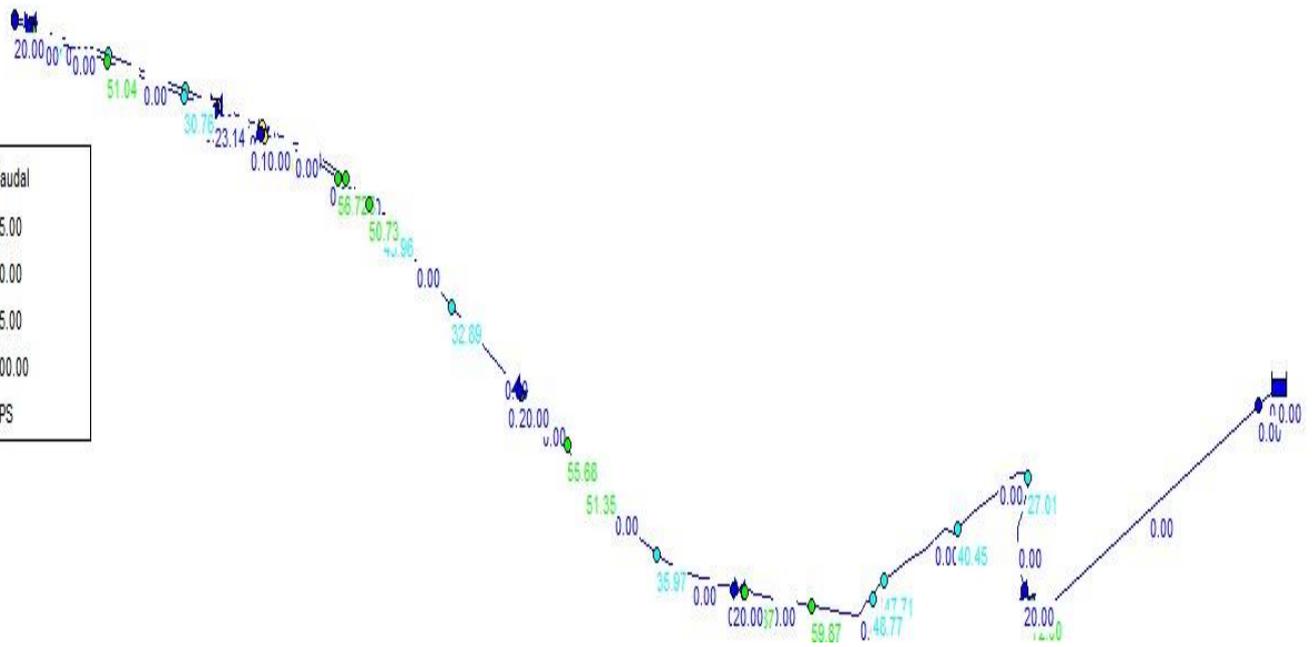
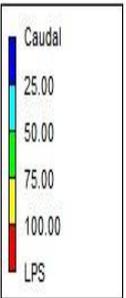
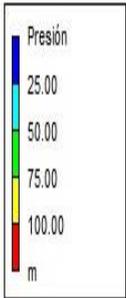
# Modelo Dinámico Actual

Día 1, 12:00 AM



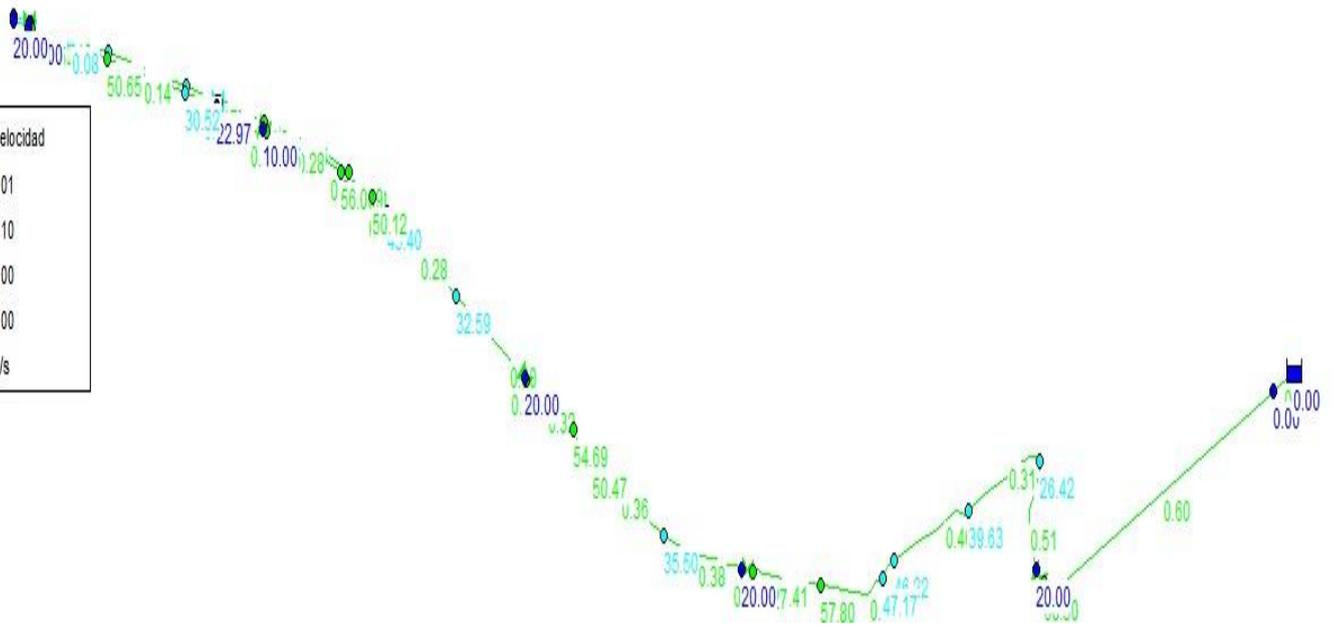
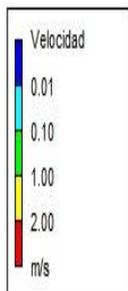
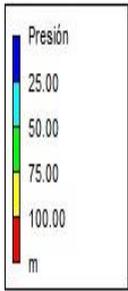
# Propuesta de mejoras en modelo estático

Día 1, 12:00 AM



# Propuesta de mejoras en modelo dinámico

Día 1, 12:00 AM



**ANEXO 3**

**Planos de distribución**

