



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

**Universidad del Azuay**

**Maestría en Hidrosanitaria**

Simulación del comportamiento de la red de distribución de agua potable del sector Cebollar 3.2 Centro a través de un modelo hidráulico para el análisis de vulnerabilidad operativas del sistema.

TRABAJO DE GRADUACION PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE MAESTRIA  
EN HIDROSANITARIA

AUTOR: ING. PEDRO AGUSTIN DEIDAN IDROVO

DIRECTOR: ING. FABIAN EDUARDO CAZAR ALMACHE

CUENCA, ECUADOR

2023

**DEDICATORIA**

A Dios, por haber hecho posible todo esto, por haberme dado vida y forjarme,  
a mi esposa, a mi hija, a mi familia, quienes siempre me apoyan y siembran en  
mi, amor y perseverancia para cumplir mis objetivos.

**AGRADECIMIENTO**

A la Universidad del Azuay, a la escuela de posgrados, que hizo posible esta oportunidad de especializarme y en especial al Ing. Fabián Cazar, por su predisposición, guía y apoyo continuo.

## **TRABAJO DE GRADUACIÓN**

### **Simulación del comportamiento de la red de distribución de agua potable del sector Cebollar 3.2 Centro a través de un modelo hidráulico para el análisis de vulnerabilidad operativas del sistema.**

#### **RESUMEN**

El presente estudio trata de la modelación del sistema de distribución de agua potable del sector “Cebollar 3.2 centro”, mediante un software computacional, que facilita la modelación, y posterior calibración y validación. El modelo se lo realiza a partir de información entregada por la Empresa ETAPA EP., como catastro de la infraestructura de agua potable, datos de micro y macro medición, y manual de operación del sistema; una vez elaborado el modelo hidráulico y simulado con la información entregada, se calibra mediante una herramienta de calibración automática. La calibración se la realiza en base a presiones obtenidas en campo, variando los coeficientes de rugosidad de las tuberías y verificando las pérdidas de carga ocasionadas en válvulas de abasteciendo. Una vez obtenida una calibración aceptable, se valida el modelo mediante otras presiones obtenidas en campo y verificando la coincidencia, entre lo simulado y lo real. Por último, se analizarán escenarios operativos del sistema y se recomendarán mejoras.

Palabras clave: modelo hidráulico – distribución de agua potable – calibración y validación.

**GRADUATION WORK****Simulation of the behavior of the drinking water distribution network  
of the Cebollar 3.2 Centro sector through a hydraulic model for the  
analysis of the system's operational vulnerability.****ABSTRACT**

This study deals with the modeling of the drinking water distribution system of the "Cebollar 3.2 center" sector, using computer software, which facilitates the modeling, and subsequent calibration and validation. The model is made based on information provided by ETAPA EP, such as a cadastre of the drinking water infrastructure, micro and macro measurement data, and system operation manual; once the hydraulic model is developed and simulated with the information provided, it is calibrated through an automatic calibration tool. The calibration is performed based on pressures obtained in the field, varying the roughness coefficients of the pipes and verifying the load losses caused in the supply valves. Once an acceptable calibration is obtained, the model is validated by employing other pressures obtained in the field and verifying the coincidence between the simulated and the real. Finally, the operational scenarios of the system will be analyzed, and improvements will be recommended.

Keywords: hydraulic model - drinking water distribution - calibration and validation.

Translated by:



Pedro Deidán



DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT .....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	ix
INDICE DE TABLAS .....	xi
1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCION .....	1
1.1 Antecedentes .....	2
1.2 Justificación.....	2
1.3 Hipótesis.....	3
1.4 Objetivos .....	3
1.4.1 Objetivo General .....	3
1.4.2 Objetivos específicos .....	3
2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 Definiciones Generales.....	3
2.1.1 Agua potable. ....	3
2.1.2 Contaminación .....	4
2.1.3 Contaminante. ....	4
2.1.4 Calidad física.....	4
2.1.5 Límite máximo tolerable. ....	4
2.1.6 Límite máximo permisible. ....	4
2.1.7 Sistema de abastecimiento de Agua Potable.....	4
2.1.8 Período de diseño. ....	4
2.1.9 Vida útil.....	5
2.1.10 Dotación media actual.....	5

2.1.11	Dotación media futura.....	5
2.1.12	Caudal medio anual.....	5
2.1.13	Caudal máximo diario.....	5
2.1.14	Caudal máximo horario.....	5
2.1.15	Nivel de servicio.....	5
2.1.16	Detección de fugas.....	5
2.1.17	Pérdida de agua potable.....	6
2.1.18	Pérdidas físicas.....	6
2.1.19	Pérdidas comerciales.....	6
2.1.20	Fugas.....	6
2.1.21	Factor de mayoración máximo diario.....	6
2.1.22	Factor de mayoración máximo horario.....	6
2.1.23	Tanque de almacenamiento.....	6
2.1.24	Red de distribución.....	7
2.1.25	Red Abierta.....	7
2.1.26	Red cerrada.....	7
2.1.27	Red Mixta.....	7
2.1.28	Unidad de agua.....	7
2.1.29	Conexión domiciliaria.....	7
2.1.30	Usuario.....	7
2.1.31	Abonado.....	7
2.1.32	Tarifa referencial de consumo.....	8
2.1.33	Macromedición.....	8
2.1.34	Micromedición.....	8
2.1.35	Índice de agua no contabilizada.....	8

2.1.36	Catastro de redes. ....	8
2.1.37	Sectorización de redes. ....	8
2.1.38	Modelación hidráulica. ....	9
2.1.39	Calibración de un modelo. ....	9
2.1.40	Validación de un modelo. ....	9
2.1.41	Software de modelación. ....	9
2.1.42	Software WaterGems. ....	9
2.1.43	Esqueletización de la red. ....	9
2.1.44	Tubería. ....	9
2.1.45	Nodos. ....	10
2.1.46	Hidrantes. ....	10
2.1.47	Válvula de control. ....	10
2.1.48	Válvula de operación. ....	10
2.1.49	Válvula de purga. ....	10
2.1.50	Válvula reductora de presión. ....	10
2.1.51	Válvula de aire. ....	11
2.1.52	Válvula de bola. ....	11
2.1.53	Válvula compuerta. ....	11
2.1.54	Válvula mariposa. ....	11
2.2	Ecuaciones generales. ....	11
2.2.1	Fluido. ....	12
2.2.2	Flujo uniforme. ....	12
2.2.3	Flujo no uniforme. ....	12
2.2.4	Flujo estacionario. ....	12
2.2.5	Flujo transitorio. ....	12



2.2.6	Números característicos.....	12
2.2.7	Número de Reynolds.....	12
2.2.8	Ecuación de Bernoulli.....	13
2.2.9	Ecuación de continuidad.....	13
2.2.10	Ley conservación de masa.....	14
2.2.11	Ecuación de Darcy – Weisbach.....	15
2.2.12	Ecuación de Hazen – Williams.....	16
2.3	Introducción y Estado del arte.....	16
3.	CAPITULO 3: MATERIALES Y METODOS.....	18
3.1	Recopilación de información y descripción del sector.....	19
3.2	Información comercial del sector Cebollar 3.2 Centro.....	22
3.3	Modelo construido en estado estático – Descripción.....	26
3.4	Modelo construido en periodo extendido.....	28
3.5	Calibración y validación del modelo construido en periodo extendido.....	29
3.5.1	Identificar el propósito del modelo.....	30
3.5.2	Determinación de los valores iniciales de los parámetros.....	31
3.5.3	Recolección de datos de calibración.....	31
3.5.4	Calibración del modelo hidráulico.....	45
3.5.5	Validación del modelo.....	50
4.	CAPITULO 4: ANALISIS DE VULNERABILIDAD DEL SISTEMA, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
4.1	Diagnostico actual.....	54
4.2	Simulación de escenarios para análisis operacionales del sistema Cebollar 3.2 Centro.....	64
4.2.1	Planteamiento de mejoras.....	69
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73

5.1	Conclusiones. ....	73
5.2	Recomendaciones. ....	73
6.	REFERENCIAS.....	74
7.	ANEXOS. ....	76
7.1	Manual de operación. ....	76

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Volumen de control .....	14
<b>Figura 2.</b>	Sector Cebollar 3.2 Centro .....	19
<b>Figura 3.</b>	Subsectores de Sector Cebollar 3.2 Centro .....	20
<b>Figura 4.</b>	Tipos de consumo durante el periodo de micromedición enero 2022 a enero del 2023.....	23
<b>Figura 5.</b>	Volumen mensual facturado y usuarios efectivos Periodo enero 2022 a enero 2023.....	24
<b>Figura 6.</b>	Datos de macro y micromedición del sector Cebollar 3.2.....	26
<b>Figura 7.</b>	Modelo hidráulico – Válvulas de control, válvulas de operación y estaciones reductoras de presión.....	27
<b>Figura 8.</b>	Usuarios georreferenciados. ....	28
<b>Figura 9.</b>	Patrón de consumo horario para un día de la reserva, sector Cebollar 3.2.....	29
<b>Figura 10.</b>	Subsectores y puntos de medición telemática de presión.....	32
<b>Figura 11.</b>	Registro de presión en punto 1, subsector 1. ....	34
<b>Figura 12.</b>	Registro de presión en punto 2, subsector 2. ....	35
<b>Figura 13.</b>	Registro de presión en punto 3, subsector 4. ....	36
<b>Figura 14.</b>	Registro de presión en punto 4, subsector 5. ....	37
<b>Figura 15.</b>	Registro de presión en punto 5, subsector 3. ....	38
<b>Figura 16.</b>	Registro de presión en punto 6, subsector 6. ....	39
<b>Figura 17.</b>	Registro de presión en punto 7, subsector 7. ....	40
<b>Figura 18.</b>	Registro de presión en punto 8, subsector 8. ....	41
<b>Figura 19.</b>	Registro de presión en punto 9, subsector 9. ....	42
<b>Figura 20.</b>	Registro de presión en punto 10, subsector 10. ....	43

<b>Figura 21.</b> Registro de presión en punto 11, subsector 11. ....	44
<b>Figura 22.</b> Relación de Cargas hidráulicas observadas y Simuladas en Darwin Calibrator, ajustando los coeficientes de rugosidad – simulación 1. ....	46
<b>Figura 23.</b> Correlación entre cargas hidráulicas observadas y simuladas en Darwin Calibrator con ajuste del coeficiente de rugosidad - Simulación 1. ....	47
<b>Figura 24.</b> Relación de Cargas hidráulicas observadas y Simuladas en Darwin Calibrator, ajustando los coeficientes de rugosidad – simulación 2. ....	48
<b>Figura 25.</b> Correlación entre cargas hidráulicas observadas y simuladas en Darwin Calibrator con ajuste del coeficiente de rugosidad - Simulación 2. ....	48
<b>Figura 26.</b> Error RMSE, Cargas observadas y simuladas, y su correlación en el proceso de validación. Simulación 3. ....	52
<b>Figura 27.</b> Subsectores de la zona en estudio Cebollar 3.2 Centro. ....	55
<b>Figura 28.</b> Presiones del sistema Cebollar 3.2 Centro - 3:00 am. ....	56
<b>Figura 29.</b> Presiones del sistema Cebollar 3.2 Centro - 11:00 am. ....	57
<b>Figura 30.</b> Velocidades del sistema Cebollar 3.2 Centro - 03:00 am. ....	58
<b>Figura 31.</b> Velocidades del sistema Cebollar 3.2 Centro - 11:00 am. ....	59
<b>Figura 32.</b> Perdida de carga del sistema Cebollar 3.2 Centro - 03:00 am. ....	60
<b>Figura 33.</b> Perdida de carga del sistema Cebollar 3.2 Centro - 11:00 am. ....	61
<b>Figura 34.</b> Caudal del sistema Cebollar 3.2 Centro - 03:00 am. ....	62
<b>Figura 35.</b> Caudal del sistema Cebollar 3.2 Centro - 03:00 am. ....	63
<b>Figura 36.</b> Ubicación de hidrantes, subsectores 03, 10 y 11. ....	65
<b>Figura 37.</b> Presiones durante la simulación 3, con 3 hidrantes funcionando simultáneamente a las 11:00. ....	66
<b>Figura 38.</b> Velocidades durante la simulación 3, con 3 hidrantes funcionando simultáneamente a las 11:00. ....	67
<b>Figura 39.</b> Perdida de carga durante la simulación 3, con 3 hidrantes funcionando simultáneamente a las 11:00. ....	68
<b>Figura 40.</b> Mejoras en el sistema Cebollar 3.2 Centro. ....	71
<b>Figura 41.</b> Presiones del sistema a las 11:00 más evento más desfavorable luego de las mejoras. ....	72

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Datos sector Cebollar 3.2 Centro .....	20
<b>Tabla 2.</b> Datos generales de los subsectores del sector en estudio Cebollar 3.2 Centro .	21
<b>Tabla 3.</b> Descripción de redes existentes en el Sector Cebollar 3.2 Centro.....	21
<b>Tabla 4.</b> Información de la micromedición del sector Cebollar 3.2 Centro .....	25
<b>Tabla 5.</b> Información del modelo generado .....	27
<b>Tabla 6.</b> Criterios para la calibración de modelos sugeridos por el Comité de Aplicación Computacionales de Ingeniería de la American Water Works Association. ....	30
<b>Tabla 7.</b> Valores rugosidad, coeficiente C de Hazem - Williams .....	31
<b>Tabla 8.</b> Puntos de medición telemática de presión. ....	32
<b>Tabla 9.</b> Equipo de medición de presión. ....	33
<b>Tabla 10.</b> Resumen de puntos de medición de presión en campo.....	45
<b>Tabla 11.</b> Error relativo de las cargas de los gradientes observados y simulados, simulación 2. ....	49
<b>Tabla 12.</b> Rugosidades iniciales y ajustadas luego de la calibración con la simulación 2. ....	50
<b>Tabla 13.</b> Relación entre los gradientes observados y medidor en el proceso de validación. Simulación 3.....	53

## 1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCION

El agua es un recurso esencial para la vida, limitado y con una demandada creciente. Se ha demostrado que más de 32 mil millones de metros cúbicos de agua tratada son desperdiciados en todo el mundo, debido a fugas, pudiendo servir a más de 100 millones de personas, generando un problema de desabastecimiento y económico en los servicios públicos (Pillot et al., 2016), por lo que, el manejo eficiente de los sistemas de distribución de agua potable se ha convertido en pieza fundamental para las empresas que manejan este servicio, ya que deben garantizar el abastecimiento continuo y de calidad del agua potable a la población que actualmente es servida y proyectar ampliaciones a sectores donde todavía carecen de este servicio básico vital, evitando así problemas sociales y económicos en la población.

La modelación hidráulica es una herramienta tecnológica que nos ayuda con el manejo eficiente de las redes de distribución de agua potable, debido a que, nos permite simular el estado actual de dicha infraestructura, además de que, se pueden realizar diferentes análisis de vulnerabilidades, de donde se extrae información relevante, para la planificación futura y posterior toma de decisiones operacionales, de mantenimiento o de mejoras del sistema, y además, tener una modelación actualizada de la infraestructura existente nos permite tener un mejor control entorno al agua no contabilizada, evitando las pérdidas en agua y disminuyendo la pérdida económica para empresas prestadoras de este servicio, como no ocurre en ciudades aledañas a la ciudad de Cuenca, Ecuador, en donde se realiza el presente trabajo, en donde el porcentaje de agua no contabilizada alcanza el 46.75% (Carlos García Flores, 2020), valor que se encuentra fuera de los rangos permisibles de pérdidas de agua potable a nivel mundial.

A pesar de todo lo mencionado anteriormente, y de medidas preventivas que se implantan en diferentes países, persiste estos problemas con el mal manejo de los sistemas de distribución de agua potable debiendo poner aún mayor interés, en que, cada empresa dotadora del servicio de agua potable tenga, por lo menos, un control de las rede de distribución a través de un modelo hidráulico para disminuir las perdías (José et al., 2012).

### **1.1 Antecedentes**

En el cantón Cuenca, provincia del Azuay, la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca, es la encargada en el abastecimiento de agua potable, de entre otros servicios básicos, siempre enfocada en el manejo eficiente de sus redes de distribución, y más aún en los sectores urbanos de la ciudad de Cuenca, en donde existen densidades poblacional altas, y donde, de existir discontinuidad en el servicio por problemas operacionales como roturas, la complicación sería grave por la cantidad de personas afectadas.

Entre los sectores urbanos importantes en la ciudad de Cuenca, y motivo del estudio, es el sector del Cebollar, debido a su densidad poblacional, y la existencia de comercios importantes, por lo que la Empresa está interesada en mejorar la gestión, operación y mantenimiento de este sistema de abastecimiento, a través de la elaboración de un modelo hidráulico.

Considerando lo anterior, el presente trabajo plantea obtener un modelo digital de la red de distribución, cercano a lo real, para utilizarlo en la planificación futura del sector Cebollar 3.2 centro, así como en la toma de decisiones diarias de operación y mantenimiento de la infraestructura, manejando eficientemente el sistema de distribución de agua potable, y disminuyendo las pérdidas de agua potable causadas por errores durante el funcionamiento de la red

### **1.2 Justificación**

En base a que la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca tiene como objetivo el manejo eficiente de sus recursos, viéndose esto reflejando en su interés en reducir las pérdidas de agua potable en su distribución, es por eso que, este trabajo pretende solucionar parte de estos requerimientos, entorno al sector del Cebollar 3.2 Centro, dando como alternativa, un modelo hidráulico, calibrado y validado, que sea de utilidad para relacionar la parte operativa de las redes y la información topológica de la infraestructura, con el cual se podrán analizar diferentes eventos, los cuales facilitaran el entendimiento del comportamiento del sistema.

Por lo tanto, es necesario desarrollar una metodología de elaboración de un modelo aplicando un software que facilite este análisis, que permita evaluar el sector y se pueda definir diferentes escenarios operativos, verificando su funcionamiento.

### **1.3 Hipótesis**

El modelo hidráulico calibrado, permite simular el comportamiento de las redes de distribución para diferentes escenarios de operación y ser utilizado para las tareas diarias de toma de decisiones por parte de la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo General**

Establecer un modelo hidráulico para simular el comportamiento hidráulico aproximado a la realidad de la infraestructura de distribución de agua potable del sector Cebollar 3.2 Centro, con el cual se pueda analizar diferentes escenarios operativos del sistema.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Crear un modelo hidráulico de la zona de estudio a través de la herramienta computacional, en base a los datos proporcionados por la Empresa ETAPA EP.
- Calibrar el modelo hidráulico utilizando las mediciones de parámetros de campo en las redes de distribución.
- Determinar escenarios donde se puedan analizar vulnerabilidades operativas del sector de distribución.
- Determinar un régimen de presiones adecuadas para el óptimo funcionamiento y proponer el refuerzo del sistema de distribución de la zona de estudio.
- Deducir las conclusiones de la investigación y recomendaciones.

## **2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Definiciones Generales**

#### **2.1.1 Agua potable.**

Agua que puede ser consumida sin restricción debido a que, gracias a su calidad, no representa un riesgo para la salud, ya que cumple con normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales.

### **2.1.2 Contaminación**

Presencia de materia orgánica, radiactiva o biológica en el agua la cual tiende a degradar su calidad de tal manera que se constituye en un peligro o una amenaza para el uso del agua (NORMA CO 10.07 - 601, 1992).

### **2.1.3 Contaminante.**

Cualquier elemento o sustancia física, química, biológica o radiológica presente en el agua en cantidad que se encuentren sobre los límites permisibles (NORMA CO 10.07 - 601, 1992).

### **2.1.4 Calidad física.**

El valor máximo de color se fija en 300 unidades de color, una cifra menor señala una calidad aceptable para el tratamiento, si se sobrepasa dicha cifra puede ser necesario un tratamiento especial para que el agua satisfaga las normas de agua potable. No se fija límite para la turbiedad pues este problema y su tratamiento se decidirán especialmente en cada caso (NORMA CO 10.07 - 601, 1992).

### **2.1.5 Límite máximo tolerable.**

Concentración o cantidad deseable de un componente presente en el agua, garantizando que ésta será agradable a los sentidos y no causará un riesgo a la salud del consumidor (NORMA CO 10.07 - 602, 1992).

### **2.1.6 Límite máximo permisible.**

Concentración o cantidad máxima de un componente presente en el agua, garantizando, que ésta será agradable a los sentidos y no causará un riesgo a la salud del consumidor (NORMA CO 10.07 - 602, 1992).

### **2.1.7 Sistema de abastecimiento de Agua Potable.**

Consiste en un conjunto de obras necesarias para captar, conducir, tratar, almacenar y distribuir el agua desde fuentes naturales ya sean subterráneas o superficiales hasta las viviendas de los habitantes que serán favorecidos con dicho sistema (NORMA CO 10.07 - 602, 1992).

### **2.1.8 Período de diseño.**

Lapso durante el cual la obra cumple su función satisfactoriamente sin necesidad de



ampliaciones(NORMA CO 10.07 - 602, 1992).

### **2.1.9 Vida útil**

Lapso de tiempo, luego del cual la obra o equipo debe ser reemplazado por obsoleto.

### **2.1.10 Dotación media actual.**

Cantidad de agua potable, consumida diariamente, en promedio, por cada habitante, al inicio del período de diseño.

### **2.1.11 Dotación media futura.**

Cantidad de agua potable, consumida diariamente, en promedio, por cada habitante, al final del período de diseño.

### **2.1.12 Caudal medio anual.**

Caudal de agua, incluyendo pérdidas por fugas, consumido en promedio, por la comunidad.

### **2.1.13 Caudal máximo diario.**

Caudal medio consumido por la comunidad en el día de máximo consumo. (NORMA CO 10.07 - 602, 1992)

### **2.1.14 Caudal máximo horario.**

Caudal medio consumido por la comunidad en el día de máximo consumo. (NORMA CO 10.07 - 602, 1992)

### **2.1.15 Nivel de servicio.**

Grado de facilidad y comodidad con el que los usuarios acceden al servicio que les brindan los sistemas de abastecimiento de agua, disposición de excretas o residuos líquidos. (NORMA CO 10.07 - 601, 1992)

### **2.1.16 Detección de fugas.**

El control de agua no contabilizada es un conjunto armónico de actividades, realizadas por una institución o empresa, destinadas a alcanzar y mantener un nivel en que los componentes de agua no contabilizada debidas a fugas, reboses, usos clandestinos, desperdicios, consumos operacionales, consumos especiales, errores de medición y errores de estimación, sean los mínimos posibles en condiciones de viabilidad técnico,

económica, financiera, institucional, política y social. (EtapaEp, 2019)

#### **2.1.17 Pérdida de agua potable.**

Se define como pérdidas la diferencia entre la estimación o medida del agua que ingresa al sistema de distribución, y el consumo asumido para las conexiones prediales.

#### **2.1.18 Pérdidas físicas.**

Volúmenes de agua que no se consumen, ya que se perdieron durante el trayecto entre las plantas de tratamiento de agua a los clientes. Estas fugas se producen, principalmente, por el desgaste de las tuberías, sobrepresiones, etc. Pueden ser visibles, que aparecen en la superficie del pavimento y aceras; o no visibles, que no aparecen en la superficie y cuya ubicación depende del uso de equipos que escanean las redes. (EtapaEp, 2019)

#### **2.1.19 Pérdidas comerciales.**

Son las pérdidas de agua no físicas que, por temas no controlados por las empresas como los fraudes clandestinos y la inexactitud de la medición, no se logran facturar unos volúmenes de agua producidos y consumidos por los clientes.

#### **2.1.20 Fugas.**

Es una pérdida de agua potable provocada por la falta de hermeticidad en el sistema de distribución: reboses de reservas, roturas en tuberías y acometidas domiciliarias (EtapaEp, 2019).

#### **2.1.21 Factor de mayoración máximo diario.**

Es la relación entre caudal máximo diario al caudal medio. (NORMA CO 10.07 - 602, 1992)

#### **2.1.22 Factor de mayoración máximo horario.**

Es la relación entre el caudal máximo horario al caudal medio.

#### **2.1.23 Tanque de almacenamiento.**

Estructura que debe almacenar la cantidad suficiente de agua para satisfacer el consumo de la población, y regula la presión adecuada en el sistema de distribución dando así un servicio eficiente.

**2.1.24 Red de distribución.**

Conjunto de instalaciones que la empresa de abastecimiento tiene para transportar desde el punto o puntos de almacenamiento hasta suministrar al cliente en condiciones óptimas.

**2.1.25 Red Abierta.**

La red está constituida por tuberías que tienen la forma ramificada a partir de una línea principal. La red abierta puede aplicarse en poblaciones semi-dispersas y dispersas, o cuando por razones topográficas o de conformación de la población no es posible un sistema cerrado. (NORMA CO 10.07 - 601, 1992)

**2.1.26 Red cerrada.**

La red está constituida por tuberías que tienen la forma de circuitos cerrados o anillos. La red cerrada puede aplicarse en poblaciones concentradas y semi-concentradas mediante redes totalmente interconectadas o redes parcialmente interconectadas. La red puede estar compuesta por una red de tuberías principales y una red de tuberías secundarias (NORMA CO 10.07 - 601, 1992).

**2.1.27 Red Mixta.**

De acuerdo a las características topográficas y distribución de la población, pueden aplicarse en forma combinada redes cerradas y redes abiertas.

Debido a las condiciones topográficas, viales y a la distribución espacial inherente al sector de estudio, se proyecta una red de tipo abierta o ramificada. (NORMA CO 10.07 - 601, 1992)

**2.1.28 Unidad de agua.**

Conjunto de grifos públicos, lavanderías y duchas, al servicio de la población.

**2.1.29 Conexión domiciliaria.**

Vinculación de la instalación interna de abastecimiento de agua de una vivienda con la red de distribución de agua potable.

**2.1.30 Usuario.**

Cualquier persona individual pública o privada que hace uso del sistema de agua potable.

**2.1.31 Abonado.**

Cualquier persona natural o jurídica que celebra un contrato para el servicio de agua potable.

#### **2.1.32 Tarifa referencial de consumo.**

Costo medio de metro cúbico de agua potable consumido por un abonado.

#### **2.1.33 Macromedición.**

Medición de caudales generales entregados a la red de distribución, es decir es la medición de volúmenes entregados a los diferentes sistemas y sectores de distribución, con la finalidad de disponer de los datos precisos necesarios que conjuntamente con los datos de micromedición, sirve para evaluar el índice de agua no contabilizada en cada zona, lo que permite acometer con precisión en aquellos que muestren un incremento injustificado de este parámetro, logrando la optimización de recursos (Etapa Ep., 2019a).

#### **2.1.34 Micromedición.**

Es el conjunto de actividades que permiten conocer los volúmenes de agua consumidos por la población, pudiendo obtenerse en la actualidad estos datos por: sistema, sector y eventualmente por subsector, además se pueden obtener volúmenes de consumo en las distintas categorías: comercial, residencial, industrial (Etapa Ep., 2019b).

#### **2.1.35 Índice de agua no contabilizada.**

El Índice de Agua No Contabilizada es un parámetro de control por medio del cual se puede conocer la relación entre los volúmenes del agua producida y consumida (BID, 2022).

#### **2.1.36 Catastro de redes.**

Es un sistema y archivo que contiene información relacionada con todos los detalles de ubicación y especificaciones técnicas de los elementos de una red y se utiliza como un instrumento para el análisis, evaluación, formulación y desarrollo de programas para la toma de decisiones.

#### **2.1.37 Sectorización de redes.**

Estrategia de gestión que implica su subdivisión en subgrupos homogéneos a fin poder gestionar de mejor manera cada sub-área (sector) mediante el monitoreo permanente de los caudales que ingresan a cada sector. (Etapa Ep., 2019a)

### **2.1.38 Modelación hidráulica.**

Es la construcción digital (virtual) de una red de distribución de agua, que permite reproducir y prever el comportamiento de la misma, para poder realizar pruebas y definir soluciones. La utilidad práctica de un software hidráulico reside en que permite hacer pruebas de “qué es lo que pasaría si...”; esto sin grandes inversiones de tiempo y dinero.

### **2.1.39 Calibración de un modelo.**

Consiste en modificar las variables del modelo con el fin de que los valores calculados coincidan con la mayor exactitud posible con los valores observados.

### **2.1.40 Validación de un modelo.**

Validación es el proceso de comprobar que los resultados aportados por el modelo para las variables de salida y de estado no son muy diferentes a los medidos en la realidad. Existen diferentes índices que permiten cuantificar el grado de ajuste entre los datos medidos y los resultados del modelo.

### **2.1.41 Software de modelación.**

Es un programa que permite crear objetos bidimensionales y tridimensionales por computadora, que permite simular e interpretar diferentes problemas y situaciones de la vida real.

### **2.1.42 Software WaterGems.**

Herramienta de ayuda para la toma de decisiones completa y fácil de usar para los profesionales del agua que diseñan, planifican y operan sistemas de distribución de agua.

### **2.1.43 Esqueletización de la red.**

Consiste en la simplificación de un sistema a partir de la incorporación de la información y los elementos más importantes. Este paso proceso es importante ya que cualquier error pueden hacer que el modelo no funcione correctamente.

### **2.1.44 Tubería.**

Es un conducto que cumple la función de transportar agua, en sistemas de abastecimiento de agua. Pueden ser de diferentes tipos en función del material con el que están hechas (plástico, metal, etc.). (NORMA CO 10.07 - 601, 1992)

**2.1.45 Nodos.**

Los nodos son puntos en donde se unen tuberías, pueden ser puntos de paso de flujo o de terminación de una tubería. Comprenden tapones, uniones y cambios de sección.

**2.1.46 Hidrantes.**

Componentes que se conectan a la red de abastecimiento de agua y cuya función es suministrar agua en caso de incendio.

**2.1.47 Válvula de control.**

Instrumento mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

**2.1.48 Válvula de operación.**

Instrumento mecánico que facilita el seccionamiento de la red y abastece a un sector.

**2.1.49 Válvula de purga.**

Igual a una válvula de control, pero esta válvula está ubicada estratégicamente en puntos bajos de la red, y se utiliza para la expulsión de sedimentos que se generan en el tiempo dentro de la infraestructura.

**2.1.50 Válvula reductora de presión.**

Es un elemento que se utiliza para mantener una presión constante en su salida (extremo aguas abajo), en un valor que se conoce como presión de trabajo, independientemente de la magnitud de la presión aguas arriba, y como su nombre indica, tienen como misión evitar las elevadas presiones que pueden alcanzarse en algunos puntos de la red debido, por ejemplo, a las depresiones del terreno, a la cercanía de la estación de bombeo o a cualquier otra causa.

Sin embargo, la definición anterior no se ajusta totalmente a la realidad y presenta algunas excepciones. En particular, si la presión aguas arriba se hace inferior a la presión de tarado, entonces la válvula se encuentra totalmente abierta y no actúa sobre el sistema, y puede considerarse como un elemento resistente con coeficiente  $k$  constante.

Por otra parte, si la presión aguas abajo excede a la de tarado, la válvula impide el flujo

en sentido contrario, actuando como una válvula de retención; se trata pues de un elemento unidireccional.

#### **2.1.51 Válvula de aire.**

Elementos que se instalan para controlar de forma automática la presencia de aire en conducciones y distribuciones de agua.

#### **2.1.52 Válvula de bola.**

Pueden ser de dos o tres vías y cuentan con un cierre esférico giratorio y una bola en su interior con un lateral perforado. Cuando se gira en una dirección, esa incisión se alinea con el paso del agua, mientras que, cuando se gira en la opuesta, la llave se cierra y el orificio permanece en sentido manera perpendicular a la entrada y a la salida del agua, lo que impide que fluya.

#### **2.1.53 Válvula compuerta.**

Permite la circulación del fluido alzando una compuerta o cuchilla redonda o rectangular. De funcionamiento sencillo y bajo coste de instalación, en este tipo de válvulas la compuerta se ajusta al cierre por completo, lo que permite obtener una absoluta estanqueidad e impide que exista la posibilidad de fugas. Siempre debe permanecer abierta o cerrada por completo.

#### **2.1.54 Válvula mariposa.**

Esta llave de paso, que destaca por su versatilidad, es útil para detener o regular la circulación del agua potable en una tubería, incrementando o aminorando la sección de paso mediante una placa que gira en un eje. A esta placa se la suele llamar mariposa, de ahí el nombre de la válvula. Para abrirla por completo sólo es necesario ejercer una rotación de 90 grados del disco. La llave de paso de agua potable de mariposa siempre está contenida en el interior de la propia conducción y cuando está abierta por completo presenta una baja pérdida de carga. Debido a la búsqueda del mayor ahorro energético posible, esta última característica ha hecho su introducción y difusión haya ido en aumento.

### **2.2 Ecuaciones generales.**

La mecánica de fluidos estudia las leyes del comportamiento de los fluidos en equilibrio,

hidrostática, y en movimiento, hidrodinámica (Darío Pasinato, n.d.).

### 2.2.1 Fluido.

Un fluido es un medio continuo con magnitudes características (viscosidad y módulo de elasticidad) uniformes y fácilmente deformable, que no puede soportar ningún esfuerzo cortante por pequeño que sea.

### 2.2.2 Flujo uniforme.

Variables de estado no cambian con respecto al espacio. En el caso en que la dimensionalidad sea 0, al flujo se le denomina uniforme.

$$\frac{\delta u}{\delta x} = 0 \quad \frac{\delta \eta}{\delta x} = 0 \quad 1$$

### 2.2.3 Flujo no uniforme.

Variables de estado cambian con respecto al espacio. En el caso en que la dimensionalidad sea mayor a uno, al flujo se le denomina no uniforme.

$$\frac{\delta u}{\delta x} \neq 0 \quad \frac{\delta \eta}{\delta x} \neq 0 \quad 2$$

### 2.2.4 Flujo estacionario.

Cuando el campo de velocidades no depende de la variable tiempo se dice que es estacionario o permanente. Existe temporalidad asociada al flujo, pero el módulo es constante, se denomina estacionario.

$$\frac{\delta u}{\delta t} = 0 \quad \frac{\delta \eta}{\delta t} = 0 \quad 3$$

### 2.2.5 Flujo transitorio.

Cuando el campo de velocidades depende de la variable tiempo se dice que es no estacionario o transitorio. Existe temporalidad asociada al flujo y el valor del módulo no es constante, se denomina no estacionario o transitorio.

$$\frac{\delta u}{\delta t} \neq 0 \quad \frac{\delta \eta}{\delta t} \neq 0 \quad 4$$

### 2.2.6 Números característicos.

Los números característicos de un flujo relaciona la inercia, la gravedad y la viscosidad.

### 2.2.7 Número de Reynolds.

Un parámetro adimensional que relaciona entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas.



$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} \quad 5$$

L: Longitud.

$\rho$ : Densidad.

v: Velocidad.

$\mu$ : Viscosidad.

Laminar  $Re < 2000$

Transición  $2000 < Re < 4000$

Turbulento:  $Re > 4000$

### 2.2.8 Ecuación de Bernoulli.

Proviene de la conservación de la energía y la simplificación de la ecuación de Euler. Representa el balance energético del recorrido que hace una partícula de fluido entre dos puntos concretos, a lo largo de una línea de corriente, e inmersa en un flujo ideal, unidimensional, permanente e incompresible.

$$\frac{P_1}{\rho g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = cte \quad 6$$

Considerando la adición o pérdida de energía:

$$\frac{P_1}{\rho g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \sum H_p - \sum H_f = \frac{P_4}{\rho g} + z_4 + \frac{v_4^2}{2g} \quad 7$$

$\frac{P_1}{\rho g}$ : Altura de presión (energía elástica)

$z_1$ : Altura geométrica (energía potencial gravitatoria)

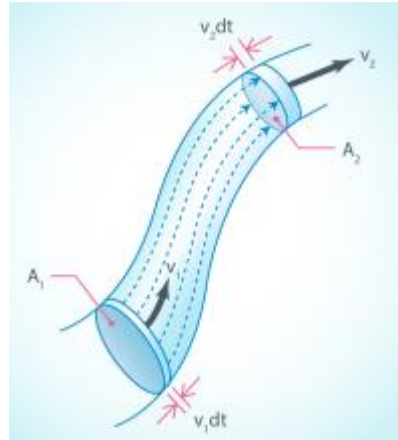
$\frac{v_1^2}{2g}$ : Altura cinética (energía cinética)

$H_p$ : Adición de energía de presión (energía elástica)

$H_f$ : Pérdida de energía

### 2.2.9 Ecuación de continuidad.

Si no hay pérdidas de fluido dentro de un tubo uniforme, la masa de fluido que entra es igual a la que sale en un tubo en un tiempo.



**Figura 1.** Volumen de control

**Fuente:** (Adrián & Carballo, n.d.)

Por ejemplo, en la **Figura 1**, la masa ( $\Delta m_1$ ) que entra y la masa ( $\Delta m_2$ ) que salen en el tubo durante un tiempo corto ( $\Delta t$ ) son:

$$\Delta m_1 = \rho_1 \Delta V_1 = \rho_1 A_1 \Delta x_1 = \rho_1 A_1 v_1 \Delta t \quad 8$$

$$\Delta m_2 = \rho_2 \Delta V_2 = \rho_2 A_2 \Delta x_2 = \rho_2 A_2 v_2 \Delta t \quad 9$$

Donde  $A_1$  y  $A_2$  son las áreas transversales del tubo en la entrada y salida. Puesto que la masa se conserva ( $\Delta m_1 = \Delta m_2$ ) se tiene:

$$\rho_1 A_1 v_1 \Delta t = \rho_2 A_2 v_2 \Delta t \quad 10$$

A este resultado se denomina ecuación de continuidad. Si un fluido es incompresible, su densidad  $\rho$  es constante, así que:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad 11$$

Donde dicho resultado se conoce como la ecuación de continuidad de un fluido ideal. Por otro lado, la cantidad  $Av$  se conoce como caudal promedio  $Q$  y representa el volumen del fluido que pasa por un punto en el tubo por unidad de tiempo. La definición formal para el caudal es:

$$Q \equiv dV/dt \quad 12$$

### 2.2.10 Ley conservación de masa.

La masa no se crea ni se pierde, por lo tanto, la masa que entra en un intervalo de tiempo es igual a la que sale en ese mismo intervalo de tiempo. Esto se cumple sin importar que

tan pequeño sea el intervalo de tiempo.

Ante una variación en el área de la sección transversal al flujo las magnitudes de las velocidades tendrán que cambiar de manera inversa, esto es, si disminuye el área de una sección de una tubería, la rapidez del flujo en esa misma sección será mayor y viceversa.

$$m_1 v_1 = m_2 v_2 \quad 13$$

### 2.2.11 Ecuación de Darcy – Weisbach.

Permite el cálculo de la pérdida de carga debida a la fricción dentro una tubería. La ecuación fue inicialmente una variante de la ecuación de Prony, desarrollada por el francés Henry Darcy. En 1845 fue refinada por Julius Weisbach, de Sajonia, hasta la forma en que se conoce actualmente:

$$H_f = \lambda * \left(\frac{L}{D}\right) * \left(\frac{v^2}{2g}\right) \quad 14$$

Donde  $h_f$  es la pérdida de carga debida a la fricción, calculada a partir de la fricción  $\lambda$  (término conocido como factor de fricción de Darcy o coeficiente de rozamiento), la relación entre la longitud y el diámetro de la tubería  $L/D$ , la velocidad del flujo  $v$ , y la aceleración debida a la gravedad  $g$  que es constante. El factor de fricción  $\lambda$  varía de acuerdo a los parámetros de la tubería y la velocidad del flujo, y puede ser conocido con una gran exactitud dentro de ciertos regímenes de flujo. Sin embargo, los datos acerca de su variación con la velocidad eran inicialmente desconocidos, por lo que esta ecuación fue inicialmente superada en muchos casos por la ecuación empírica de Prony. Años más tarde se evitó su uso en diversos casos especiales en favor de otras ecuaciones empíricas, principalmente la ecuación de Hazen-Williams, ecuaciones que, en la mayoría de los casos, eran significativamente más fáciles de calcular. No obstante, desde la llegada de las calculadoras la facilidad de cálculo no es mayor problema, por lo que la ecuación de Darcy-Weisbach es la preferida.

Para calcular las pérdidas de energía por fricción en una tubería puede utilizarse la expresión racional de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g} \quad 15$$

$f$ = factor de fricción.

Si el flujo es laminar  $f = 64/Re$

Si el flujo es turbulento el factor de fricción se obtiene con la relación para  $f$  de Colebrook-White.

### 2.2.12 Ecuación de Hazen – Williams

La ecuación de Hazen-Williams, es una fórmula empírica (es decir, una correlación puramente experimental), que se utiliza para calcular la pérdida de carga en una tubería. Como se puede ver, es bastante más sencilla que la ecuación de Darcy-Weisbach, sin embargo, sólo es aplicable bajo condiciones muy especiales del flujo (bajo condiciones de flujo turbulento), y únicamente para el agua.

$$j = \frac{10.674 \cdot Q^{1.852}}{C^{1.852} \cdot d^{4.871}} \quad 16$$

### 2.3 Introducción y Estado del arte.

Al hablar de pérdidas de agua, se aborda la gestión de las infraestructuras, control de caudales, destinos del agua, recuperación económica, ambiental y la repercusión en la calidad y continuidad del servicio del abastecimiento y distribución del agua potable, por lo que es un reto y un desafío gestionar y controlar las pérdidas de agua. En la región de Latinoamérica y el Caribe se observan altos niveles de pérdidas de agua en torno a 45 – 50% (BID, 2022).

Alrededor de 2000 millones de personas utilizan fuentes de agua no aptas para el consumo humano, afectando su salud con enfermedades diarreicas y con enfermedades respiratorias agudas, convirtiéndose en un factor imprescindible para la salud pública de la población el acceso a fuentes aptas para el consumo y para uso doméstico. La mejora en la gestión de las pérdidas de agua impulsa el crecimiento económico de los países, posibilitando abastecer a más gente, mejorando su calidad de vida, así como reduciendo en gran medida la pobreza (Oms, 2022).

Dado pues que la demanda de agua potable es fundamental para la población, es importante desde todo punto de vista (salud, nivel de vida, ambiental, eficiencia, etc.) el correcto funcionamiento de toda infraestructura existente para el abastecimiento de este

servicio a la población, (Koor et al., 2014), las pérdidas de agua potable que no se pueden facturar, complica el aumento al acceso de la población al agua potable, así como una enorme pérdida energética(Cuyo et al., n.d.).

En este contexto, las empresas administradoras de agua potable buscan satisfacer las demandas de consumo de la población, así como, tener un control eficiente de su infraestructura, de manera que se disminuyan las pérdidas de agua, evitando problemas de desabastecimiento futuros, y contando con los recursos para poder mantener en óptimas condiciones la infraestructura actual y ampliarla a futuro, dando acceso al agua potable a más población. Los problemas en las redes de agua potable suelen ser ocasionados por desperfecto en la infraestructura de las tuberías, cambios de presión, efectos de temperatura, desgaste por fricción entre partes, obstrucción en la tubería, entre otras.

Para analizar y tratar de predecir estos problemas que se generan en la red de distribución de agua potable, es importante que las empresas que manejan los recursos hídricos cuenten con un modelo hidráulico de las redes, el cual simule el comportamiento real de la infraestructura existente, facilitando el control, evaluación y la toma de decisiones para mejorar y mantener el funcionamiento del sistema, disminuyendo así las fugas, consumo de agua potable y menor inversión de recursos económicos invertidos en las reparaciones (Cuyo et al., n.d.).

En la actualidad, los modelos computacionales aplicados a las redes de distribución de agua potable han alcanzado gran aceptación por parte de la comunidad científica, siendo una herramienta fundamental para el diseño y la gestión continúa de las redes, ya que permiten una representación verdadera en espacio y tiempo de lo que ocurre en las redes (Rodríguez-Procel & Muñoz, 2021).

Se han desarrollado proyectos que pretenden representar adecuadamente las redes reales mediante técnicas manuales o automáticas para la generación de modelos virtuales, mediante algoritmos que correlacionan diferentes datos con el trazado de la red (Sitzenfrei et al., 2013). Los problemas de calibración están formulados como una optimización de

variables, donde el modelo estima parámetros de la red de distribución, disminuyendo la desviación cuadrada, entre la simulación y los datos observados (Rodríguez-Procel & Muñoz, 2021).

En 2015 la Revista Iberoamericana de Cuenca con sede en México se realizó un artículo en donde se detalla como elaborar una red de distribución, mostrándonos toda la metodología que puede llegar a tener, y como los softwares computacionales para el análisis mediante de redes mediante simulaciones, son prácticamente indispensables para la elaboración de estas modelos a pequeña y gran escala.

Los modelos hidráulicos, además, se construyen principalmente a partir de Sistemas de Información Geográfica (SIG) se pueden ejecutar en plataformas múltiples, que generalmente son paquetes comerciales como WaterGEMS. Sin embargo, existen buenos simuladores de libre acceso para modelos hidráulicos como EPANET.

### **3. CAPITULO 3: MATERIALES Y METODOS**

Para cumplir con los objetivos planteados en el presente estudio, se siguió los siguientes pasos para poder realizar la Simulación del comportamiento de la red de distribución de agua potable del sector Cebollar 3.2 Centro a través de un modelo hidráulico para el análisis de vulnerabilidad operativas del sistema:

- Solicitud, recopilación y depuración de información entregada por ETAPA EP.
- Luego de procesada la información, se elabora el modelo hidráulico con el software WaterGems (Esqueletización de la red).
- Se analiza la macro y micromedición del sector 3.2 centro, en donde se obtienen las demandas promedio para cada nodo, las cuales fueron mayoradas con un porcentaje de fugas que se calculó de la diferencia del volumen suministrado, versus el volumen facturado.
- El modelo hidráulico generado inicialmente en periodo estático (demandas en nudos, piezométrica y características de los elementos de regulación no se alteran a lo largo del tiempo), se transforma en periodo extendido (o cuasiestático,

condiciones de contorno varían lentamente en el tiempo), a través de la curva patrón de consumo horario.

- Se calibra el modelo mediante la herramienta Darwin Calibrator, a través de las presiones tomadas en campo de algunos subsectores y la variación de los coeficientes de rugosidad iniciales de las tuberías, y pérdidas de carga de las válvulas de operación de cada subsector.
- Se valida el modelo mediante la herramienta Darwin Calibrator, a través de las presiones tomadas en campo de otros subsectores.
- Una vez validado el modelo, se verifican vulnerabilidades del sistema, se analizan escenarios desfavorables y se realizan recomendaciones.

### 3.1 Recopilación de información y descripción del sector

El sector denominado Cebollar 3.2 Centro, tiene un área de servicio total de 265 ha., en donde en promedio se encuentran siendo abastecidos de agua potable 8020 usuarios (un usuario corresponde a una vivienda, y considerando una ocupación de 4.05 hab/vivienda según el censo poblacional 2010 del Ecuador, aproximadamente se sirve a 10,725 habitantes).

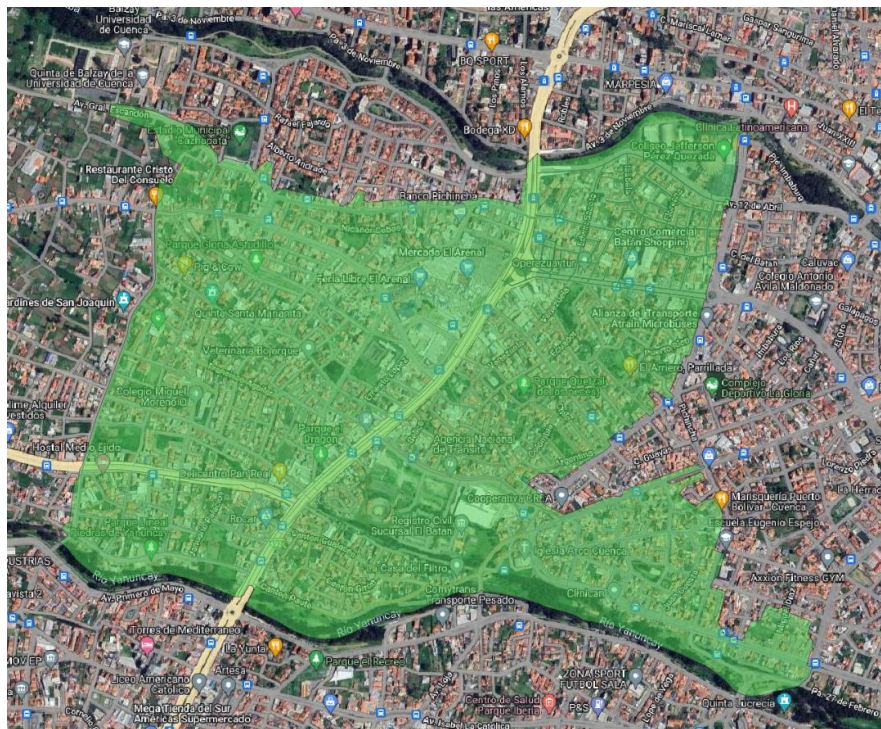


Figura 2. Sector Cebollar 3.2 Centro

Fuente: Autor

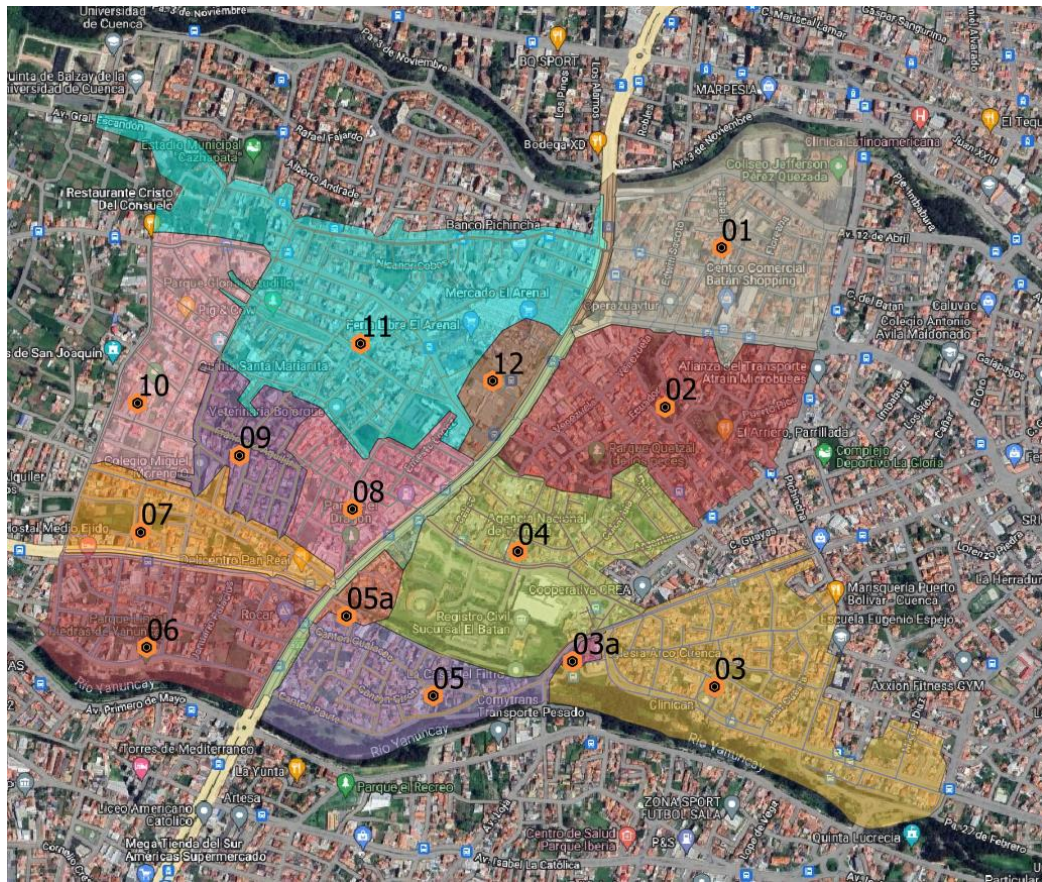


Figura 3. Subsectores de Sector Cebollar 3.2 Centro

Fuente: Autor

El sector Cebollar 3.2 Centro, a su vez se divide en 12 subsectores como se indica en la **Figura 3**, estos subsectores se encuentran abastecidos a través válvulas de operación, y se encuentran independizados uno de otros mediante válvulas de control, las cuales operacionalmente se mantienen cerradas, y se encuentran en las fronteras entre cada subsector. A continuación, se indican datos importantes del sector 3.2 cebollar centro y de cada subsector:

Tabla 1. Datos sector Cebollar 3.2 Centro

Descripción	Longitud de redes	Caudal promedio	Cota min	Cota máx.	Presión mín.	Presión máx.
	(km)	l/s	msnm	msnm	mca	mca
Sector Cebollar 3.2 Centro	61	56.41	2547.0 2	2599.2 3	7.38	75.26



**Fuente:** Autor

**Tabla 2.** Datos generales de los subsectores del sector en estudio Cebollar 3.2 Centro

Descripción (Subsector)	Área (m2)	Área (Ha)	Longitud redes (km)	Usuarios (Ene 2023 - u.)	Usuarios Efectivos (facturados - Ene 2023 - u)
1	306,097.43	30.61	6.49	804	776
2	269,404.58	26.95	6.07	996	949
3	337,988.55	33.80	6.88	947	917
3a	5,101.15	0.52	0.17	18	18
4	282,719.04	28.28	4.71	647	621
5	163,706.95	16.38	3.34	379	359
5a	23,350.04	2.34	0.59	132	122
6	213,084.36	21.31	4.22	533	492
7	118,708.85	11.88	3.35	437	418
8	114,545.74	11.46	2.99	400	386
9	91,336.04	9.14	2.55	408	391
10	154,045.43	15.41	3.60	575	550
11	465,933.79	46.60	10.61	1629	1582
12	50,514.55	5.06	0.94	52	49

**Tabla 3.** Descripción de redes existentes en el Sector Cebollar 3.2 Centro

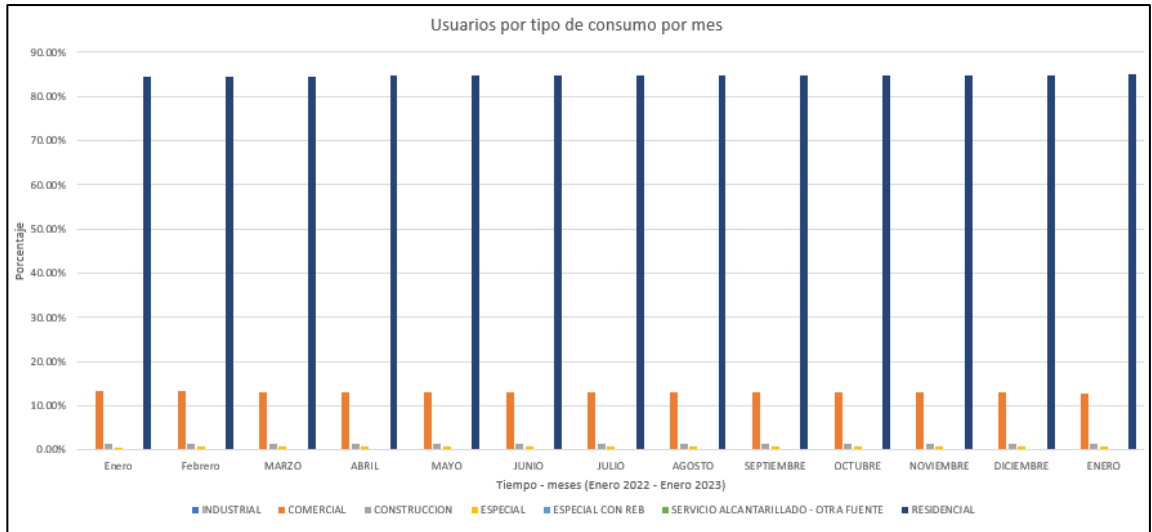
SECTOR CEBOLLAR 3.2 CENTRO	Material	Diámetro (mm)	Longitud (m)	Representación (%)
	AC	50	296.435	10.89%
		100	1358.291	
		200	1486.322	

		250	1491.601	
		300	1906.198	
	<b>HD</b>	500	343.071	<b>2.88%</b>
		600	1384.574	
	<b>PVC</b>	50	5053.03	<b>86.24%</b>
		63	31902.753	
		100	911.984	
		110	8215.007	
		160	1297.254	
		200	3478.887	
		250	703.619	
		300	238.797	

Como se puede observar en la **Tabla 3**, en el sector Cebollar 3.2 Centro, la mayor parte de las redes existentes son de PVC, con una representación del 86.24%, 10.89% de asbesto cemento y un menor porcentaje, 2.88% de hierro dúctil. Estos datos nos indican que, al momento de la calibración, los parámetros de rugosidad del material PVC influenciaran en mayor porcentaje.

### 3.2 Información comercial del sector Cebollar 3.2 Centro

De la información entregada por parte de la empresa ETAPA EP, en particular de la micromedición, la cual se entregó en formato shapefile, se pudo verificar que la mayor demanda existente en el sector, es residencial, y en menor porcentaje, es comercial como se indica a continuación:

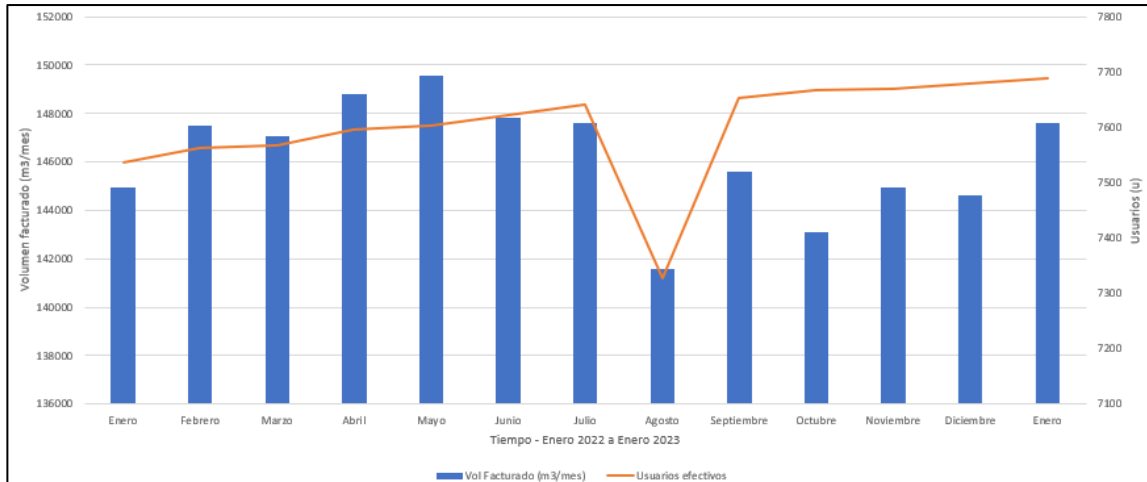


**Figura 4.** Tipos de consumo durante el periodo de micromedición enero 2022 a enero del 2023.

**Fuente:** Autor.

Como se puede ver en la **Figura 4**, el consumo residencial en el sector representa más del 85%, y aproximadamente un 15%, es de consumo comercial, esto debido a que en el sector se encuentra el mercado “El Arenal”, más conocido en la ciudad de Cuenca como “Feria Libre”, en donde existe múltiples comercios, así también, se encuentra el Coliseo Mayor, El Batán Shopping, entre otros.

Además, de la información entregada se puede verificar los volúmenes mensuales facturados, así como los usuarios efectivos (usuarios con número de medidor y lectura diferente de cero) de cada mes, esto nos servirá para poder obtener la demanda base para cada nodo del modelo hidráulico, es decir, se obtendrá una demanda anual promedio por usuario, la cual servirá para la modelación inicial en periodo estático.



**Figura 5.** Volumen mensual facturado y usuarios efectivos Periodo enero 2022 a enero 2023.

**Fuente:** Autor.

En la **Figura 5** se puede observar la variación del volumen suministrado mes a mes, y el número de usuarios activos, el cual, de igual manera, varía de mes a mes. Dentro de la información recopilada se puede verificar los usuarios que cuenta con un contador (número de medidor) y cuales no, esto nos servirá para poder corregir esta variación de usuarios que se pudo observar anteriormente, y minimizar el número de usuarios a los cuales se les otorgue una demanda estimada, debido a que no cuenta con una lectura con la cual se pueda verificar el consumo real. Por lo tanto, para otorgar demandas, se consideraran, todo los usuarios con medidor y que registren consumos, ya sea a lo largo de todo el periodo de medición, o en parte de él, obteniéndose para cada usuario con medidor y con lectura, su propio caudal promedio de consumo, por otro lado, para los usuarios con medidor pero sin ninguna lectura, se les otorgará un caudal de 16.52 m<sup>3</sup>/mes, valor similar a 16.21 m<sup>3</sup>/mes, calculado para el sector aledaño, Cebollar 3.2 Sur (Serpa García., 2022), con lo cual se puede verificar que los consumos promedio mensuales, tienen correspondencia. El volumen mensual otorgado (16.52m<sup>3</sup>/mes) corresponde al promedio de consumo mensual de los usuarios con medidor y con lectura, y finalmente, para los usuarios existentes dentro de la base de datos, pero sin medidor y sin lectura, se les depurara de la base.

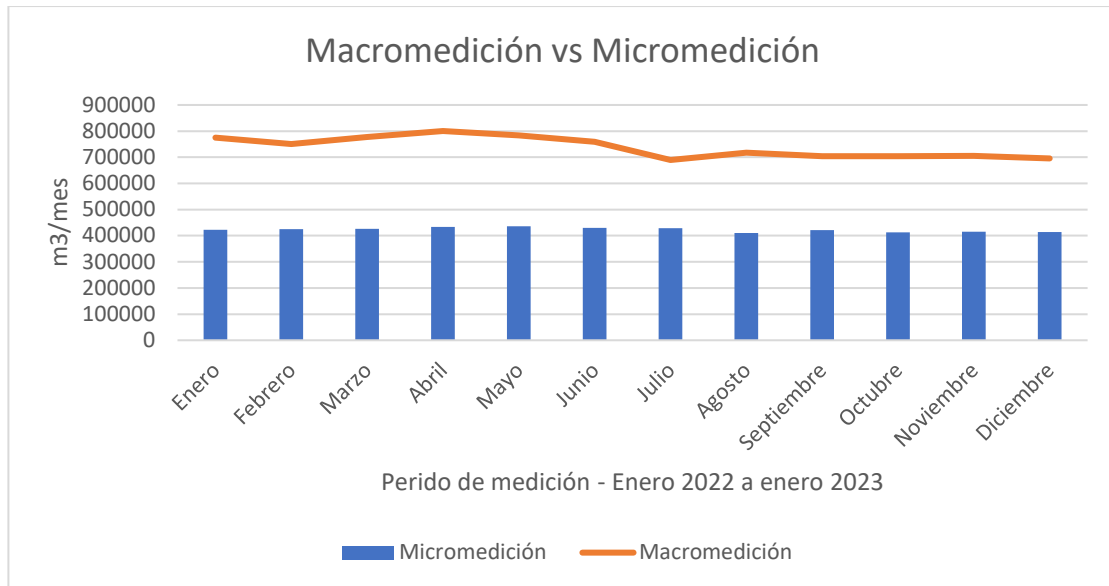
**Tabla 4.** Información de la micromedición del sector Cebollar 3.2 Centro

<b>Descripción</b>	<b>Unidad (u)</b>	<b>Representación</b>	<b>Caudal a utilizar</b>
<b>Número total de usuarios</b>	8044	100%	-
<b>Número de usuarios con medidor y con lectura</b>	7879	97.95%	Propio consumo promedio mensual
<b>Número de usuarios con medidor, pero sin lectura</b>	164	2.04%	Caudal promedio mensual de consumo estimado (16.52m <sup>3</sup> /mes)
<b>Número de usuarios sin medidor</b>	1	0.01%	Se elimina de la base de datos.

**Fuente:** Autor

Como se puede observar del total de datos de la micromedición, se depuró tan solo el 0.012%, y a tan solo el 2.039% de usuarios que cuentan con medidor, pero sin lectura, se les otorga un caudal promedio estimado de consumo mensual de 16.52 l/s.

Para calcular las pérdidas generadas desde el Tanque de almacenamiento (macromedición) hasta cada domicilio (micromedición), es decir, las pérdidas entre el volumen suministrado versus el volumen consumido y facturado, se analizó la macromedición versus la micromedición de todo el sector del Cebollar 3.2 (Norte, centro y Sur), indicando los resultados a continuación:



**Figura 6.** Datos de macro y micromedición del sector Cebollar 3.2

**Fuente:** Autor.

Como se puede observar, en cada mes existe un caudal no contabilizado entre la macromedición y la micromedición. Se calculó que las pérdidas varían entre un 40.41% a un 45.87%. Se estimó una pérdida promedio anual del 43%, valor similar al calculado por (Serpa García., 2022) en el trabajo de investigación del sector adyacente denominado Cebollar 3.2 Sur, con un valor del 40.9% por pérdidas. Este valor nos servirá para mayorar cada demanda calculada anteriormente, según la **Tabla 4**. Dándonos un caudal total del sector Cebollar 3.2 Centro de 57.82 l/s, y un caudal mayorado de 82.69 l/s, la cual es nuestra demanda base media total para el modelo hidráulico en periodo estático.

### 3.3 Modelo construido en estado estático – Descripción

La Esqueletización de modelo se lo realizó a través de la herramienta del WaterGems denominada ModelBuilder, mediante el fichero shape de tuberías entregado por ETAPA EP del catastro de agua potable del sector Cebollar 3.2 Centro, obteniéndose toda la información correspondiente a las redes (diámetro, longitud, material de las tuberías, coeficiente de rugosidad), además, se utilizó la topografía entregada para otorgar valor de elevaciones a cada nodo mediante la herramienta TRex de WaterGems. De la misma manera se utilizaron los ficheros shape entregado por ETAPA EP, para ubicación de válvulas de control, válvulas de operación, válvulas reductoras de presión. A

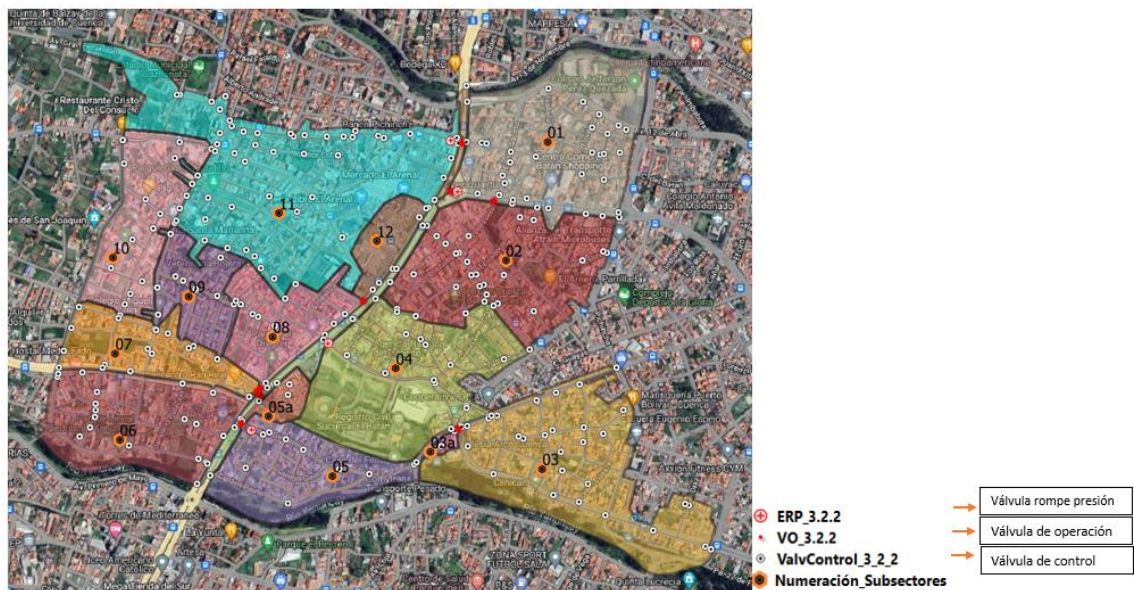
continuación, se indica la información generada a través de ModelBuilder:

**Tabla 5.** Información del modelo generado

Descripción	# de tuberías (u)	Longitud de redes (km)	# de nodos (u)	# de nodos con demanda (u)	Demanda base total (l/s)	Demanda base total (m3/mes)
Sector Cebollar 3.2 Centro	1008	60.93	838	727	82.69	214332.48

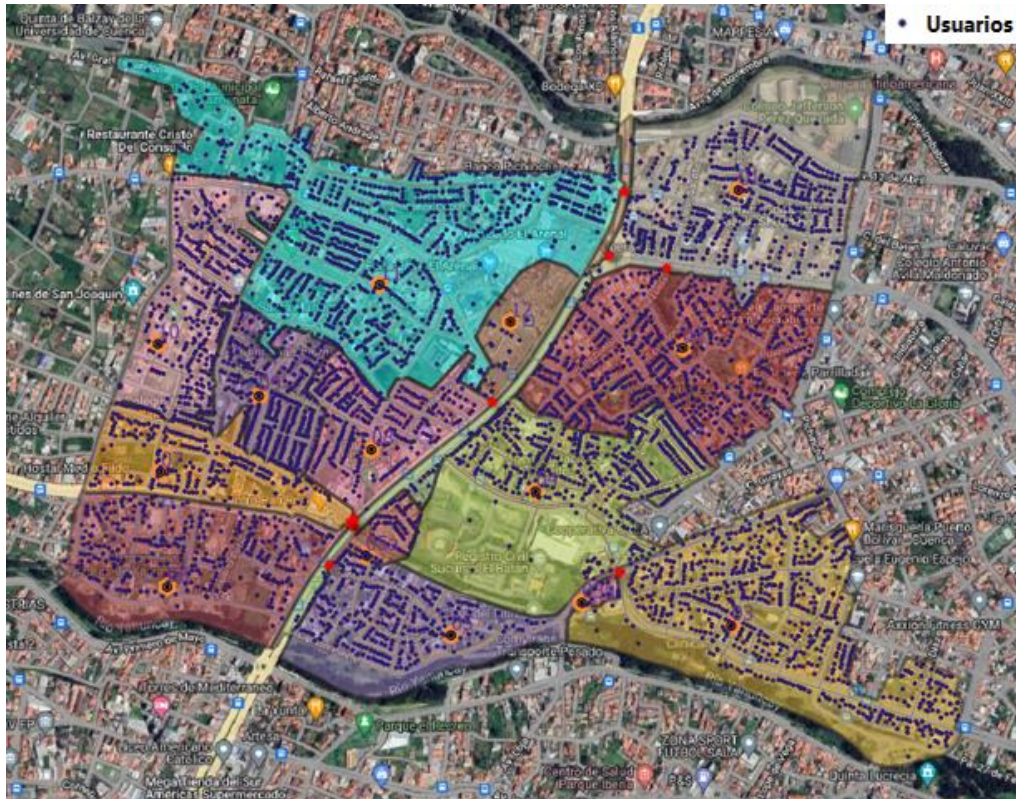
**Fuente:** Autor

La empresa ETAPA EP también proporcionó el manual de operación y mantenimiento del sector Cebollar 3.2 Centro (se adjunta en la sección de anexos), con el cual, se configura las válvulas de operación (abiertas), válvulas de control (las de frontera entre un subsector y otro, cerradas, las demás, abiertas), y válvulas reductoras de presión (configuración de la presión de salida).



**Figura 7.** Modelo hidráulico – Válvulas de control, válvulas de operación y estaciones reductoras de presión.

**Fuente:** Autor



**Figura 8.** Usuarios georreferenciados.

**Fuente:** Autor

En la **Figura 8** se visualizan los usuarios georreferenciados, los cuales ya cuentan con su demanda base (como se indicó en **Tabla 4**), y que, mediante la herramienta LoadBuilder del WaterGems, se añadirán a la tubería más cercana, y posteriormente, al nodo más cercano, de manera que las demandas no se distribuyan proporcionalmente, sino que, las demandas se distribuyan según la cercanía a la tubería, como conexiones domiciliarias, distribuyéndose de forma similar a la realidad.

De esta manera se obtiene el modelo del sector Cebollar 3.2 centro en estado estático.

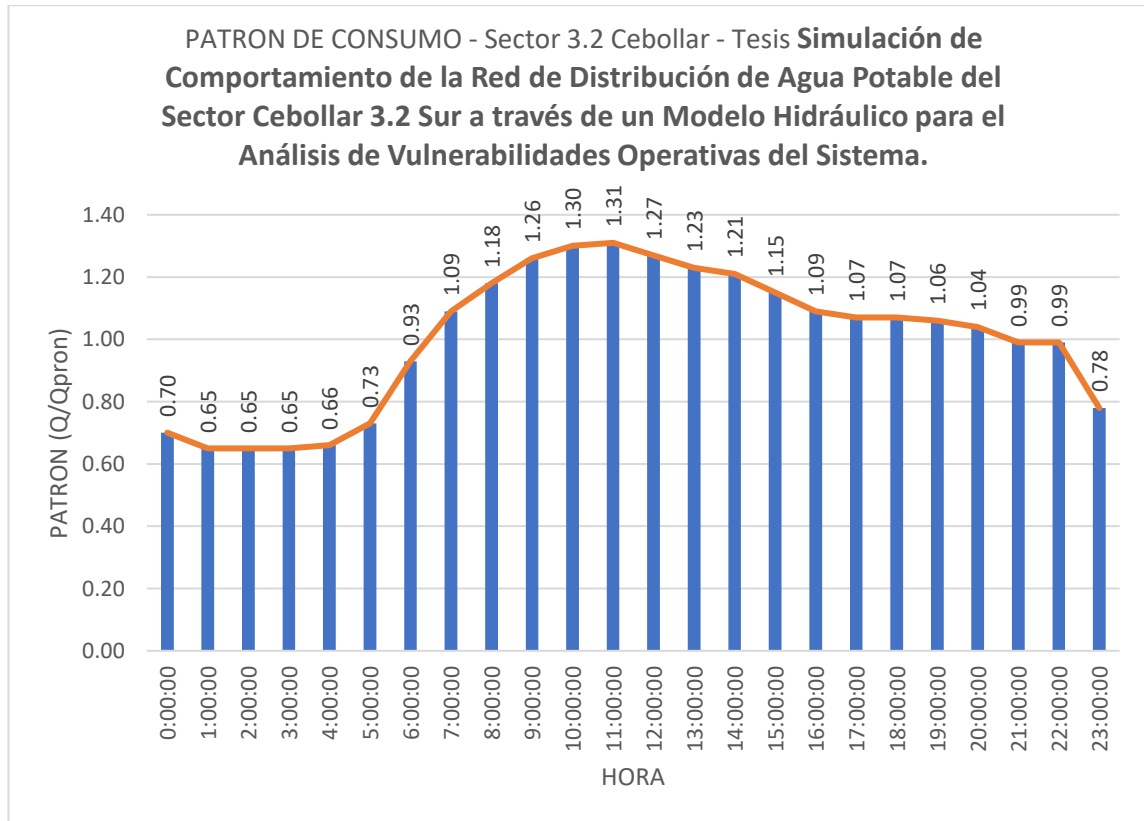
### **3.4 Modelo construido en periodo extendido.**

La simulación en periodo extendido o análisis cuasiestático, analiza los saltos tiempo como una serie de estados estáticos unidos, es decir es una discretización del análisis a lo largo del tiempo, a través de estos estados estáticos unidos. Con este tipo de simulaciones se puede analizar comportamiento de tanques, análisis de controles operacionales, costos



energéticos, análisis de calidad de agua, etc. Esta simulación no se trata propiamente de un análisis dinámico como si lo es un análisis de transientes. En una simulación en periodo extendido las operaciones del sistema hidráulico cambian en el tiempo, como las demandas, equipos de bombeo (encienden y apagan), válvulas (abren y cierran), tanques (llenen y vacían)

Para realizar la simulación en periodo extendido, utilizaremos una curva de consumo horario, que nos indique el patrón horario del sector, el cual, en este estudio, se puede obtener analizando el flujo de salida del tanque del Cebollar, el cual abastece a los sectores 3.2 Norte, Centro y Sur. Este análisis fue realizado por (Serpa García., 2022) mostrando a continuación los resultados obtenidos, la curva patrón de consumo del sector Cebollar 3.2:



**Figura 9.** Patrón de consumo horario para un día de la reserva, sector Cebollar 3.2

**Fuente:** (Serpa García., 2022)

### 3.5 Calibración y validación del modelo construido en periodo extendido.

La calibración de un modelo hidráulico de una red de distribución de agua potable consiste en representar de forma precisa y confiable, el comportamiento de una red existente, con el

fin de que los operadores del sistema lo puedan utilizar (Silvia Takahashi et al., 2008). Para (Rondán Galán, 2016) la calibración consiste en el ajuste de parámetros con mayor incertidumbre como rugosidad de tuberías, demanda en los nodos y fugas. En definitiva, la calibración es el proceso de ajuste de los parámetros que definen el comportamiento hidráulico del modelo, para imitar con la mayor precisión posible el funcionamiento real de la red de distribución, tanto para el escenario estático como dinámico.

El proceso para realizar la calibración del modelo se indica a continuación:

### 3.5.1 Identificar el propósito del modelo.

Identificar el propósito del modelo se refiere al por qué de la elaboración del modelo, cuál es su objetivo. Saber el propósito del modelo permite saber los niveles de detalle del modelo, tipo y calidad de los datos de campo a ser recolectados y de la tolerancia que debe existir entre los datos observados y simulados.

La AWWA (AWWA- ECAC, 1999) sugiere en función del uso que tendrá el modelo hidráulico, definir el número de mediciones de presión, el nivel de detalle requerido, el tipo de simulación a utilizar y la precisión requerida de las mediciones.

**Tabla 6.** Criterios para la calibración de modelos sugeridos por el Comité de Aplicación Computacionales de Ingeniería de la American Water Works Association.

<b>Propósito del modelo</b>	<b>Nivel de detalle</b>	<b>Tipo de simulación</b>	<b># de mediciones de presión</b>	<b>Precisión en mediciones de presión</b>
Planificación	Bajo	Régimen estacionario o EPS	10	-+ 5 psi (3.5 mca) para el 100% de las mediciones
Diseño	Moderado - Alto	Régimen estacionario o EPS	2-may	-+ 2 psi (1.4 mca) para el 90% de las mediciones

Operación de la red	Bajo - Alto	Régimen estacionario o EPS	2-may	+ 2 psi (1.4 mca) para el 90% de las mediciones
Calidad de Agua	Alto	EPS	2	+ 3 psi (2.1 mca) para el 70% de las mediciones

**Fuente:** (Rondán Galán, 2016) (AWWA- ECAC, 1999)

EL propósito del presente trabajo es para planificación y operación de las redes dentro del sector Cebollar 3.2 Centro, por lo que, la precisión entre lo observado y simulado entorno a las presiones, deberá tener una precisión entre +- 1.4 mca y +- 3.5mca.

### 3.5.2 Determinación de los valores iniciales de los parámetros.

Los valores iniciales de los parámetros corresponden a los coeficientes de rugosidad de las tuberías, la demanda asignada en cada nudo y el parámetro de la curva de consumo horario para simulación en perdido extendido. Con respecto a las demandas en los nodos, esta se explicó en la **Tabla 4**, los valores de la curva patrón de consumo horario se indicaron en la **Figura 9**, y los valores iniciales correspondiente a los coeficientes de rugosidad se indican en la **Tabla 7**

**Tabla 7.** Valores rugosidad, coeficiente C de Hazem - Williams

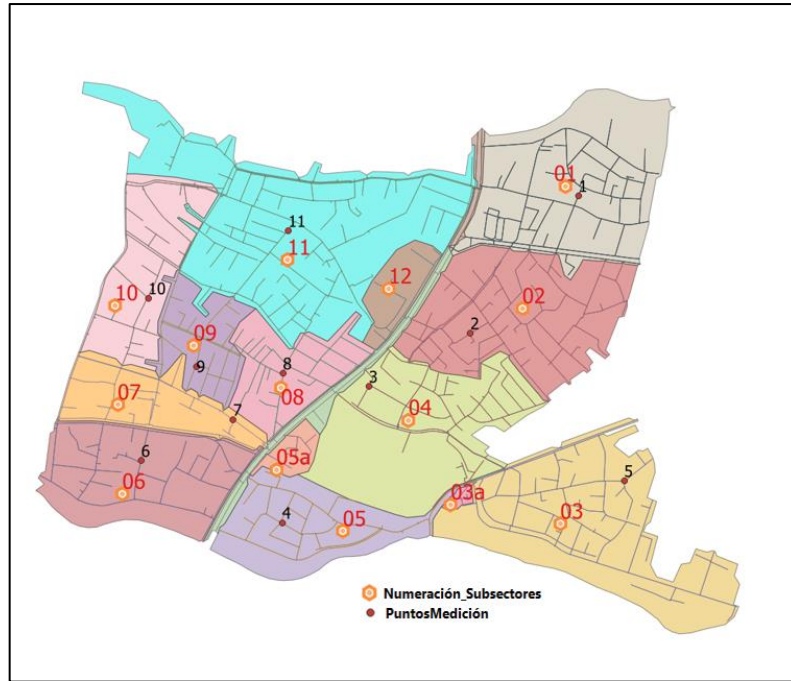
MATERIAL TUBERIA	COEFICIENTE C, HAZEN – WILLIAMS – Rugosidad tubería
Asbesto cemento AC	140
Hierro dúctil HD	130
Policloruro de Vinil PVC	150

**Fuente:** (CHOW VEN TE, 2004)

### 3.5.3 Recolección de datos de calibración.

Se recolectaron datos en campo en los subsectores como se indica en la **Figura 10** y **Tabla**

8. Los puntos fueron escogidos en base a la modelación inicial, en régimen estacionario, donde se identificó los posibles puntos más desfavorables, puntos altos o bajos, donde se generan presiones máximas y mínimas en cada subsector. Se realizaron campañas de medición de 24 horas cada 3 minutos. Los equipos utilizados (*Tabla 9*) para la toma de presiones utilizan data-loggers con transductores internos de presión.



**Figura 10.** Subsectores y puntos de medición telemática de presión.

**Fuente:** Autor.


**Tabla 8.** Puntos de medición telemática de presión.

N.º Punto	COORDENAD A		DIRECCION	Subsec tor	Elevac ión	Nudo
	X	Y				
1	71987 0.08	967968 7.35	C. del Batan y Sta. Cruz	1	2559.8 1	3.2_N_ 1005
2	71951 2.87	967924 9.48	República Dominicana	2	2562.3 4	3.2_N_ 2464
3	71917 3.77	967907 6.62	Panamá y Belice	4	2575	3.2_N_ 3138
4	71887 0.83	967860 8.5	Cantón Girón y Cantón Biblián	5	2567.2 8	3.2_N_ 1111
5	71997 2.05	967869 7.08	Alfonso Moreno Mora	3	2557.0 1	3.2_N_ 2950
6	71839 4.02	967881 1.82	Francisco Cisneros	6	2577.1 9	3.2_N_ 2555

7	71871 3.67	967895 5.05	Daniel Fernández de Córdoba	7	2578.9	3.2_N_ 2976
8	71887 9.47	967911 0.23	Leopoldo Dávila Córdoba y Francisco Aguilar	8	2579.7 1	3.2_N_ 2582
9	71858 2.44	967914 5.57	Mariano Estrella y Fray Gómez Moscoso	9	2585.2 8	3.2_N_ 2917
10	71841 7.91	967937 4.28	Víctor Tinoco Chacón y Miguel Tenorio M.	10	2591.5 5	3.2_N_ 2480
11	71888 6.91	967959 2.6	Mariano Estrella y Rafael Romero	11	2579.0 7	3.2_N_ 2768

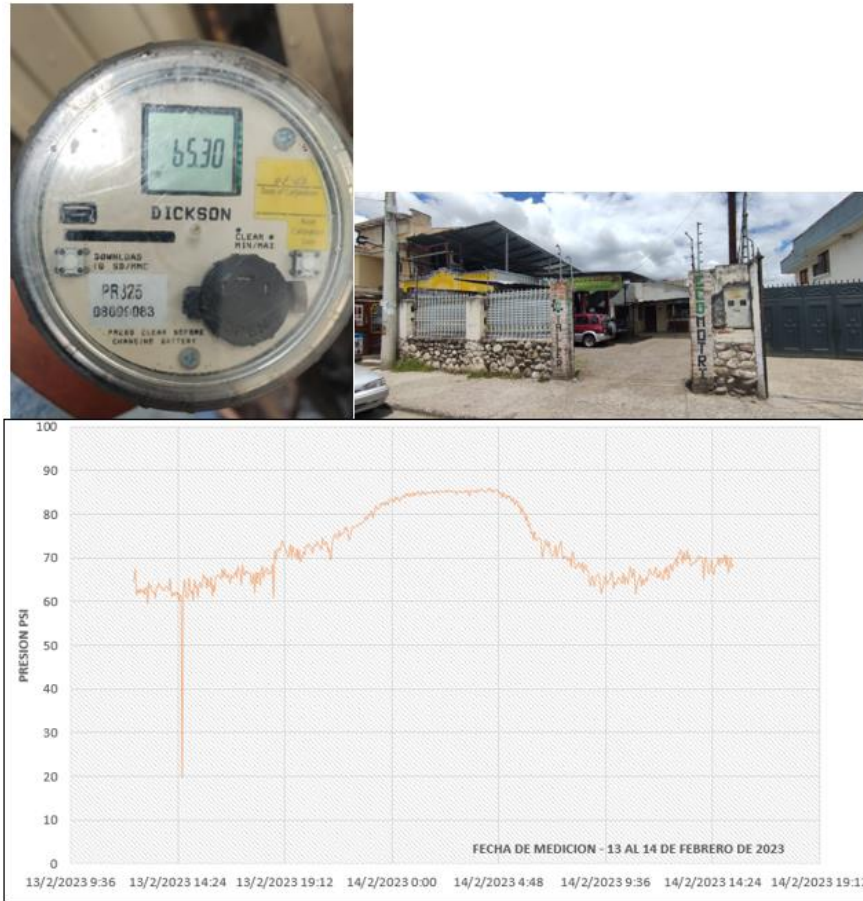
**Fuente:** Autor.

**Tabla 9.** Equipo de medición de presión.

EQUIPO UTILIZADO	DESCRIPCION
LOGGER DE PRESION H408422K – VETO Y CIA.LTDA 	Data-logger ocupado para la recuperación de datos de presión.  Rango de presión: PR125:0 - 100 PSI PR325: 0 -300 PSI PR525: 0 - 500 PSI  Precisión: +- 1% de escala total

**Fuente:** Autor.

Los resultados de las campañas de medición se muestran a continuación:



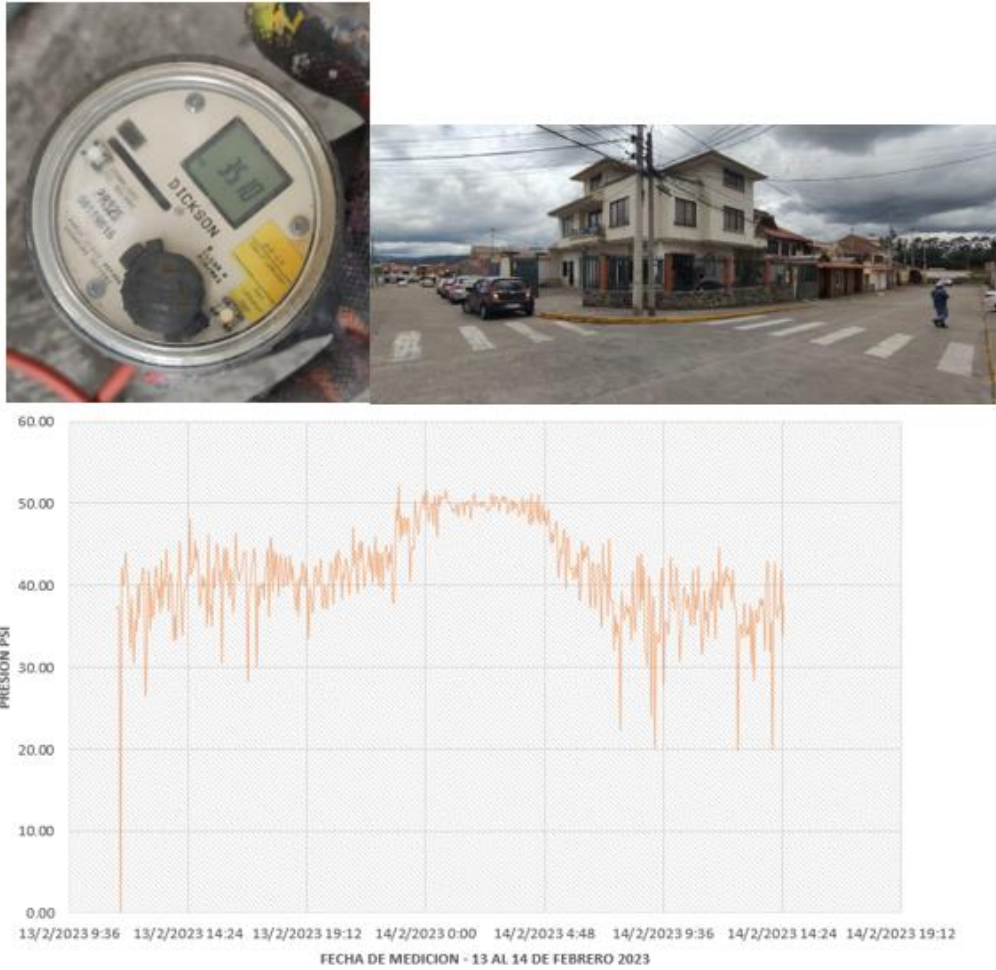
**Figura 11.** Registro de presión en punto 1, subsector 1.

**Fuente:** Autor.



**Figura 12.** Registro de presión en punto 2, subsector 2.

**Fuente:** Autor.



**Figura 13.** Registro de presión en punto 3, subsector 4.

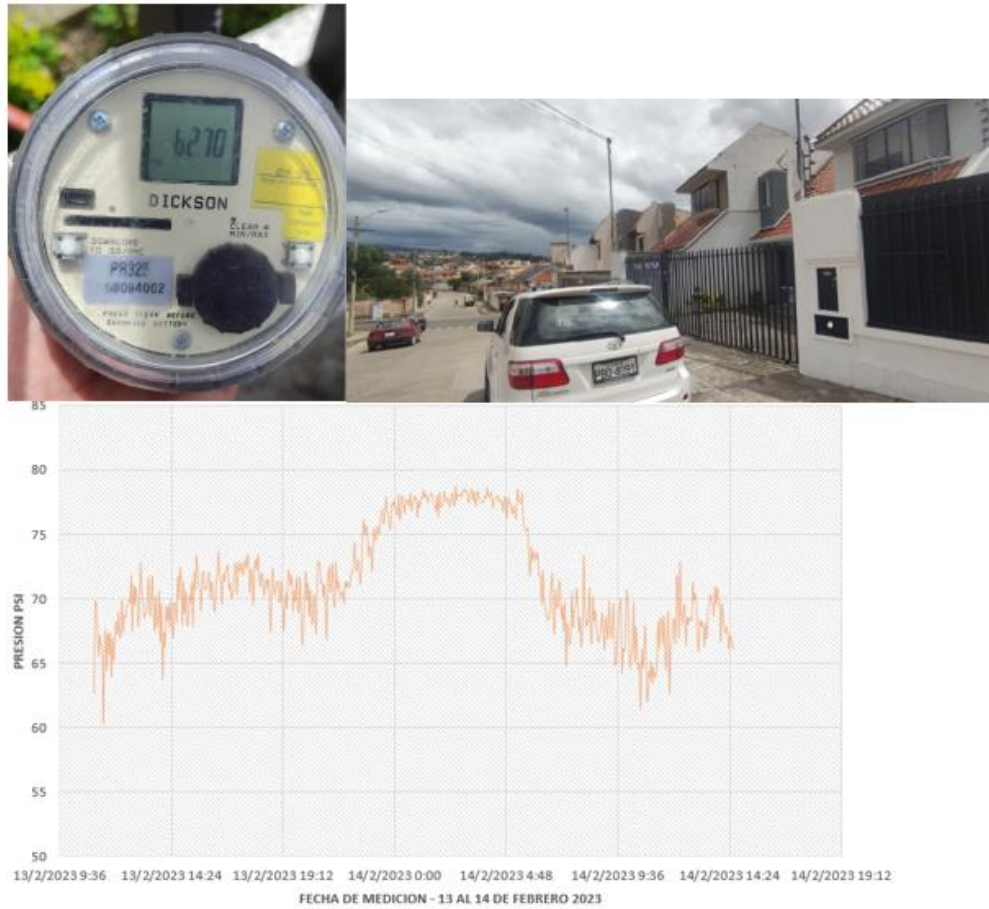
**Fuente:** Autor.





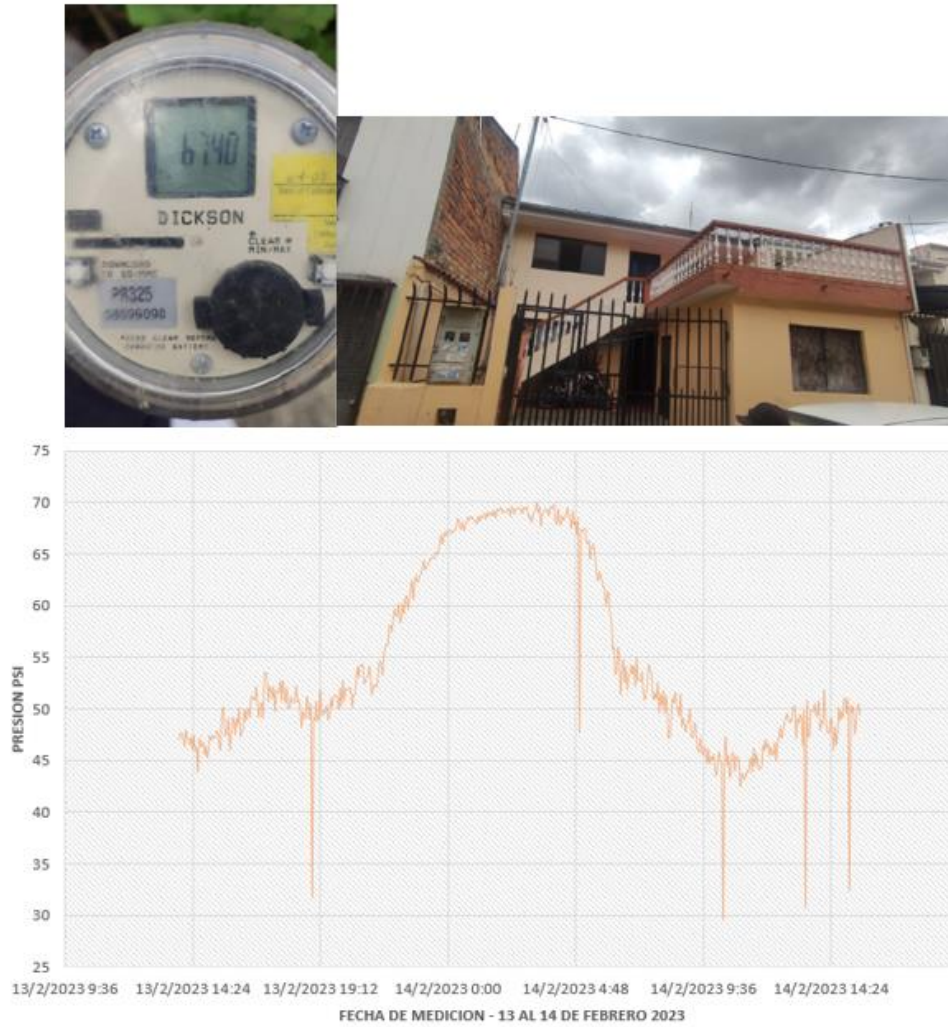
**Figura 14.** Registro de presión en punto 4, subsector 5.

**Fuente:** Autor.



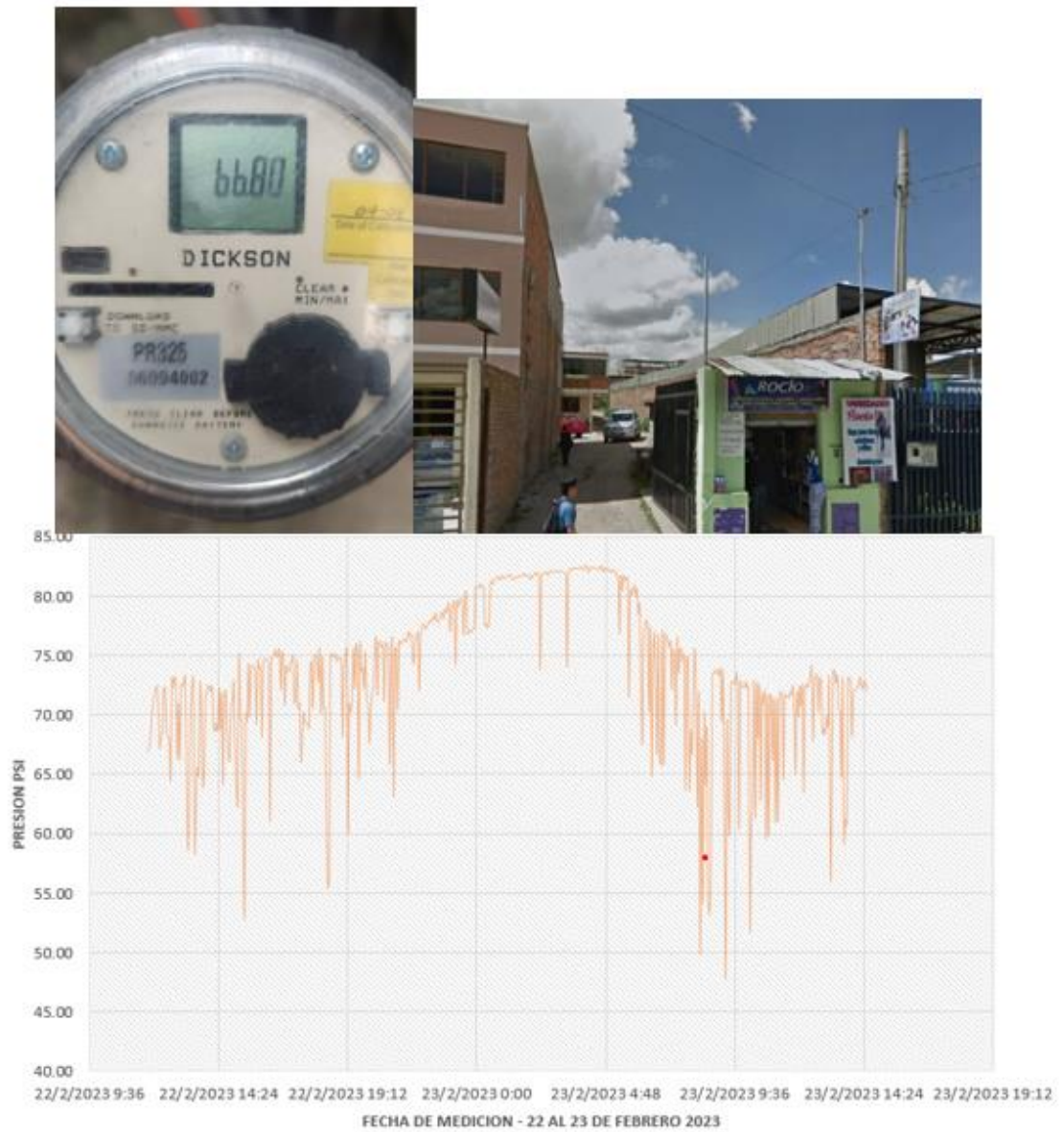
**Figura 15.** Registro de presión en punto 5, subsector 3.

**Fuente:** Autor.



**Figura 16.** Registro de presión en punto 6, subsector 6.

**Fuente:** Autor.



**Figura 17.** Registro de presión en punto 7, subsector 7.

**Fuente:** Autor.



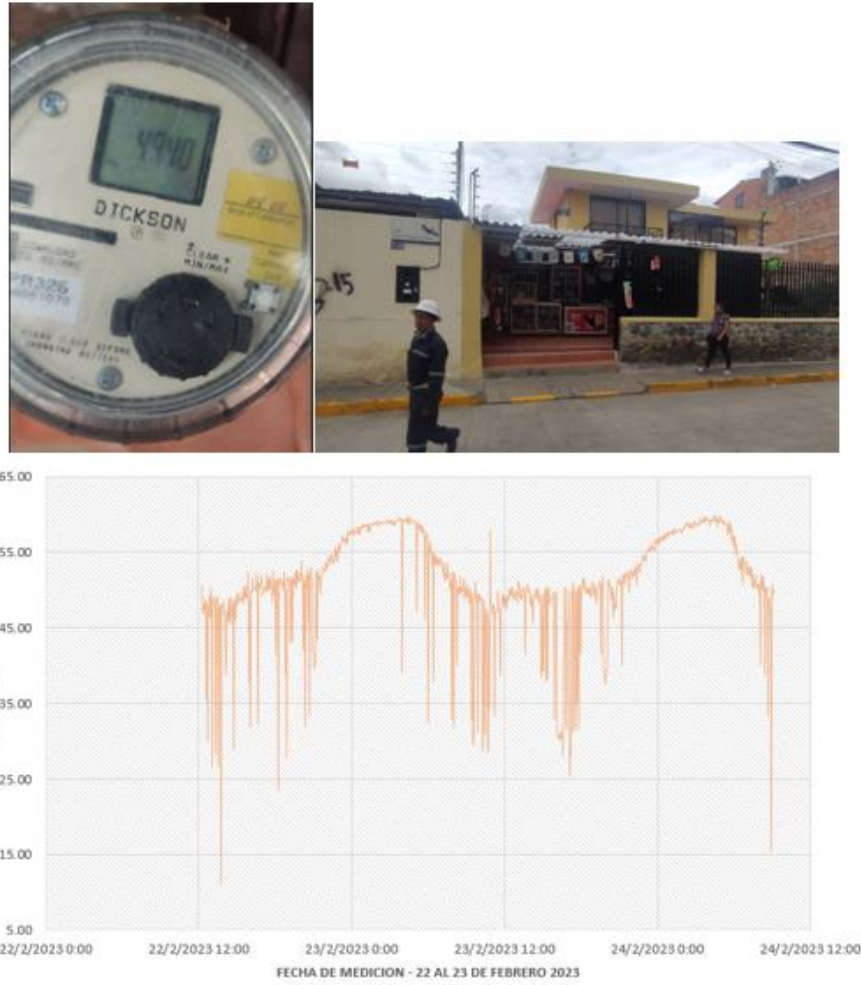
**Figura 18.** Registro de presión en punto 8, subsector 8.

**Fuente:** Autor.



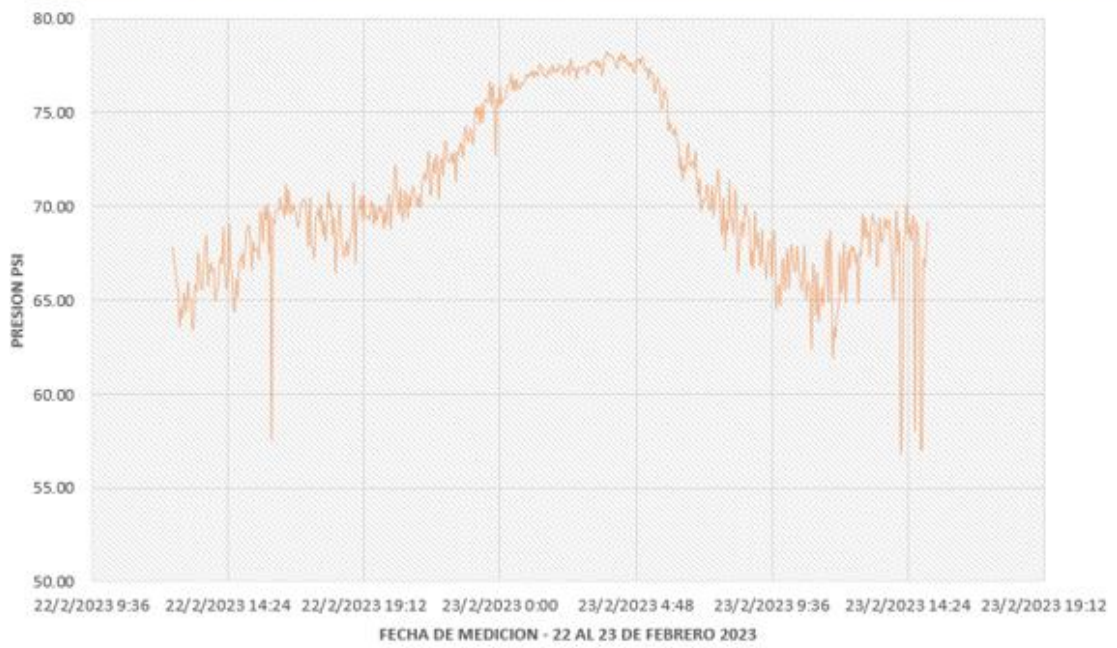
**Figura 19.** Registro de presión en punto 9, subsector 9.

**Fuente:** Autor.



**Figura 20.** Registro de presión en punto 10, subsector 10.

**Fuente:** Autor.



**Figura 21.** Registro de presión en punto 11, subsector 11.

**Fuente:** Autor.



**Tabla 10.** Resumen de puntos de medición de presión en campo.

Sector	# de punto	Parámetro medido	Valor máx.	Valor prom.	Valor min.	Ubicación – Subsector	Observaciones	Nodo
3.2 Cebollar Centro	1	Presión (m.c.a.)	60.47	50.89	13.92	1		3.2_N_1005
	2		-	-	-	2	No hay lecturas - No se considera por error en medición	3.2_N_2464
	3		36.63	29.2	13.92	4		3.2_N_3138
	4		44.93	40.79	1.9	5		3.2_N_1111
	5		55.4	50.13	42.33	3		3.2_N_2950
	6		49.22	38.48	20.81	6		3.2_N_2555
	7		58.08	51.82	33.61	7		3.2_N_2976
	8		50.55	45.03	38.95	8		3.2_N_2582
	9		54.98	47.26	34.03	9		3.2_N_2917
	10		42.04	35.97	7.8	10		3.2_N_2480
	11		55.05	49.75	40.08	11		3.2_N_2768

**Fuente:** Autor.

En la **Tabla 10** se pueden observar el resumen de las mediciones realizadas en campo, valores de presiones máximas, promedio y mínimas de cada punto de medición, a excepción de punto 2 de medición realizado en el sector 2, el cual no se considerará por errores en la lectura.

#### 3.5.4 Calibración del modelo hidráulico.

Para esta tarea del presente estudio, se utiliza la herramienta del WaterGems denominada Darwin Calibrator, el cual es una herramienta automatizada que nos permitirá realizar

ajustes al modelo inicial, manteniendo la demanda, pero ajustando, en este caso, las rugosidades de la tubería.

Esta Herramienta nos permitirá revisar y analizar las diferencias entre los datos observados versus los datos simulados. El grupo de ajuste, como se mencionó anteriormente, serán las rugosidades de las tuberías de PVC, HD y AC. En particular se verificarán los datos observados de las presiones en las horas de mayor, menor y demanda promedio, a las 7:00, 13:00 y 22:00.

Para la calibración se utilizan los datos observados del 13 de febrero de 2023 de los puntos de medición: 1 (nodo 3.2\_N\_1005), 3 (nodo 3.2\_N\_3138), 4 (nodo 3.2\_N\_1111), 5 (nodo 3.2\_N\_2950) y 6 (nodo 3.2\_N\_2555). Los demás puntos de medición obtenidos el 22 de febrero de 2023: 7 (nodo 3.2\_N\_2976), 8 (nodo 3.2\_N\_2582), 9 (nodo 3.2\_N\_2917), 10 (nodo 3.2\_N\_2480) y 11 (nodo 3.2\_N\_2768) se utilizarán para la validación del modelo, posterior a la calibración.

A continuación, se muestran los resultados de la primera simulación:

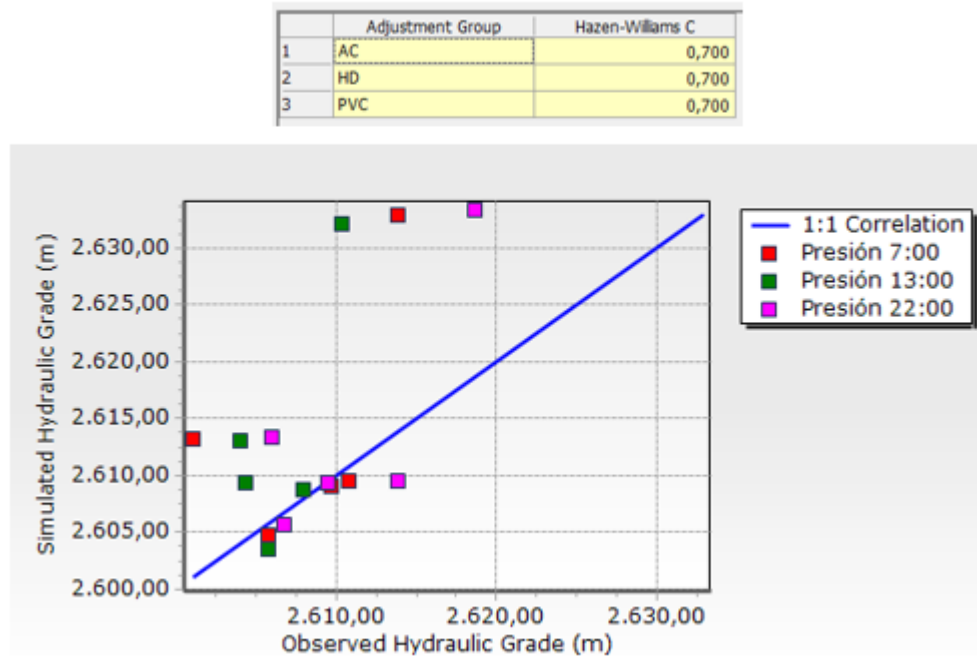
	Snapshot	Hydraulic Grade RMSE (m)
1	Presión 7:00	10,11
2	Presión 13:00	10,84
3	Presión 22:00	7,61

Simulated Results					
	Field Data Snapshot	Junction	Observed Hydraulic Grade (m)	Simulated Hydraulic Grade (m)	Difference (m)
1	Presión 7:00	3.2_N_1005	2.610,85	2.609,47	-1,38
2	Presión 7:00	3.2_N_3138	2.601,08	2.613,26	12,18
3	Presión 7:00	3.2_N_1111	2.609,75	2.609,10	-0,65
4	Presión 7:00	3.2_N_2950	2.605,80	2.604,82	-0,98
5	Presión 7:00	3.2_N_2555	2.613,89	2.632,85	18,96
6	Presión 13:00	3.2_N_1005	2.604,31	2.609,38	5,07
7	Presión 13:00	3.2_N_3138	2.604,04	2.613,13	9,09
8	Presión 13:00	3.2_N_1111	2.607,98	2.608,80	0,82
9	Presión 13:00	3.2_N_2950	2.605,73	2.603,45	-2,28
10	Presión 13:00	3.2_N_2555	2.610,31	2.632,06	21,75
11	Presión 22:00	3.2_N_1005	2.613,87	2.609,52	-4,35
12	Presión 22:00	3.2_N_3138	2.606,01	2.613,34	7,33
13	Presión 22:00	3.2_N_1111	2.609,46	2.609,30	-0,16
14	Presión 22:00	3.2_N_2950	2.606,79	2.605,72	-1,07
15	Presión 22:00	3.2_N_2555	2.618,67	2.633,37	14,70

**Figura 22.** Relación de Cargas hidráulicas observadas y Simuladas en Darwin Calibrator, ajustando los coeficientes de rugosidad – simulación 1.

**Fuente:** Autor.



**Figura 23.** Correlación entre cargas hidráulicas observadas y simuladas en Darwin Calibrator con ajuste del coeficiente de rugosidad - Simulación 1.

**Fuente:** Autor.

En la *Figura 22* y *Figura 23* se puede observar el error RMSE (error cuadrático medio mide la cantidad de error que hay entre dos conjuntos de datos, compara un valor predicho y un valor observado o conocido, mientras menor sea el valor de RMSE, mejor será el valor y sus predicciones), el valor HGL observado y simulado, la diferencia entre estos valores, también se puede ver el ajuste que se realizó en torno al coeficiente de rugosidad y finalmente se observa la correlación de los datos observados, versus los simulados. De la primera calibración se obtiene que la mayoría de datos simulados son mayores a los observados; además, se debe reducir el error RMSE de manera que la diferencia entre las presiones simuladas y observadas se mantengan dentro del rango +1.4 m.c.a y -3.5 m.c.a como se indicó en la **Tabla 6** según los criterios de (AWWA- ECAC, 1999) según sea el propósito del modelo hidráulico, para ello se ajustaran las pérdidas de carga en las válvulas de operación (válvulas de abastecimiento de cada subsector) que se consideran importantes para el desempeño hidráulico de las redes modeladas, modificando el

coeficiente adimensional de perdidas ( $k$ ) de cada válvula.

A continuación, se indican los resultados de la simulación 2:

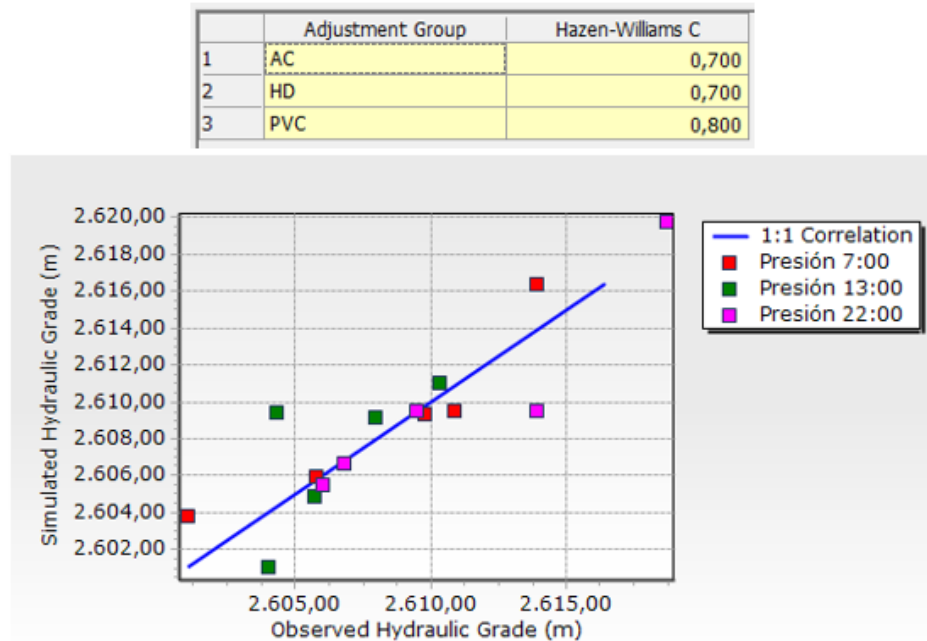
	Snapshot	Hydraulic Grade RMSE (m)
1	Presión 7:00	1,76
2	Presión 13:00	2,74
3	Presión 22:00	2,01

Simulated Results					
	Field Data Snapshot	Junction	Observed Hydraulic Grade (m)	Simulated Hydraulic Grade (m)	Difference (m)
1	Presión 7:00	3.2_N_1005	2.610,85	2.609,49	-1,36
2	Presión 7:00	3.2_N_3138	2.601,08	2.603,78	2,70
3	Presión 7:00	3.2_N_1111	2.609,75	2.609,36	-0,39
4	Presión 7:00	3.2_N_2950	2.605,80	2.605,97	0,17
5	Presión 7:00	3.2_N_2555	2.613,89	2.616,38	2,49
6	Presión 13:00	3.2_N_1005	2.604,31	2.609,41	5,10
7	Presión 13:00	3.2_N_3138	2.604,04	2.601,06	-2,98
8	Presión 13:00	3.2_N_1111	2.607,98	2.609,13	1,15
9	Presión 13:00	3.2_N_2950	2.605,73	2.604,88	-0,85
10	Presión 13:00	3.2_N_2555	2.610,31	2.611,07	0,76
11	Presión 22:00	3.2_N_1005	2.613,87	2.609,54	-4,33
12	Presión 22:00	3.2_N_3138	2.606,01	2.605,52	-0,49
13	Presión 22:00	3.2_N_1111	2.609,46	2.609,52	0,06
14	Presión 22:00	3.2_N_2950	2.606,79	2.606,67	-0,12
15	Presión 22:00	3.2_N_2555	2.618,67	2.619,78	1,11

**Figura 24.** Relación de Cargas hidráulicas observadas y Simuladas en Darwin Calibrador, ajustando los coeficientes de rugosidad – simulación 2.

**Fuente:** Autor.



**Figura 25.** Correlación entre cargas hidráulicas observadas y simuladas en Darwin Calibrador con ajuste del coeficiente de rugosidad - Simulación 2.

**Fuente:** Autor.

De la **Figura 24** y **Figura 25** se puede observar que el error RMSE y la diferencias entre el HGL observado y HGL simulado disminuyo considerablemente. Los criterios orientados para decidir hasta qué punto es factible continuar con el proceso de calibración de redes de distribución de agua potable, se aplican fundamentalmente a los caudales, presiones y cargas piezométricas (Alberto & Villa, 2014) . Con respecto a la presión, una diferencia entre lo observado y lo simulado en los nodos analizados del modelo de +-1 m.c.a. puede considerarse una buena aproximación (Fuentes V. S. et al., 2002). En este mismo sentido, (Walski T. M et al., 2004), señala que la pérdida de carga proporcionada por el modelo no debe diferir en más de un 10 – 20 % de la observada. Por otra parte (Allen R., 1987), plantea que en el 85% de los nodos el error relativo en las presiones no debe ser superior de 5% y en el 95% de los nodos no debe superar el 10%, Todos estos criterio han sido utilizados y muestran ser muy útiles al momento de calibrar un modelo (Alberto & Villa, 2014).

Siguiendo los criterios mencionados anteriormente y de los datos obtenidos de la calibración de la simulación 2, se verifica que en el 100% de los nodos analizados el error relativo en las cargas piezométricas es menor al 1%, y en las diferencias entre las cargas simuladas versus las observadas son menos a 4.5 m.c.a. en el 95% de los nodos de medición, y menor a 5.1 m.c.a. en el 100% de los nodos.

**Tabla 11.** Error relativo de las cargas de los gradientes observados y simulados, simulación 2.

Field Data Snapshot	Junction	Observed Hydraulic Grade (m)	Simulated Hydraulic Grade (m)	$\Delta h$ (m)	Error (%)
Presión 7:00	3.2_N_1005	2610.85	2609.49	-1.36	0.05%
Presión 7:00	3.2_N_3138	2601.08	2603.78	2.7	0.10%
Presión 7:00	3.2_N_1111	2609.75	2609.36	-0.39	0.01%
Presión 7:00	3.2_N_2950	2605.8	2605.97	0.17	0.01%
Presión 7:00	3.2_N_2555	2613.89	2616.38	2.49	0.10%
Presión 13:00	3.2_N_1005	2604.31	2609.41	5.1	0.20%
Presión 13:00	3.2_N_3138	2604.04	2601.06	-2.98	0.11%

Presión 13:00	3.2_N_1111	2607.98	2609.13	1.15	0.04%
Presión 13:00	3.2_N_2950	2605.73	2604.88	-0.85	0.03%
Presión 13:00	3.2_N_2555	2610.31	2611.07	0.76	0.03%
Presión 22:00	3.2_N_1005	2613.87	2609.54	-4.33	0.17%
Presión 22:00	3.2_N_3138	2606.01	2605.52	-0.49	0.02%
Presión 22:00	3.2_N_1111	2609.46	2609.52	0.06	0.00%
Presión 22:00	3.2_N_2950	2606.79	2606.67	-0.12	0.00%
Presión 22:00	3.2_N_2555	2618.67	2619.78	1.11	0.04%

**Fuente:** Autor.

Los valores finales ajustados de los coeficientes de rugosidad de la tubería, resultantes de la calibración realizada con la simulación 2, disminuyeron con respecto a los valores dados inicialmente, que representan, según la literatura, tuberías nuevas, y los valores ajustados disminuidos, son compatibles con tuberías que muestran desgaste por los años en operación del sistema (más de 20 años).

**Tabla 12.** Rugosidades iniciales y ajustadas luego de la calibración con la simulación 2.

<b>Material Tubería</b>	<b>Coefficiente C inicial según literatura</b>	<b>Coefficiente C ajustado</b>	<b>Representación con respecto al inicial</b>
AC - Asbesto cemento	140	98	0.7
HD - Hierro Dúctil	130	91	0.7
PVC - Policloruro de Vinilo	150	120	0.8

**Fuente:** Autor.

### 3.5.5 Validación del modelo.

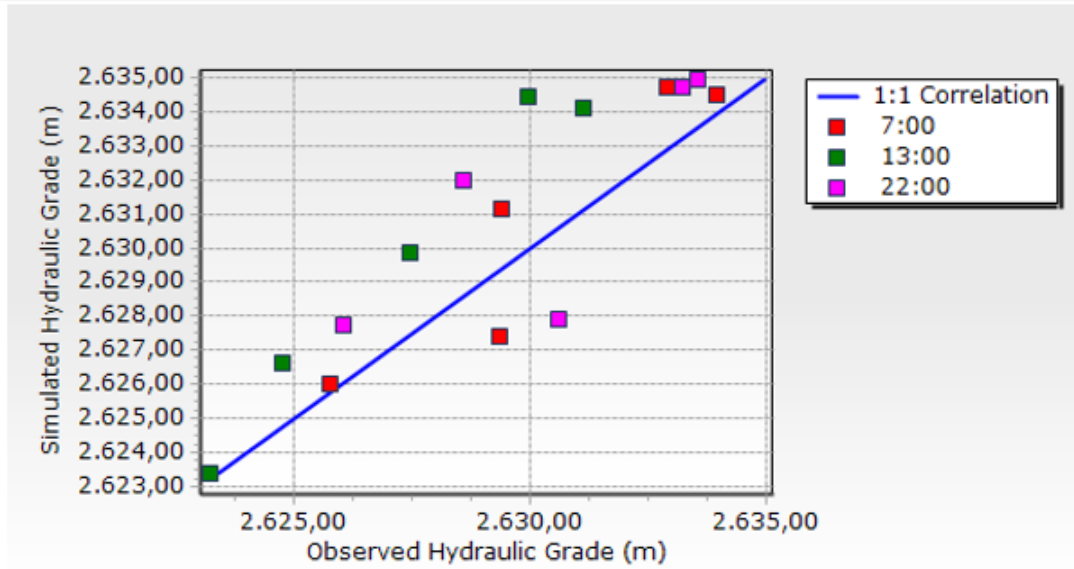
Luego de la calibración del modelo hidráulico, es importante validar, y verificar que los parámetros obtenidos permitan simular el comportamiento real de la red de distribución del sector Cebollar 3.2 Centro, para posteriormente, poder usar el modelo en evaluaciones

operativas y de planificación de mejoras del sistema en un futuro, por lo que la validación del modelo hidráulico se lo hará con la simulación 3 en donde ya se encuentran ajustados los valores de la rugosidad y las pérdidas de carga en las válvulas de operación que bastecen a cada subsector..

Para esta validación se utilizarán lo datos del 22 de febrero de 2023 en los puntos de medición: 7 (nodo 3.2\_N\_2976), 8 (nodo 3.2\_N\_2582), 9 (nodo 3.2\_N\_2917), 10 (nodo 3.2\_N\_2480) y 11 (nodo 3.2\_N\_2768) y las mismas horas que se realizó la calibración 7:00, 13:00 y 22:00.

	Snapshot	Hydraulic Grade RMSE (m)
1	7:00	1,46
2	13:00	2,76
3	22:00	2,26

Simulated Results					
	Field Data Snapshot	Junction	Observed Hydraulic Grade (m)	Simulated Hydraulic Grade (m)	Difference (m)
1	7:00	3.2_N_2976	2.632,89	2.634,74	1,85
2	7:00	3.2_N_2582	2.625,76	2.626,04	0,28
3	7:00	3.2_N_2917	2.633,93	2.634,48	0,55
4	7:00	3.2_N_2480	2.629,37	2.631,15	1,78
5	7:00	3.2_N_2768	2.629,34	2.627,41	-1,93
6	13:00	3.2_N_2976	2.629,94	2.634,42	4,48
7	13:00	3.2_N_2582	2.623,23	2.623,37	0,14
8	13:00	3.2_N_2917	2.631,12	2.634,10	2,98
9	13:00	3.2_N_2480	2.627,47	2.629,87	2,40
10	13:00	3.2_N_2768	2.624,77	2.626,60	1,83
11	22:00	3.2_N_2976	2.633,53	2.634,94	1,41
12	22:00	3.2_N_2582	2.626,04	2.627,75	1,71
13	22:00	3.2_N_2917	2.633,23	2.634,73	1,50
14	22:00	3.2_N_2480	2.628,60	2.631,97	3,37
15	22:00	3.2_N_2768	2.630,60	2.627,94	-2,66



**Figura 26.** Error RMSE, Cargas observadas y simuladas, y su correlación en el proceso de validación. Simulación 3.

**Fuente:** Autor.



**Tabla 13.** Relación entre los gradientes observados y medidor en el proceso de validación. Simulación 3.

Field Data Snapshot	Junction	Observed Hydraulic Grade (m)	Simulated Hydraulic Grade (m)	$\Delta h$ (m)	Error (%)
7:00	3.2_N_2976	2632.89	2634.74	1.85	0.07%
7:00	3.2_N_2582	2625.76	2626.04	0.28	0.01%
7:00	3.2_N_2917	2633.93	2634.48	0.55	0.02%
7:00	3.2_N_2480	2629.37	2631.15	1.78	0.07%
7:00	3.2_N_2768	2629.34	2627.41	-1.93	0.07%
13:00	3.2_N_2976	2629.94	2634.42	4.48	0.17%
13:00	3.2_N_2582	2623.23	2623.37	0.14	0.01%
13:00	3.2_N_2917	2631.12	2634.1	2.98	0.11%
13:00	3.2_N_2480	2627.47	2629.87	2.4	0.09%
13:00	3.2_N_2768	2624.77	2626.6	1.83	0.07%
22:00	3.2_N_2976	2633.53	2634.94	1.41	0.05%
22:00	3.2_N_2582	2626.04	2627.75	1.71	0.07%
22:00	3.2_N_2917	2633.23	2634.73	1.5	0.06%
22:00	3.2_N_2480	2628.6	2631.97	3.37	0.13%
22:00	3.2_N_2768	2630.6	2627.94	-2.66	0.10%

**Fuente:** Autor.

Según como se indica en la **Figura 26** y en la **Tabla 13**, los resultados con la simulación 3, luego de la calibración, el RMSE es cercano a cero, y en el 100% de los nodos analizados el error relativo es menor al 1%, mientras que la diferencia entre las cargas piezométricas observadas y medidas, en el 100% de los casos, son menos a  $\pm 4.5$  m.c.a, dando por finalizado la validación del modelo, el cual, según los resultados obtenidos, podrá ser utilizado para análisis operativos y de planificaciones futuras dentro del sector Cebollar 3.2 Centro.

#### 4. CAPITULO 4: ANALISIS DE VULNERABILIDAD DEL SISTEMA,

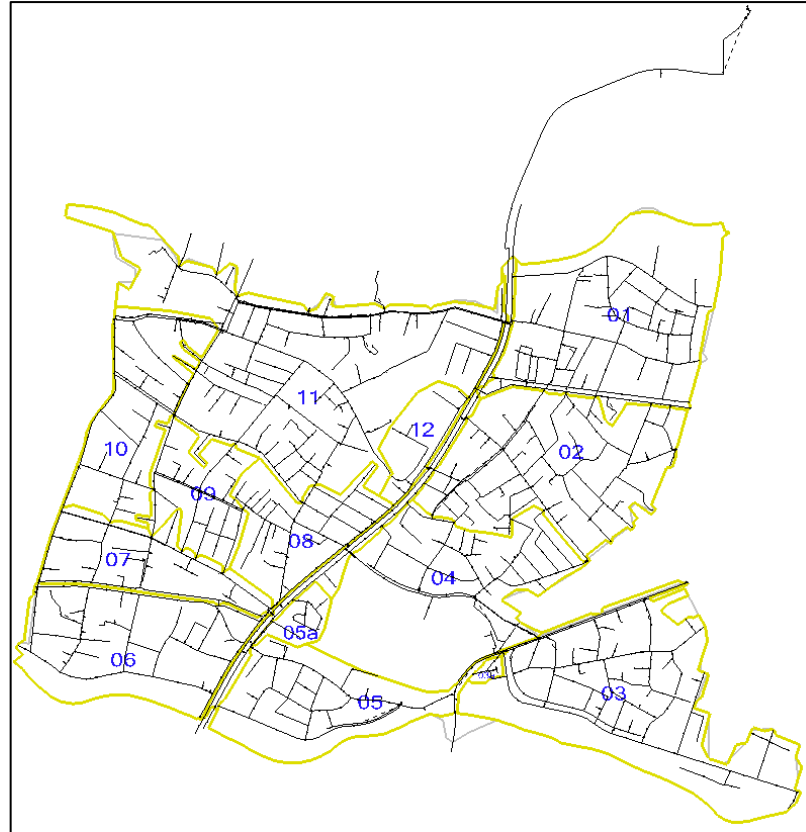
## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 4.1 Diagnostico actual

Con el modelo hidráulico calibrado y validado, se procederá a analizar la red de distribución del sector de Cebollar 3.2 centro, es decir, se evaluará el funcionamiento actual de la red, en donde se verifiquen presiones (m.c.a.), velocidades (m/s) y pérdidas de carga (m/km), parámetros que permiten diagnosticar el funcionamiento hidráulico del sistema, además se verificará la variación de los caudales de consumo del sistema. La evaluación del sistema se lo realizará entorno a los valores exigidos en la (NORMA CO 10.07 - 601, 1992), indicados a continuación:

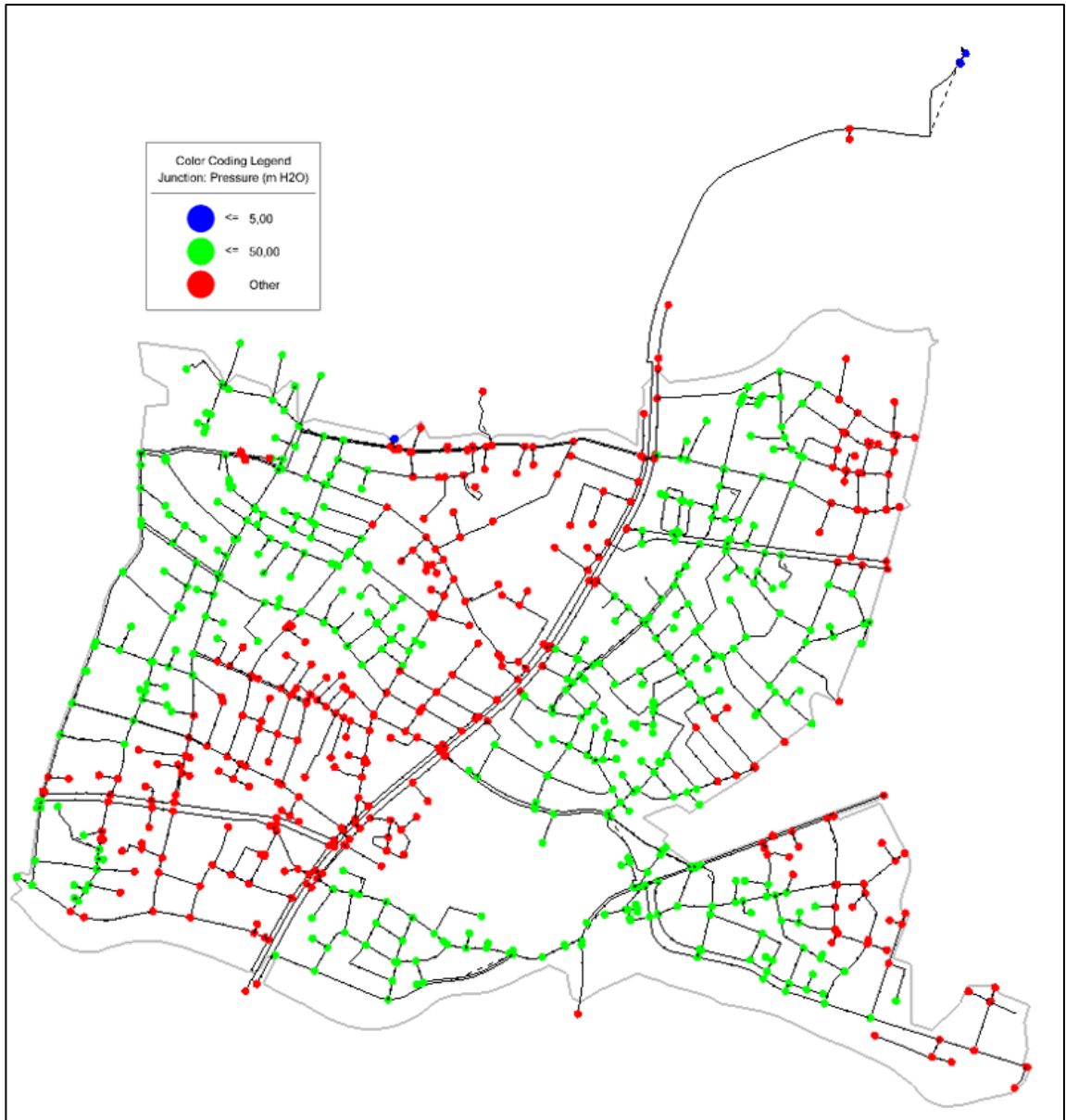
- Presiones (parámetro principal):
  - o Mínima: 5 m.c.a.
  - o Máxima: 50 m.c.a.
- Velocidades (parámetro principal):
  - o Mínima: 0.5m/s
  - o Máxima: 2 m/s.
- Perdida de carga (unitaria - parámetro secundario):
  - o Aceptable hasta 15 m/km (pérdidas mayores provocan presiones menores a las admisibles).

El análisis se realizará en dos escenarios, uno durante el mayor consumo, y otro, durante el menor consumo. Escenarios suficientes para analizar en las condiciones más desfavorable, y según la **Figura 9. Patrón de consumo horario para un día de la reserva, sector Cebollar 3.2**, la hora de menor consumo sucede a las 3:00 am y la de mayor consumo sucede a las 11:00 am.



**Figura 27.** Subsectores de la zona en estudio Cebollar 3.2 Centro.

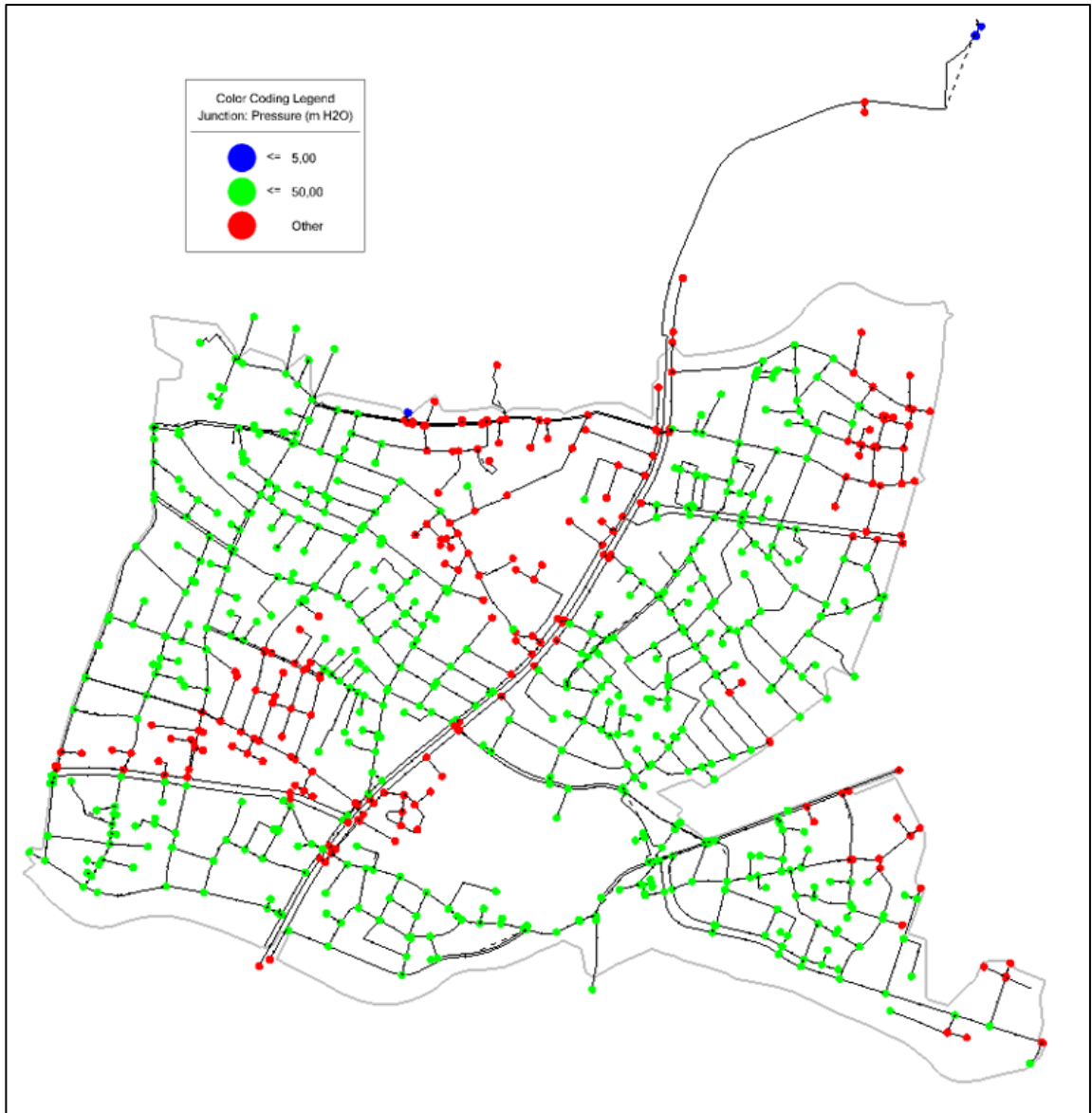
**Fuente:** Autor.



**Figura 28.** Presiones del sistema Cebollar 3.2 Centro - 3:00 am.

**Fuente:** Autor.

Durante las 3:00 am se tienen presiones mínimas de 7 m.c.a en el subsector 11 (subsector más grande), y presiones máximas de 70 m.c.a en el subsector 11 y a la entrada del subsector 1, 2, y 12.



**Figura 29.** Presiones del sistema Cebollar 3.2 Centro - 11:00 am.

**Fuente:** Autor.

Durante las 11:00 am se tienen presiones mínimas de 7 m.c.a en el subsector 11 (subsector más grande), y presiones máximas de 70 m.c.a en la entrada del subsector 1, 2, y 12.



**Figura 30.** Velocidades del sistema Cebollar 3.2 Centro - 03:00 am.

**Fuente:** Autor.

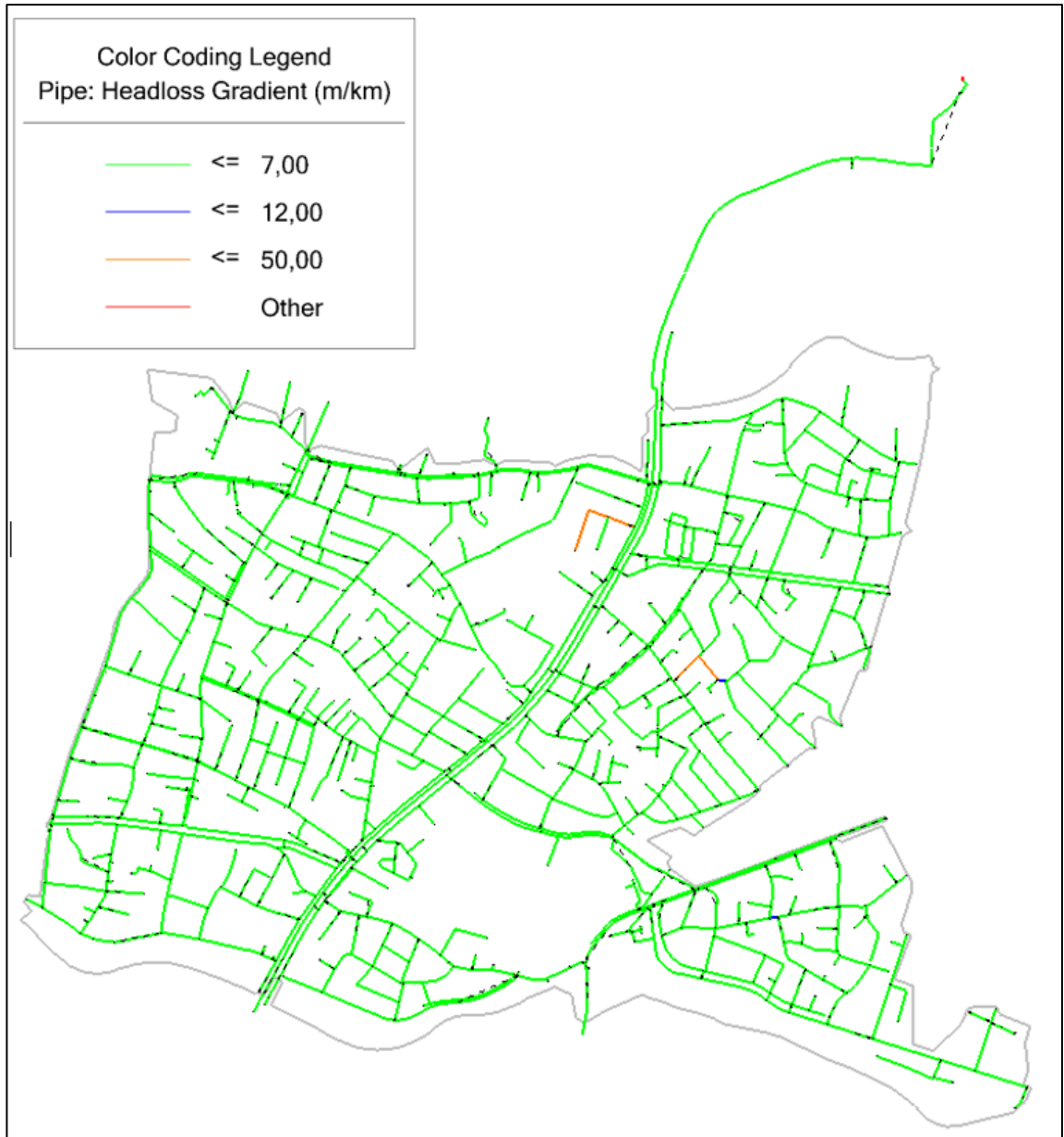
Durante las 3:00 am se tienen velocidades mínimas de 0.01m/s en todos los subsectores en ramales secundarios, y velocidades máximas de 1.83 y 1.44 m/s en el subsector 5, y de 1 m/s en el subsector 11.



**Figura 31.** Velocidades del sistema Cebollar 3.2 Centro - 11:00 am.

**Fuente:** Autor.

Durante las 11:00 am se tienen velocidades mínimas de 0.01m/s en todos los subsectores en ramales secundarios, y velocidades máximas de 3.64 y 2.87 m/s en el subsector 5, de 2 m/s en el subsector 11, y de 1.82 m/s en el subsector 2.

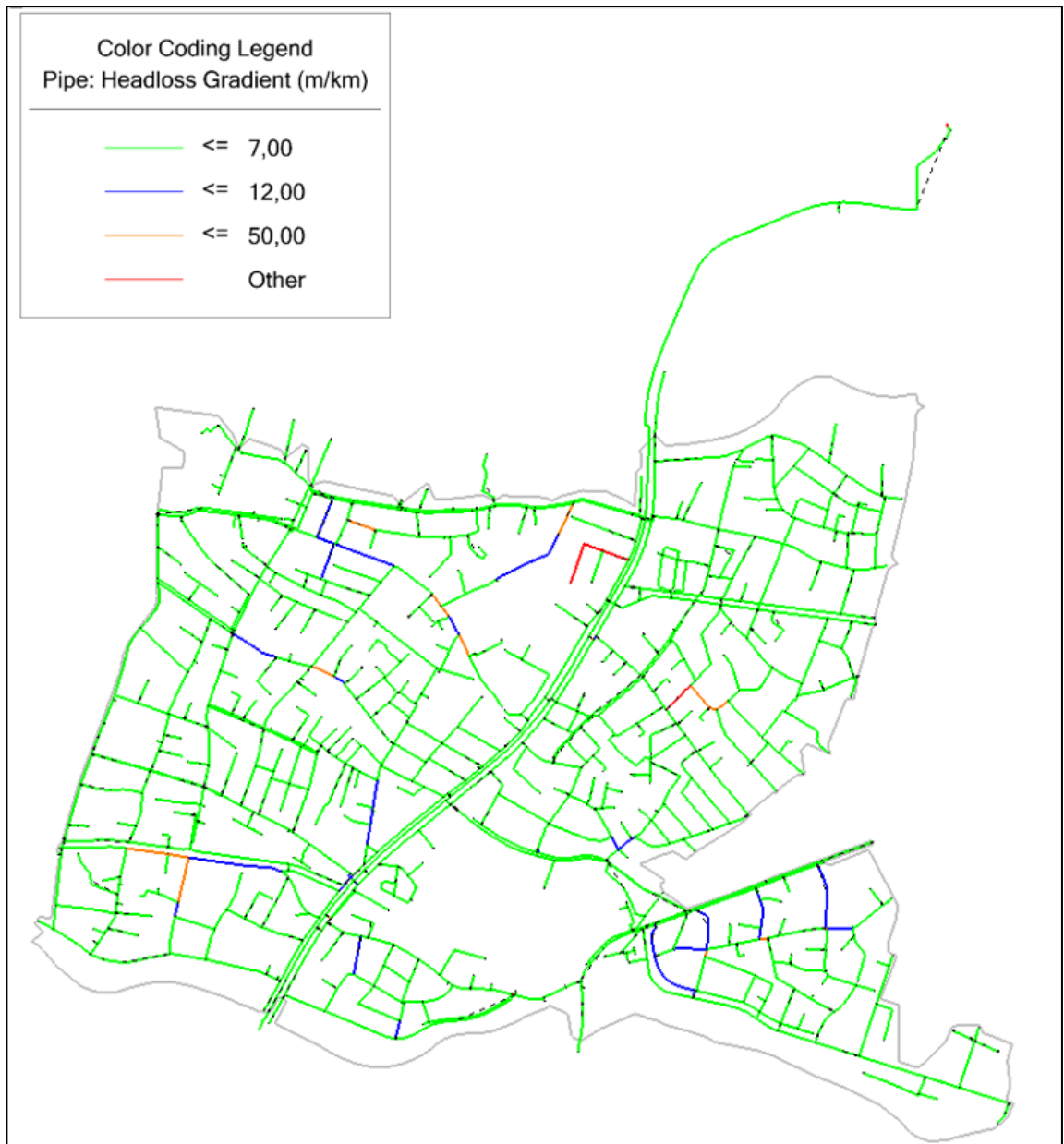


**Figura 32.** Perdida de carga del sistema Cebollar 3.2 Centro - 03:00 am.

**Fuente:** Autor.

Durante las 3:00 am se tienen pérdidas de carga de 74 y 47.63 m/km en el subsector 5, de 31.69 y 29.57 m/km en el subsector 11, y de 20.50 m/km en el subsector 2.

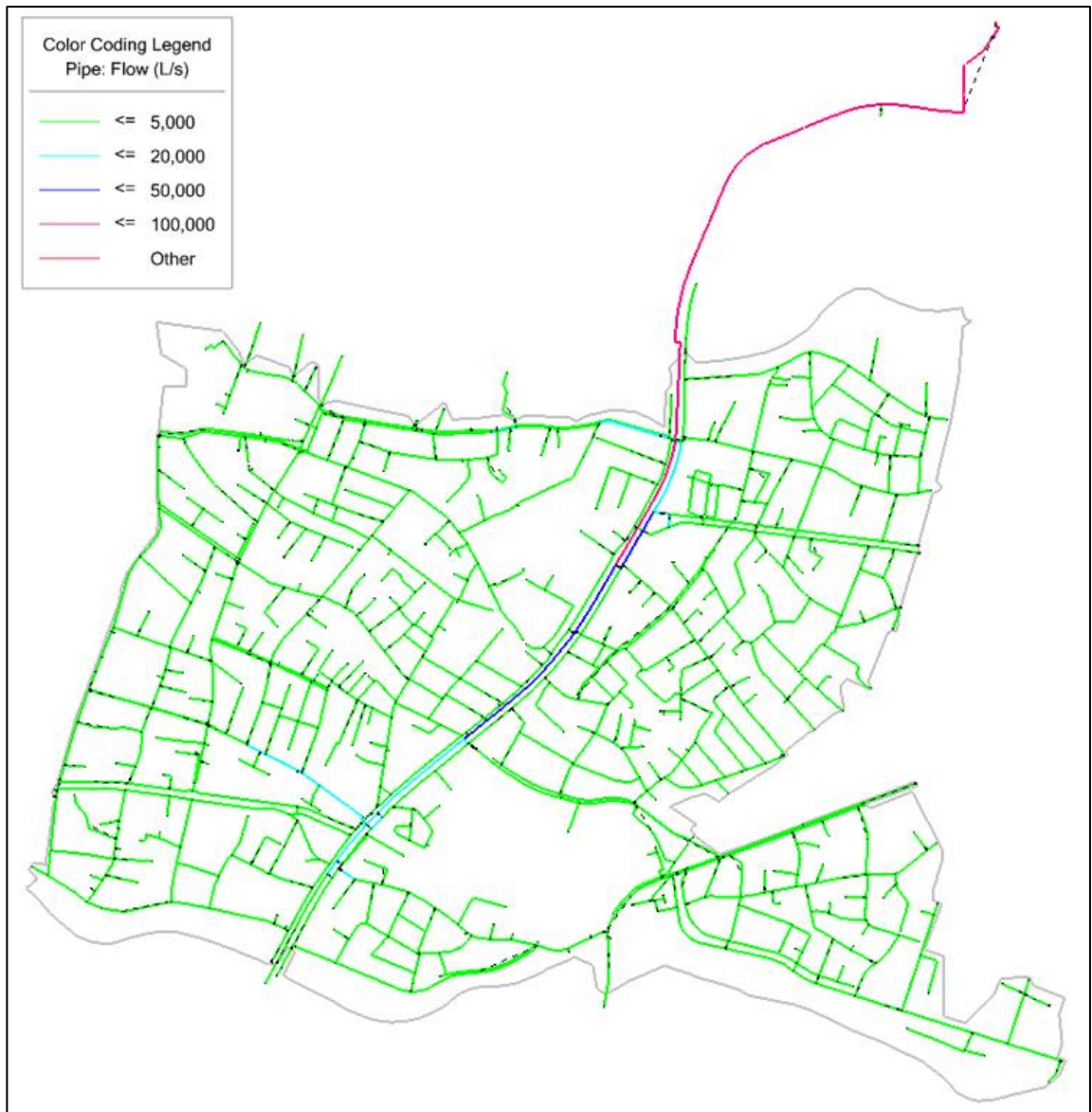




**Figura 33.** Perdida de carga del sistema Cebollar 3.2 Centro - 11:00 am.

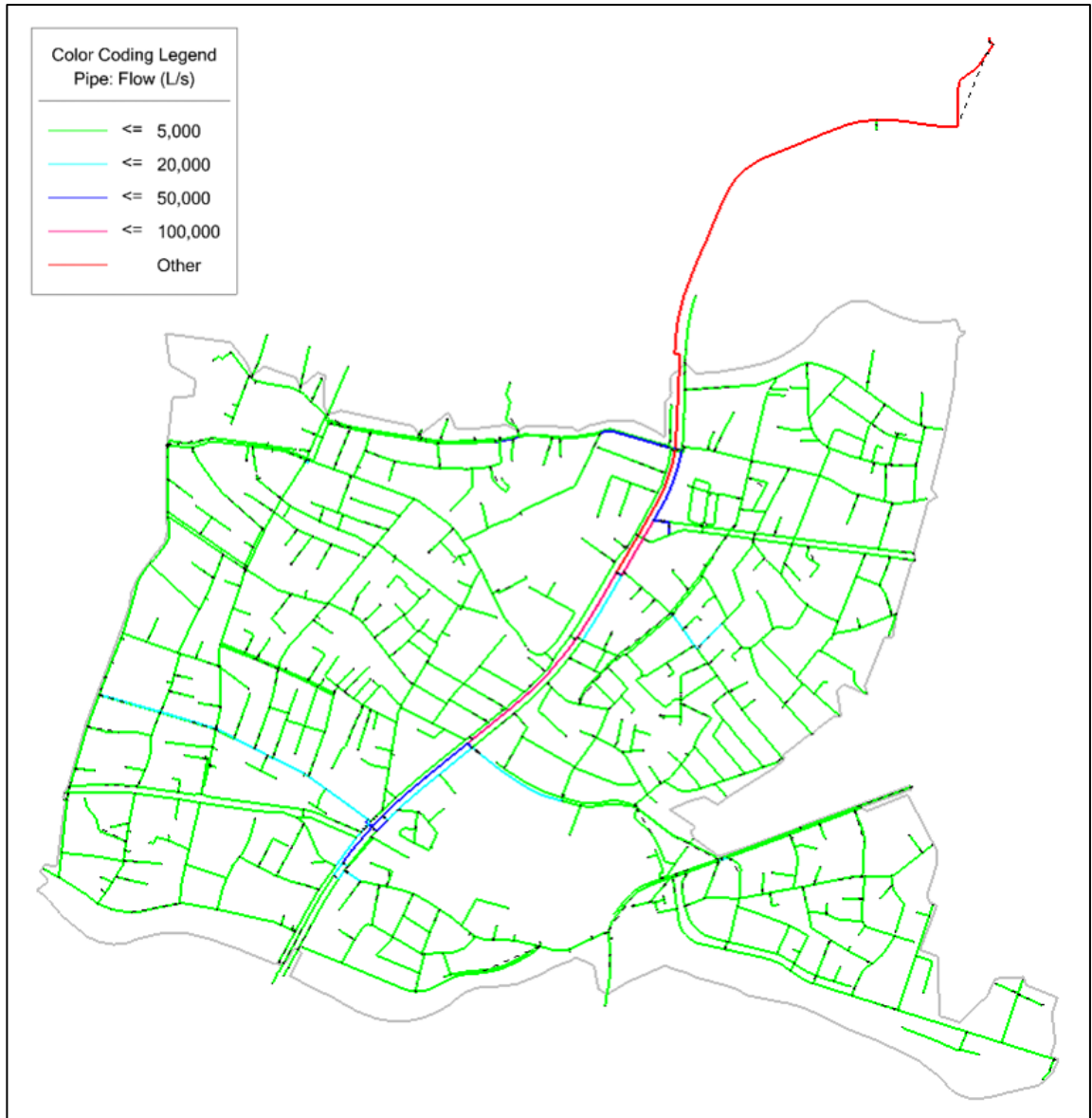
**Fuente:** Autor.

Durante las 11:00 am se tienen pérdidas de carga de 264.93 y 170.64 m/km en el subsector 5, de 113.59 y 105.99 m/km en el subsector 11, y de 73.43 m/km en el subsector 2.



**Figura 34.** Caudal del sistema Cebollar 3.2 Centro - 03:00 am.

**Fuente:** Autor.



**Figura 35.** Caudal del sistema Cebollar 3.2 Centro - 03:00 am.

**Fuente:** Autor.

Durante las 03:00 am y 11:00 am se tienen los mayores caudales en las líneas principales de abastecimiento a los subsectores como se puede ver en la **Figura 34** y **Figura 35**, en las redes de 200mm de PVC, 250mm y 300mm de AC, y en la red de 600mm de HD.

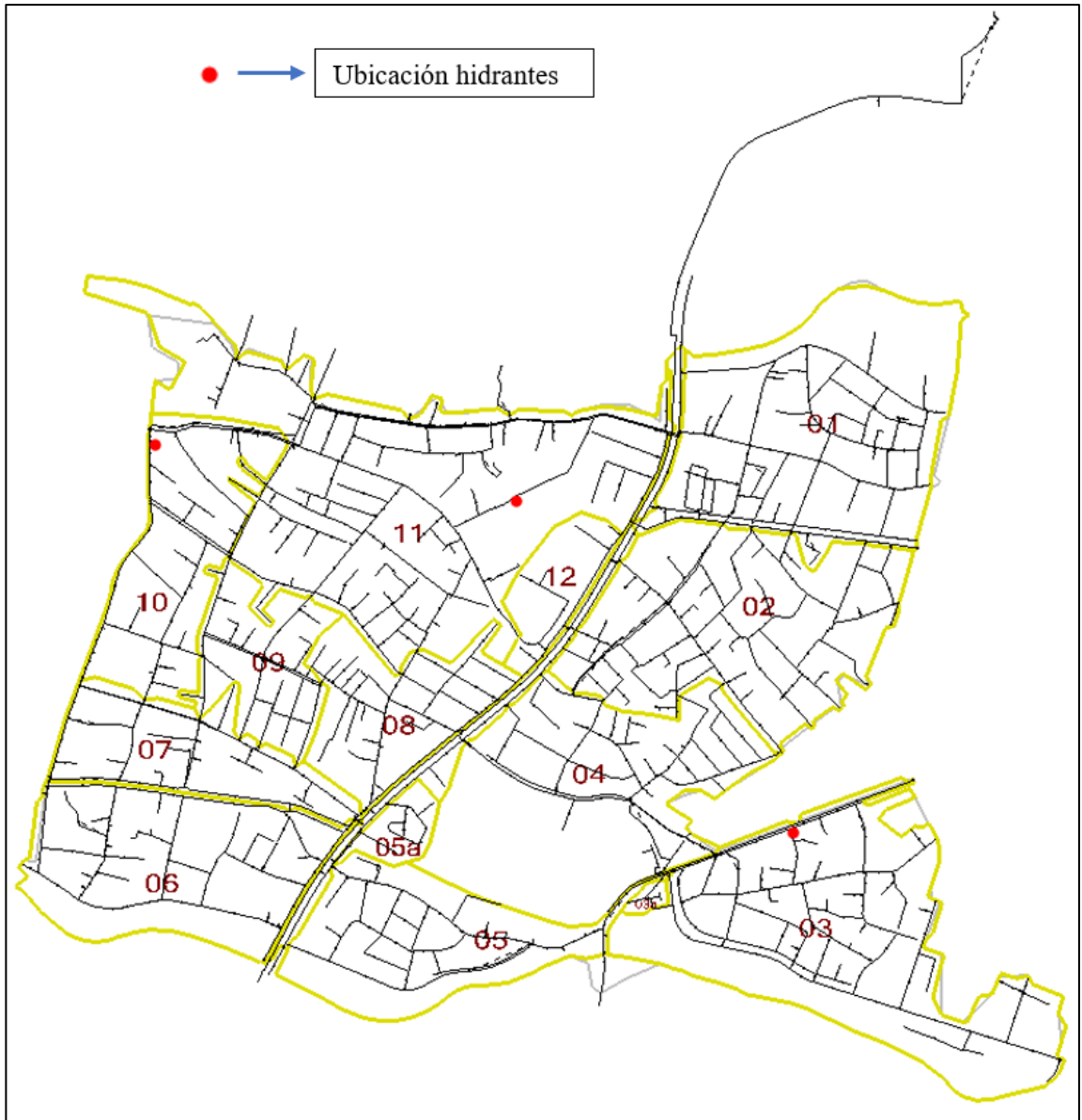
Como se puso observar en las ilustraciones anteriores, el sistema actualmente tiene siguientes problemas:

- **Con respecto a presiones:** Tanto en horas de mayor y menor consumo, el sistema tiene presiones mínimas similares de 7 m.c.a que, a pesar de cumplir con lo mínimo de lo requerido en la norma, son bajas y ocasionan que los aparatos sanitarios no funcionan correctamente. En relación a las presiones máximas, en los dos escenarios desfavorables, se tienen presiones dinámicas de 70 m.c.a, que no cumple con la norma, y debido a presiones altas, las pérdidas por fugas aumentan, y los aparatos sanitarios sufren descomposturas, como, por ejemplo, las válvulas flotadoras de los inodoros.
- **Con respecto a velocidades:** A las 03:00 y a las 11:00, existen varias redes con velocidades inferiores a los 0.5 m/s, esto debido al bajo consumo, en primer lugar, y, en segundo lugar, debido a que la empresa Etapa Ep, tiene como política mantener diámetros mínimos al momento de los diseños de las redes, independientemente de la velocidad o el caudal, ocasionando estas velocidades bajas, las cuales, a su vez, ocasionan sedimentación en las redes. De igual manera, a las 03:00 y a las 11:00, existen pocos tramos que sobre pasan los 2 m/s, los cuales provocan un mayor desgaste en las tuberías, y perdidas mayores de carga.
- **Con respecto a las pérdidas de carga:** En los dos escenarios desfavorables, paralelamente, en los tramos con velocidades mayores a los 2 m/s, las pérdidas de carga son igualmente mayores a los 15 m/km, ocasionando disminución en la presión en diferentes sectores.

Todos los problemas indicados anteriormente suceden dentro de los subsectores, constatando que, durante los dos escenarios más desfavorables, el funcionamiento hidráulico de las redes principales que abastecimientos a todos los subsectores es óptimo, ya que cumplen con los requisitos de la norma.

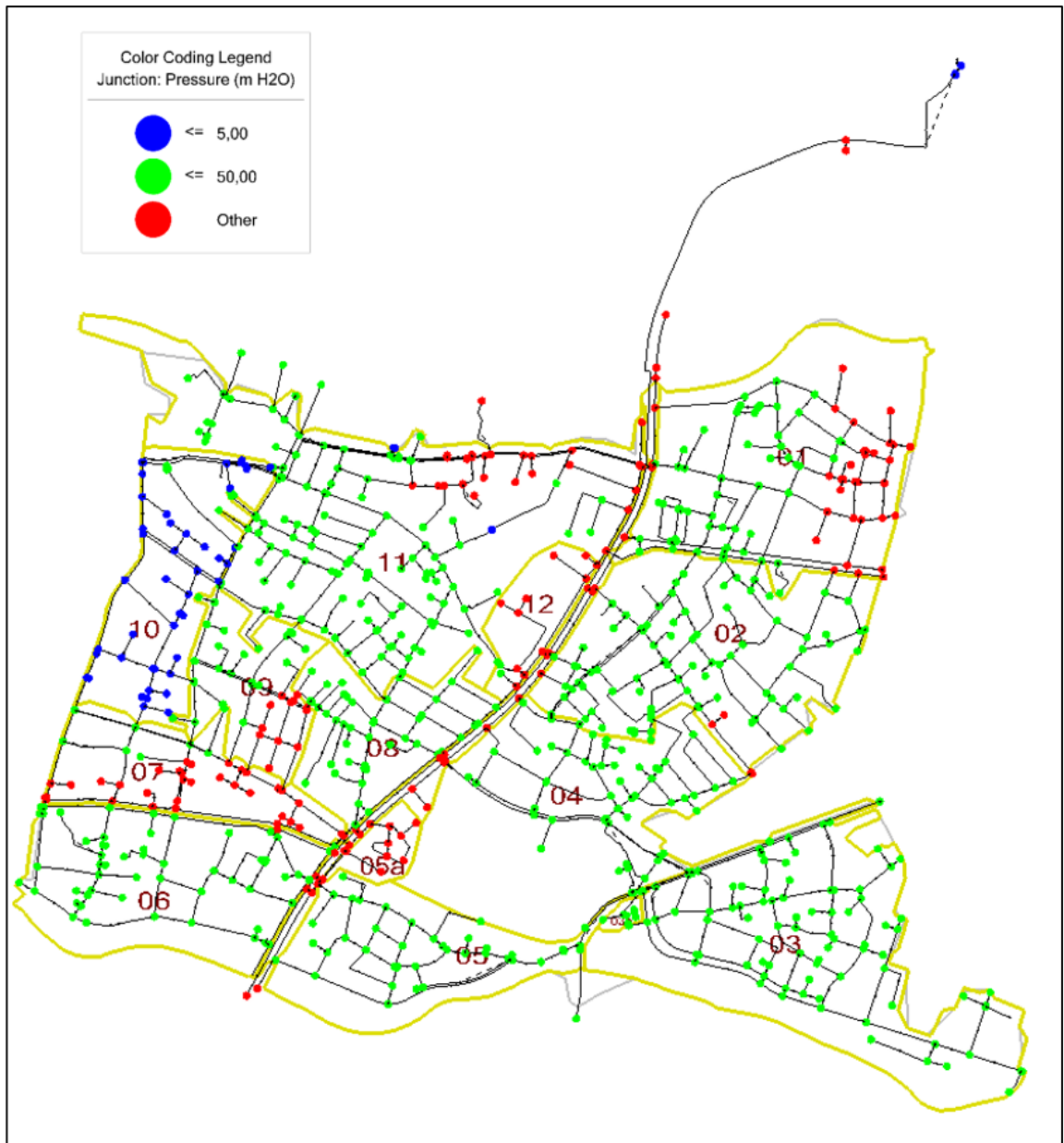
#### **4.2 Simulación de escenarios para análisis operacionales del sistema Cebollar 3.2 Centro.**

Para analizar las vulnerabilidades del sistema, se realizará una modelación con tres hidrantes abiertos durante la hora de mayor consumo (11:00 am), cada hidrante con una demanda de 12 l/s según (NORMA CO 10.07 - 601, 1992), los cuales están ubicados en los sectores 3, 10 y 11, en zonas periféricas y punto alto. Los tres hidrantes funcionaran simultáneamente y se verificará el funcionamiento hidráulico del sistema.



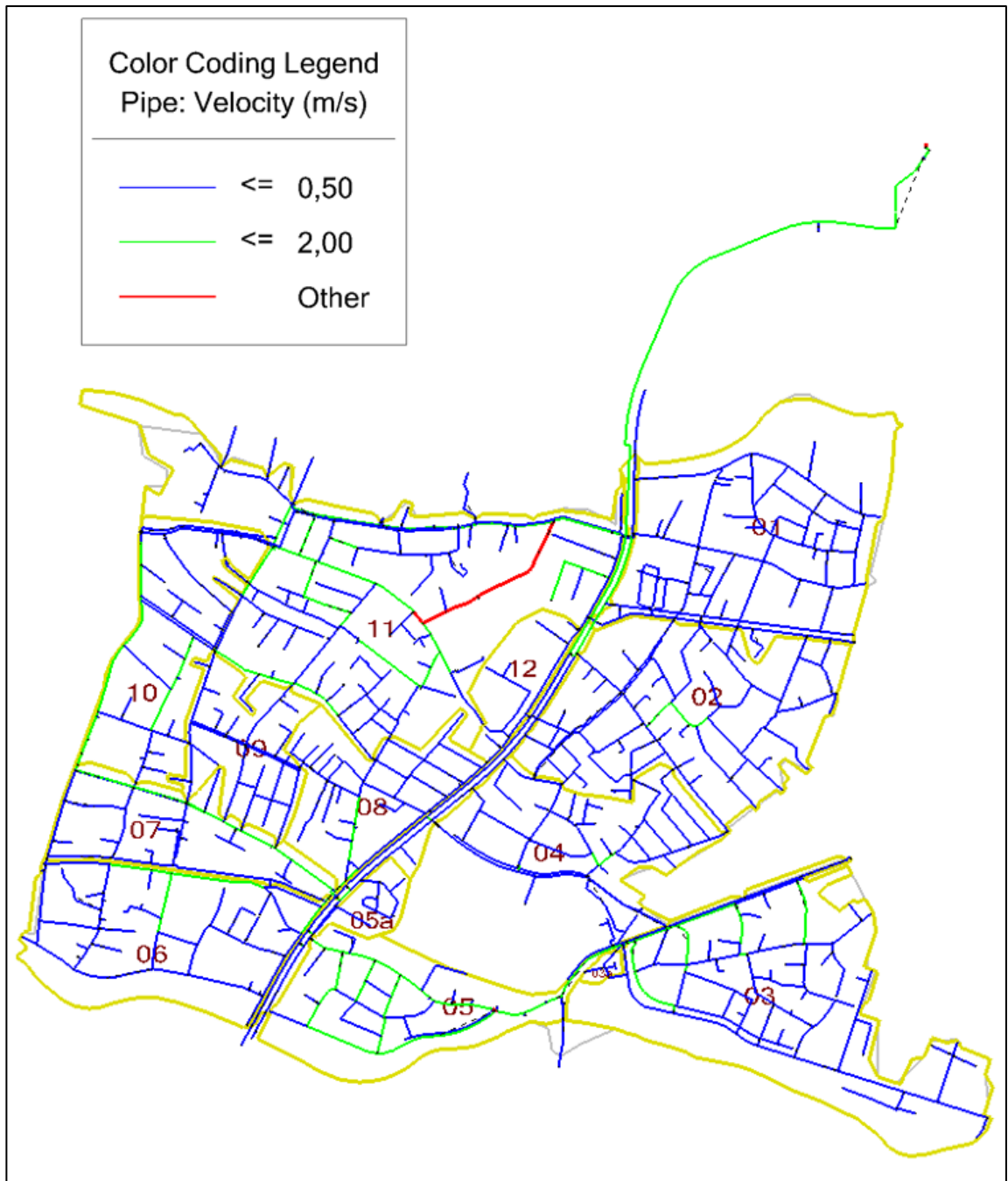
**Figura 36.** Ubicación de hidrantes, subsectores 03, 10 y 11.

**Fuente:** Autor.



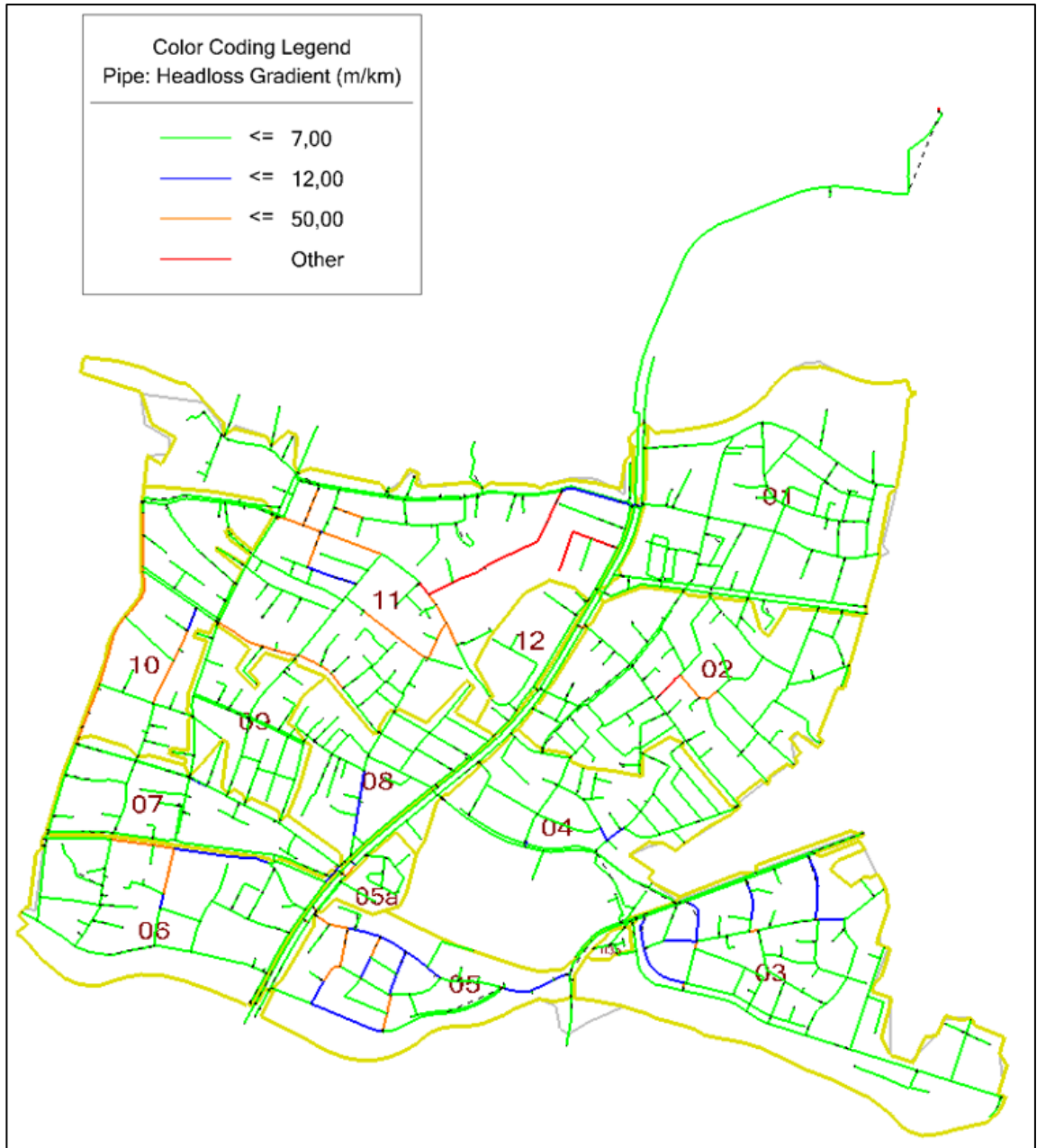
**Figura 37.** Presiones durante la simulación 3, con 3 hidrantes funcionando simultáneamente a las 11:00.

**Fuente:** Autor.



**Figura 38.** Velocidades durante la simulación 3, con 3 hidrantes funcionando simultáneamente a las 11:00.

**Fuente:** Autor.



**Figura 39.** Perdida de carga durante la simulación 3, con 3 hidrantes funcionando simultáneamente a las 11:00.

**Fuente:** Autor.

En la *Figura 37*, *Figura 38* y *Figura 39*, durante las 11:00 am, hora de mayor consumo, más caudales de incendio de tres hidrantes (12 l/s, total 36 l/s), se puede verificar lo siguiente.



- Los subsectores 1, 2, 4, 5, 5a, 6, 7, 8, 9 y 12 no se ven afectados, demostrando que la sectorización del sistema funciona correctamente, posibilitando un servicio eficiente en estos subsectores a pesar de simular un escenario muy desfavorable.
- El subsector 3, mantiene presiones y velocidades similares al del escenario en donde no funcionaban los hidrantes, demostrando que las redes actuales brindan robustez al sistema, en donde el abastecimiento dentro del subsector 3 no se ve afectado.
- Durante la simulación del escenario más desfavorable (hora de mayor consumo más caudales de incendio de 3 hidrantes de 12 l/s cada uno, funcionando simultáneamente), se puede observar que, en 90% del subsector 10, aumentan la velocidad y la pérdida de carga unitaria, en la línea principal que abastece al sector 10 y ramales secundarios, disminuyendo las presiones a menos de los límites inferiores requeridos en la norma (5 m.c.a.), afectando el funcionamiento hidráulico del sector, con un servicio deficiente.
- Finalmente, el subsector 11, no se ve afectado en gran medida, ya que más del 90% tiene presiones y velocidades dentro los requerido en la norma, manteniendo condiciones de servicio óptimas, de tal manera, que a pesar de simular el escenario más desfavorable, dentro del subsector 11 todavía se ven presiones sobre los 50 m.c.a.

#### **4.2.1 Planteamiento de mejoras.**

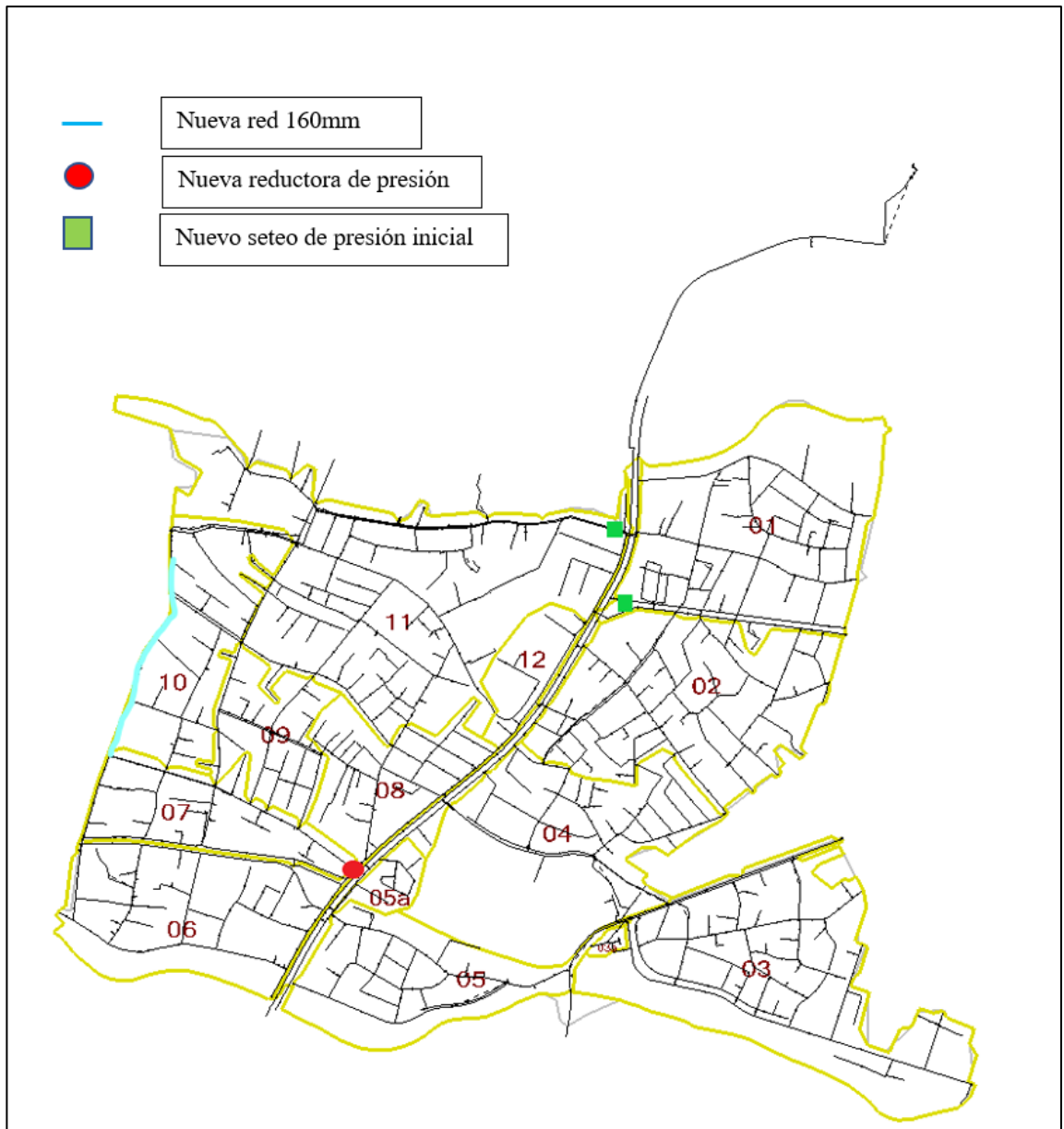
Los principales problemas del sector Cebollar 3.2 Centro son:

- Presiones mayores a los 50 m.c.a durante el funcionamiento normal de las redes de distribución, en mayor y menor consumo, y durante el funcionamiento de las redes durante el escenario más desfavorable (mayor consumo más caudal de 3 hidrantes), provocando mal funcionamiento de aparatos sanitarios de los domicilios, mayor porcentaje de fugas y reducción de la vida útil de las redes.
- Presiones mínimas generadas en el subsector 10 durante la simulación del evento más desfavorable.
- Velocidades y pérdidas de carga unitaria mayores a las recomendables (15 m/km) durante el funcionamiento normal y durante el evento más desfavorable.

Las propuestas de mejora se centrarán en la gestión de presiones, con lo cual se ajustarán también las velocidades y pérdidas de carga unitaria, disminuyendo los problemas por las pérdidas por fugas, y problemas con funcionamiento de accesorios sanitarios de los domicilios. A continuación, se indican las mejoras:

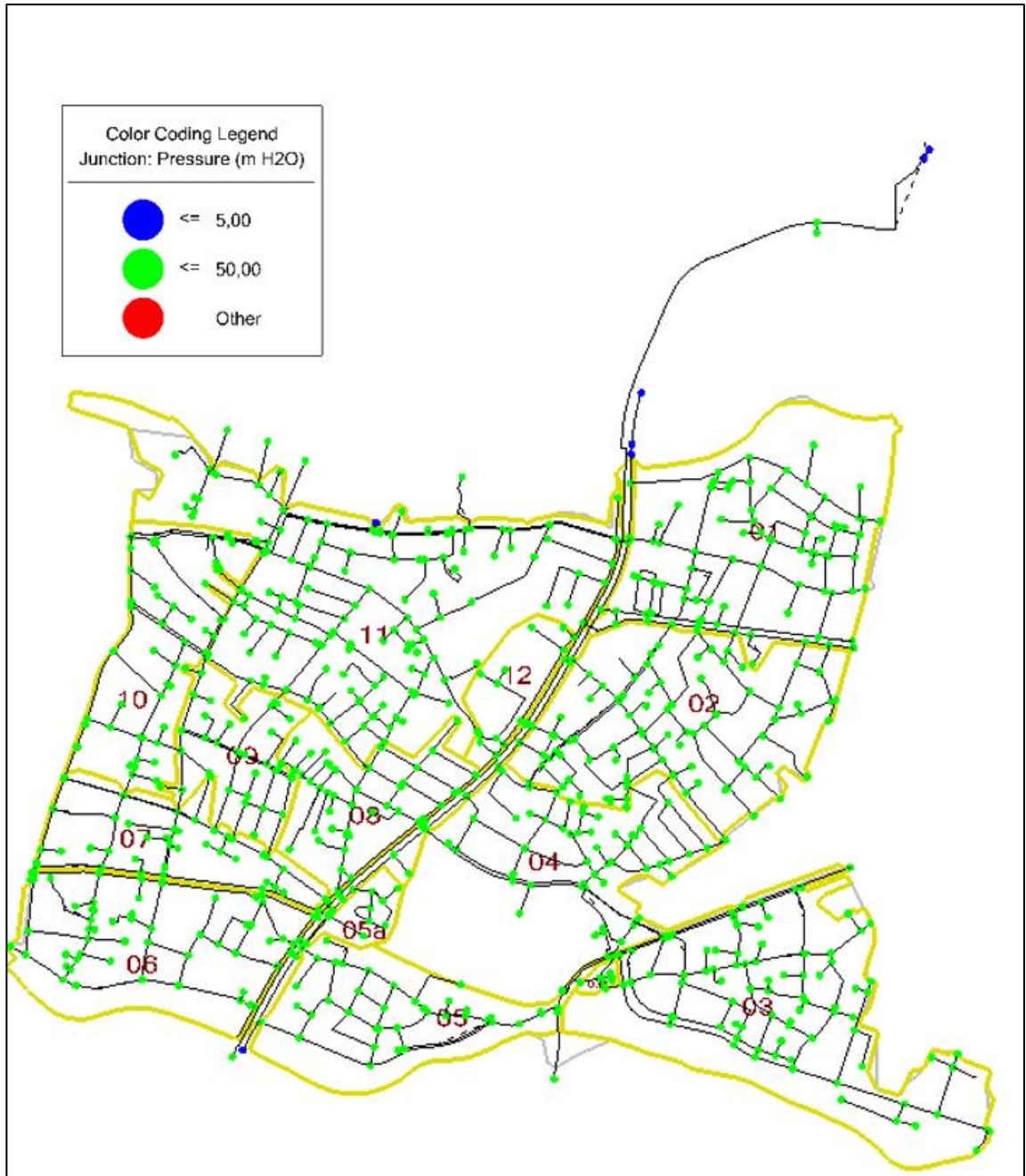
- Modificar la red principal de abastecimiento del subsector 10, de 110mm de PVC a 160mm de PVC.
- Se instala una nueva estación reductora de presión, en el punto de abastecimiento del subsector 7, desde la cual se controlará la presión en los sectores, 6, 7, 8, 9, 10, y 12.
- Nueva presión de seteo de las estaciones reductoras de presión al ingreso de los subsectores 1 y 11.

Todas estas mejoras se pueden visualizar en la ***Figura 40***.



**Figura 40.** Mejoras en el sistema Cebollar 3.2 Centro.

**Fuente:** Autor.



**Figura 41.** Presiones del sistema a las 11:00 más evento más desfavorable luego de las mejoras.

**Fuente:** Autor.

Como se puede observar en la **Figura 41**, con las mejoras realizadas al modelo hidráulico, se ha gestionado las presiones según lo esperado, controlado así las presiones bajas y sobrepresiones en el sistema.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 5.1 Conclusiones.

- Se pudo armar el modelo hidráulico en base a la información (catastros, micromedición, macromedición, manual de operación del sistema, etc.) proporcionada por la empresa Etapa Ep.
- Se cuantificó un porcentaje de pérdidas del sector del 43%.
- Se calibró el modelo exitosamente en base al modelo inicial, a las lecturas de campo, y al algoritmo genético de Darwin Calibrator.
- Con la calibración del modelo se obtuvieron los coeficientes de rugosidad reales de las tuberías en funcionamiento.
- Luego de calibrado el modelo hidráulico, se pudo validar el mismo con los datos obtenidos en campo y luego de modificar los coeficientes de rugosidad, obteniendo un modelo hidráulico que simule el comportamiento real del sistema, el cual nos servirá para análisis operativos y de planificación futura.
- Con el modelo hidráulico, se pudieron realizar diferentes análisis en donde se pudo verificar los problemas más relevantes del sistema, como sobrepresiones (mayores a 50 m.c.a).
- La sectorización actual de todo el sistema Cebollar 3.2 Centro funciona óptimamente, demostrándose que a pesar de simular eventos desfavorables, los mismos provocaron problemas, solo en los subsectores en donde se dio el evento, sin afectar subsectores aledaños.
- Según los resultados obtenidos se concluye que se comprobó la hipótesis planteada en el presente trabajo, y se cumplieron los objetivos propuestos.

### 5.2 Recomendaciones.

La empresa Etapa Ep, debería:

- Invertir en campañas de detección, y reparación de fugas debido al alto porcentaje de perdidas encontrado.
- Se recomienda, en base a los resultados obtenidos, que la empresa socialice los parámetros encontrados como los coeficientes de rugosidad para que el departamento encargado de los diseños, planifique con mayor precisión, prevea y controle, los problemas con presiones sobre los 50 m.c.a.

- Utilizar el modelo hidráulico elaborado para tareas de operación y mantenimiento del sistema

## 6. REFERENCIAS.

- Adrián, F. C., & Carballo, J. (n.d.). *MECÁNICA DE FLUIDOS: DINÁMICA DE FLUIDOS*.
- Alberto, I., & Villa, R. (2014). *Calibración y simulación del sistema fuente para abasto de agua del acueducto El Gato*.  
<https://www.researchgate.net/publication/262509321>
- Allen R. (1987). "Network analysis—the real story". *III International Conference on applications for water supply and distribution*. Ed Leicester Polytechnic, United Kingdom.
- AWWA- ECAC. (1999). *Engineering Computer Applications Committee. «Calibration Guidelines for Water Distribution System Modeling.» Proceeding of Informatic Management and Technology Conference, New Orleans. 1999.*
- BID. (2022, October 4). *AQUARATING – Atendiendo a uno de los aspectos cardinales en la gestión del agua: Pérdidas de agua*. <https://blogs.iadb.org/agua/es/aquarating-analisis-focalizado-de-perdidas-de-agua/>
- Carlos García Flores, J. I. (2020). *Diseño de una metodología para control de pérdidas de agua potable para la zona alta del cantón Azogues Design of a methodology to control drinking water losses for the upper area of the canton Azogues Desenho de metodologia para controle de perdas de água potável na parte alta do cantão de Azogues*. 6, 452–470. <https://doi.org/10.23857/dc.v6i4.1478>
- CHOW VEN TE. (2004). *2\_Chow Ven Te - Hidraulica De Canales Abiertos*.
- Cuyo, C., Maribel, J., Espíndola, U., & Esteban, R. (n.d.). *ESTUDIO DE LA PROBABILIDAD DE FUGAS/FALLOS EN LAS REDES DE AGUA POTABLE EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO (EPMAPS) DE QUITO*.
- Darío Pasinato, H. (n.d.). *FUNDAMENTOS DE MECANICA DE FLUIDOS*.
- Etapa Ep. (2019a). *Macromedición*. <https://www.etapa.net.ec/principal/agua-potable/unidad-de-control-de-agua-no-contabilizada/macromedicion>

- Etapa Ep. (2019b). *Micromedición*. <https://www.etapa.net.ec/principal/agua-potable/unidad-de-control-de-agua-no-contabilizada/micromedicon>
- EtapaEp. (2019). *Detección de fugas*. <https://www.etapa.net.ec/principal/agua-potable/unidad-de-control-de-agua-no-contabilizada/-deteccion-de-fugas>
- Fuertes V. S., García-Serra L., Iglesias P. L., López G, Martínez F. J., & Pérez R. (2002). "Modelación y diseño de redes de abastecimiento de agua", Ed. Grupo *Mecánica de Fluidos, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España*.
- José, •, Cabrera-Béjar, A., Velitchko, •, & Tzatchkov, G. (2012). *Modelación de redes de distribución de agua con suministro intermitente: Vol. III* (Issue 2). <http://www.pigoo.gob.mx/>
- Koor, M., Puust, R., & Vassiljev, A. (2014). Database driven updatable hydraulic model for decision making. *Procedia Engineering*, 70, 959–968. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.107>
- NORMA CO 10.07 - 601. (1992). *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*.
- NORMA CO 10.07 - 602. (1992). *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones menores a 1000 habitantes*.
- Oms. (2022, March 20). *Agua para consumo humano*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Pillot, J., Catel, L., Renaud, E., Augeard, B., & Roux, P. (2016). Up to what point is loss reduction environmentally friendly?: The LCA of loss reduction scenarios in drinking water networks. *Water Research*, 104, 231–241. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.07.025>
- Rodríguez-Procel, W., & Muñoz, H. B. (2021). Hydraulic modeling and calibration of drinking water distribution networks. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 12(4), 1–41. <https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2021-04-01>
- Rondán Galán, E. (2016). *Estado del arte de la calibración de modelos hidráulicos. Modelado de fugas con Epanet*.
- Serpa García. (2022). *Simulación del Comportamiento de la Red de Distribución de*

*Agua Potable del Sector Cebollar 3.2 Sur a través de un Modelo Hidráulico para el Análisis de Vulnerabilidades Operativas del Sistema.*


Silvia Takahashi, Juan Saldarriaga, & Carolina Vega. (2008). *Calibracion-Redes-Distribucion-Metodos-Inteligencia-Artificial.*

Walski T. M, Chase D., & Savic D. (2004). "Acceptable levels of calibration". *Currents Method, HaestadMethods, Vol. 1, No. 1, pp 4 – 12, USA.*

## **7. ANEXOS.**

### **7.1 Manual de operación.**



 <b>ETAPA-EP</b> <small>EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS POTABLES Y SANEAMIENTO</small>	<b>SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN SISTEMA TOMBAMBA</b> <b>MANUAL DE OPERACIÓN DE SUBSECTORIZACIÓN</b>	<b>DAIAS</b> <small>DEPARTAMENTO DE ASEGURAMIENTO DE INGRESOS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO</small>																																																																																			
<b>MANUAL DE OPERACIÓN DEL SUBSECTOR: 3.2.2</b> <b>LÍMITES Y VALVULERÍA DE OPERACIÓN</b>																																																																																					
<b>SUBSECTOR: 3.2.2</b>																																																																																					
<p>Comprende la zona centro del sector 3.2, entre los límites: Norte: con subsector 3.2(3) Norte; Sur: con río Yanuncay; Este: con sector 4B2 y Oeste: con sistema San Joaquín.</p>																																																																																					
<p>Es abastecido desde la reserva ubicada en la planta de El Cebollar (2636 msnm), con una capacidad de 9500m3, considerando las cotas máximas y mínimas del sector, que son: 2595 msnm y 2540 msnm respectivamente, se tendrán presiones estáticas que variarán desde los 58.2 psi (41mca) hasta los 136.3 psi (96mca) como máxima.</p>																																																																																					
<p>El sector consta de 6844 instalaciones, de las cuales 5781 son residenciales, 882 comerciales, 129 construcciones, 6 industriales y 46 especiales.</p>																																																																																					
<p>Existen subsectores afectados con E.R.P. (Estación Reductora de Presión), con la finalidad de eliminar las sobrepresiones de operación existentes; estos subsectores son: 01 y 02 afectado por la E.R.P.-1. ubicada en la Av. Remigio Crespo y Av. de las Américas (presión de salida 50 psi.), el subsector 04 esta afectado con la E.R.P.-2. ubicada en la Av. México y Américas con un seteo de salida de 35 psi.; el subsector 03, 03a Y 05 por la E.R.P.-3 localizada en la calle Cantón Gualaceo y Av. de las Américas (presión de salida 35 psi.) y el subsector 11 afectado por la E.R.P.-4 ubicada en la Av. General Escandón y Américas (presión de salida 60 psi.).</p>																																																																																					
<p>En el cuadro a continuación se pueden ver las longitudes de tubería en metros lineales, clasificadas por diámetros y materiales:</p>																																																																																					
<p><b>CLASIFICACIÓN DE LA TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN.</b></p>																																																																																					
<p><b>Cuadro N° 1</b></p>																																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">MATERIAL</th> <th colspan="6">DIÁMETRO TUBERÍA</th> <th colspan="5">ALIMENTACIONES</th> <th rowspan="2">TOTAL</th> </tr> <tr> <th>50-63</th> <th>100-110</th> <th>150-160</th> <th>200</th> <th>250</th> <th>300/315</th> <th>200-250</th> <th>300</th> <th>400</th> <th>500</th> <th>600</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PVC</td> <td>35,987.9</td> <td>10,161.9</td> <td>1,282.6</td> <td>3,376.3</td> <td>681.8</td> <td>238.8</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td rowspan="4">57,080.0</td> </tr> <tr> <td>AC</td> <td>223.1</td> <td>134.5</td> <td></td> <td>788.8</td> <td>693.8</td> <td></td> <td></td> <td>522.4</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>HD/HF</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1,252.9</td> <td></td> <td></td> <td>435.8</td> <td>1,299.4</td> </tr> <tr> <td><b>TOTAL</b></td> <td><b>36,211.0</b></td> <td><b>10,296.4</b></td> <td><b>1,282.6</b></td> <td><b>4,165.1</b></td> <td><b>1,375.6</b></td> <td><b>238.8</b></td> <td><b>1,252.9</b></td> <td><b>522.4</b></td> <td><b>0.0</b></td> <td><b>435.8</b></td> <td><b>1,299.4</b></td> </tr> </tbody> </table>	MATERIAL	DIÁMETRO TUBERÍA						ALIMENTACIONES					TOTAL	50-63	100-110	150-160	200	250	300/315	200-250	300	400	500	600	PVC	35,987.9	10,161.9	1,282.6	3,376.3	681.8	238.8						57,080.0	AC	223.1	134.5		788.8	693.8			522.4				HD/HF							1,252.9			435.8	1,299.4	<b>TOTAL</b>	<b>36,211.0</b>	<b>10,296.4</b>	<b>1,282.6</b>	<b>4,165.1</b>	<b>1,375.6</b>	<b>238.8</b>	<b>1,252.9</b>	<b>522.4</b>	<b>0.0</b>	<b>435.8</b>	<b>1,299.4</b>												
MATERIAL		DIÁMETRO TUBERÍA						ALIMENTACIONES						TOTAL																																																																							
	50-63	100-110	150-160	200	250	300/315	200-250	300	400	500	600																																																																										
PVC	35,987.9	10,161.9	1,282.6	3,376.3	681.8	238.8						57,080.0																																																																									
AC	223.1	134.5		788.8	693.8			522.4																																																																													
HD/HF							1,252.9			435.8	1,299.4																																																																										
<b>TOTAL</b>	<b>36,211.0</b>	<b>10,296.4</b>	<b>1,282.6</b>	<b>4,165.1</b>	<b>1,375.6</b>	<b>238.8</b>	<b>1,252.9</b>	<b>522.4</b>	<b>0.0</b>	<b>435.8</b>	<b>1,299.4</b>																																																																										
<p>Fuente: Catastros de redes: SOAS, DAIAS (Mayo- 2019).</p>																																																																																					
<p><b>OPERACIÓN DEL SECTOR.</b></p>																																																																																					
<p>En Plano adjunto se muestran los 12 subsectores en los cuales se ha dividido al sector 3.2.2 y en el cuadro siguiente se pueden ver las válvulas con las cuales se puede operar cada subsector sin interferir con los restantes para optimizar las tareas de mantenimiento:</p>																																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>SUBSECTOR</th> <th>VÁLVULAS A MANTENER CERRADAS</th> <th>Ø MATRIZ</th> <th>VÁLVULAS DE OPERACIÓN</th> <th>Ø MATRIZ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="10">1*</td> <td>C1 - Del Batán y Av. de las Américas</td> <td>110 PVC</td> <td rowspan="10">1. Av. Remigio Crespo y Av. de las Américas (ERP-1)</td> <td rowspan="10">300 PVC</td> </tr> <tr> <td>C2 -Av. de las Américas y Del Batán (bypass)</td> <td>110 PVC</td> </tr> <tr> <td>C3 - Pasaje 12 de Abril y Av. de las Américas</td> <td>110 PVC</td> </tr> <tr> <td>C4 - Remigio Crespo y Unidad Nacional</td> <td>250 PVC</td> </tr> <tr> <td>C5 - Remigio Crespo y Unidad Nacional</td> <td>250 AC</td> </tr> <tr> <td>C6 - Surinam y Remigio Crespo</td> <td>50 PVC</td> </tr> <tr> <td>C7 - Latinoamérica y Av. Remigio Crespo</td> <td>63 PVC</td> </tr> <tr> <td>C8 - Brasil y Remigio Crespo</td> <td>110 PVC</td> </tr> <tr> <td>C9 - Ecuador y Av. Remigio Crespo</td> <td>63 PVC</td> </tr> <tr> <td>C10 -Av. De Las Américas y Av. Remigio Crespo</td> <td>250 AC</td> </tr> <tr> <td rowspan="13">2</td> <td>C1 -Ecuador y Av. Remigio Crespo</td> <td>63 PVC</td> <td rowspan="13">2. Venezuela y Av. Remigio Crespo</td> <td rowspan="13">200 PVC</td> </tr> <tr> <td>C2 -Brasil y Av. Remigio Crespo</td> <td>110 PVC</td> </tr> <tr> <td>C3 - Latinoamérica y Av. Remigio Crespo</td> <td>63 PVC</td> </tr> <tr> <td>C4 - Surinam y Av. Remigio Crespo</td> <td>50 PVC</td> </tr> <tr> <td>C5 - Puerto Rico y Av. Unidad Nacional</td> <td>63 PVC</td> </tr> <tr> <td>C6 - Argentina y Av. Amazonas</td> <td>100 PVC</td> </tr> <tr> <td>C7 - Chile y Av. Amazonas</td> <td>50 PVC</td> </tr> <tr> <td>C8 - Colombia y Ecuador</td> <td>63 PVC</td> </tr> <tr> <td>C9 - Honduras y Nicaragua</td> <td>110 PVC</td> </tr> <tr> <td>C10 - Venezuela y Nicaragua</td> <td>63 PVC</td> </tr> <tr> <td>C11 - Venezuela y Nicaragua</td> <td>250 PVC</td> </tr> <tr> <td>C12 - Trinidad - Tobago y Av. De las Américas</td> <td>63 PVC</td> </tr> <tr> <td>C13 -Av. Amazonas y Av. de las Américas</td> <td>200 AC</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">3</td> <td>C1 - Pasaje Loja y Av. Loja</td> <td>200 PVC</td> <td rowspan="4">3. Av. Loja y Av. 10 de Agosto</td> <td rowspan="4">200 PVC</td> </tr> <tr> <td>C2 -Av. Loja y Pichincha</td> <td>63 PVC</td> </tr> <tr> <td>C3 - Av. Loja y Alfonso Moreno Mora</td> <td>200 PVC</td> </tr> <tr> <td>C4 - Av. 10 de Agosto y Av. Loja</td> <td>110 PVC</td> </tr> <tr> <td>3a</td> <td></td> <td></td> <td>3a. Av. Loja y Av. 10 de Agosto</td> <td>63 PVC</td> </tr> </tbody> </table>	SUBSECTOR	VÁLVULAS A MANTENER CERRADAS	Ø MATRIZ	VÁLVULAS DE OPERACIÓN	Ø MATRIZ	1*	C1 - Del Batán y Av. de las Américas	110 PVC	1. Av. Remigio Crespo y Av. de las Américas (ERP-1)	300 PVC	C2 -Av. de las Américas y Del Batán (bypass)	110 PVC	C3 - Pasaje 12 de Abril y Av. de las Américas	110 PVC	C4 - Remigio Crespo y Unidad Nacional	250 PVC	C5 - Remigio Crespo y Unidad Nacional	250 AC	C6 - Surinam y Remigio Crespo	50 PVC	C7 - Latinoamérica y Av. Remigio Crespo	63 PVC	C8 - Brasil y Remigio Crespo	110 PVC	C9 - Ecuador y Av. Remigio Crespo	63 PVC	C10 -Av. De Las Américas y Av. Remigio Crespo	250 AC	2	C1 -Ecuador y Av. Remigio Crespo	63 PVC	2. Venezuela y Av. Remigio Crespo	200 PVC	C2 -Brasil y Av. Remigio Crespo	110 PVC	C3 - Latinoamérica y Av. Remigio Crespo	63 PVC	C4 - Surinam y Av. Remigio Crespo	50 PVC	C5 - Puerto Rico y Av. Unidad Nacional	63 PVC	C6 - Argentina y Av. Amazonas	100 PVC	C7 - Chile y Av. Amazonas	50 PVC	C8 - Colombia y Ecuador	63 PVC	C9 - Honduras y Nicaragua	110 PVC	C10 - Venezuela y Nicaragua	63 PVC	C11 - Venezuela y Nicaragua	250 PVC	C12 - Trinidad - Tobago y Av. De las Américas	63 PVC	C13 -Av. Amazonas y Av. de las Américas	200 AC	3	C1 - Pasaje Loja y Av. Loja	200 PVC	3. Av. Loja y Av. 10 de Agosto	200 PVC	C2 -Av. Loja y Pichincha	63 PVC	C3 - Av. Loja y Alfonso Moreno Mora	200 PVC	C4 - Av. 10 de Agosto y Av. Loja	110 PVC	3a			3a. Av. Loja y Av. 10 de Agosto	63 PVC												
SUBSECTOR	VÁLVULAS A MANTENER CERRADAS	Ø MATRIZ	VÁLVULAS DE OPERACIÓN	Ø MATRIZ																																																																																	
1*	C1 - Del Batán y Av. de las Américas	110 PVC	1. Av. Remigio Crespo y Av. de las Américas (ERP-1)	300 PVC																																																																																	
	C2 -Av. de las Américas y Del Batán (bypass)	110 PVC																																																																																			
	C3 - Pasaje 12 de Abril y Av. de las Américas	110 PVC																																																																																			
	C4 - Remigio Crespo y Unidad Nacional	250 PVC																																																																																			
	C5 - Remigio Crespo y Unidad Nacional	250 AC																																																																																			
	C6 - Surinam y Remigio Crespo	50 PVC																																																																																			
	C7 - Latinoamérica y Av. Remigio Crespo	63 PVC																																																																																			
	C8 - Brasil y Remigio Crespo	110 PVC																																																																																			
	C9 - Ecuador y Av. Remigio Crespo	63 PVC																																																																																			
	C10 -Av. De Las Américas y Av. Remigio Crespo	250 AC																																																																																			
2	C1 -Ecuador y Av. Remigio Crespo	63 PVC	2. Venezuela y Av. Remigio Crespo	200 PVC																																																																																	
	C2 -Brasil y Av. Remigio Crespo	110 PVC																																																																																			
	C3 - Latinoamérica y Av. Remigio Crespo	63 PVC																																																																																			
	C4 - Surinam y Av. Remigio Crespo	50 PVC																																																																																			
	C5 - Puerto Rico y Av. Unidad Nacional	63 PVC																																																																																			
	C6 - Argentina y Av. Amazonas	100 PVC																																																																																			
	C7 - Chile y Av. Amazonas	50 PVC																																																																																			
	C8 - Colombia y Ecuador	63 PVC																																																																																			
	C9 - Honduras y Nicaragua	110 PVC																																																																																			
	C10 - Venezuela y Nicaragua	63 PVC																																																																																			
	C11 - Venezuela y Nicaragua	250 PVC																																																																																			
	C12 - Trinidad - Tobago y Av. De las Américas	63 PVC																																																																																			
	C13 -Av. Amazonas y Av. de las Américas	200 AC																																																																																			
3	C1 - Pasaje Loja y Av. Loja	200 PVC	3. Av. Loja y Av. 10 de Agosto	200 PVC																																																																																	
	C2 -Av. Loja y Pichincha	63 PVC																																																																																			
	C3 - Av. Loja y Alfonso Moreno Mora	200 PVC																																																																																			
	C4 - Av. 10 de Agosto y Av. Loja	110 PVC																																																																																			
3a			3a. Av. Loja y Av. 10 de Agosto	63 PVC																																																																																	
<table border="1"> <tr> <td>FECHA ULTIMA REVISION:</td> <td>jul-19</td> <td>REALIZADO:</td> <td>Arq. Gabriela Cedillo</td> </tr> <tr> <td>LUGAR:</td> <td>DAIAS</td> <td>REVISADO:</td> <td>Ing. Pablo Muñoz B.</td> </tr> <tr> <td>VERSION:</td> <td>1</td> <td>ENTREGADO:</td> <td>05-jul-19</td> </tr> </table>	FECHA ULTIMA REVISION:	jul-19	REALIZADO:	Arq. Gabriela Cedillo	LUGAR:	DAIAS	REVISADO:	Ing. Pablo Muñoz B.	VERSION:	1	ENTREGADO:	05-jul-19																																																																									
FECHA ULTIMA REVISION:	jul-19	REALIZADO:	Arq. Gabriela Cedillo																																																																																		
LUGAR:	DAIAS	REVISADO:	Ing. Pablo Muñoz B.																																																																																		
VERSION:	1	ENTREGADO:	05-jul-19																																																																																		

4	C1 - Belice y Av. de las Américas	63 PVC	4. Av. México y Av. de las Américas (ERP-2)	200 PVC
	C2 - Nicaragua y Av. de las Américas	110 PVC		
	C3 - Venezuela y Nicaragua	250 PVC		
	C4 - Venezuela y Nicaragua	63 PVC		
	C5 - Honduras y Nicaragua	110 PVC		
	C6 - Colombia y Ecuador	63 PVC		
	C7 - Chile y Av. Amazonas	50 PVC		
	C8 - Argentina y Av. Amazonas	100 PVC		
	C9 - Pasaje Loja y Av. Loja	200 PVC		
5**	C1 - Av. 10 de Agosto y Av. Loja	110 PVC	5. Cantón Gualaceo y Av. de las Américas (ERP-3)	160 PVC
	C2 - Av. Loja y Cleza de León	160 PVC		
5a		160 PVC	5a. Las Antillas y Av. de las Américas	100 PVC
		110 PVC	5a. Calle sin nombre y Av. De Las Américas	63 PVC
6	C1 - Isauro Rodríguez y Enrique Artzaga	110 PVC	6. Av. De Las Américas y Daniel Fernández de C.	110 PVC
	C2 - Paseje Medlo Ejido y Av. De Las Américas	63 PVC		
7***	C1 - Paseje Medlo Ejido y Av. De Las Américas	63 PVC	7. Daniel Fernández de C. y Av. De Las Américas	110 PVC
	C2 - Isauro Rodríguez y Enrique Artzaga	63 PVC		
	C3 - Víctor Tinoco y Daniel Fernández de Córdova	63 PVC		
	C4 - Francisco Cisneros y Daniel Fernández de Córdova	110 PVC		
	C5 - Eduardo Cevallos y Daniel Fernández de Córdova	63 PVC		
	C6 - Alberto Toral y Daniel Fernández de Córdova	110 PVC		
8	C1 - Alberto Toral y Francisco Aguilar	110 PVC	8. Av. De Las Américas y Daniel Fernández de Córdova	110 PVC
	C2 - Carlos Berrezueta y Leopoldo Dávila	63 PVC		
	C3 - Leopoldo Dávila y Rafael Estrella	63 PVC		
	C4 - Av. De Las Américas y Víctor Aguilar (by pass)	110 PVC		
9	C1 - Francisco Cisneros y Daniel Fernández de Córdova	63 PVC	9. Mariano Estrella y Daniel Fernández de Córdova	160 PVC
	C2 - Miguel Ortega y Francisco Cisneros	110 PVC		
	C3 - Francisco Cisneros y Carlos Berrezueta	63 PVC		
	C4 - Mariano Estrella y Carlos Berrezueta	160 PVC		
	C5 - Alberto Toral y Francisco Aguilar	110 PVC		
	C6 - Alberto Toral y Daniel Fernández de Córdova	110 PVC		
	C7 - Eduardo Cevallos y Daniel Fernández de Córdova	63 PVC		
10	C1 - Isauro Rodríguez y Carlos Arizaga (Válvula Tapón)	200 PVC	10. Isauro Rodríguez y Daniel Fernández de Córdova	110 PVC
	C2 - Carlos Arizaga y Francisco Cisneros	200 PVC		
	C3 - Alberto Andrade y Francisco Cisneros	63 PVC		
	C4 - Carlos Berrezueta y Francisco Cisneros (2 válvulas)	63 PVC		
	C5 - Miguel Ortega y Francisco Cisneros	110 PVC		
	C6 - Víctor Tinoco y Daniel Fernández de Córdova	63 PVC		
11	C1 - Av. De Las Américas y Remigio Crespo	250 AC	11. Av. General Escandón y Av. De Las Américas	200 PVC
	C2 - Av. De Las Américas y Remigio Crespo	300 AC		
	C3 - Leopoldo Dávila y Rafael Estrella	63 AC		
	C4 - Carlos Berrezueta y Leopoldo Dávila	63 AC		
	C5 - Mariano Estrella y Carlos Berrezueta	160 PVC		
	C6 - Francisco Cisneros y Carlos Berrezueta	63 PVC		
	C7 - Carlos Berrezueta y Francisco Cisneros (2 válvulas)	63 PVC		
	C8 - Alberto Andrade y Francisco Cisneros	63 PVC		
	C9 - Carlos Arizaga y Francisco Cisneros	200 PVC		
	C10 - Ramona Cordero y Av. General Escandón	63 PVC		
	C11 - Daniel Muñoz y Av. General Escandón	63 PVC		
	C12 - Francisco Martínez y Av. General Escandón	50 PVC		
	C13 - José Astudillo y Av. General Escandón	200 PVC		
	C14 - José Astudillo y Av. General Escandón	110 PVC		
	C15 - Tomás Alvarado y Av. General Escandón	50 PVC		
	C16 - Víctor Manuel Albormoz y Av. General Escandón	63 PVC		
12	C1 - Av. De Las Américas y Remigio Crespo	300 PVC	12. Av. De Las Américas y Agustín Cuesta	110 PVC
	C2 - Av. De Las Américas y Ecuador (Bypass)	200 PVC		

**NOTAS.**



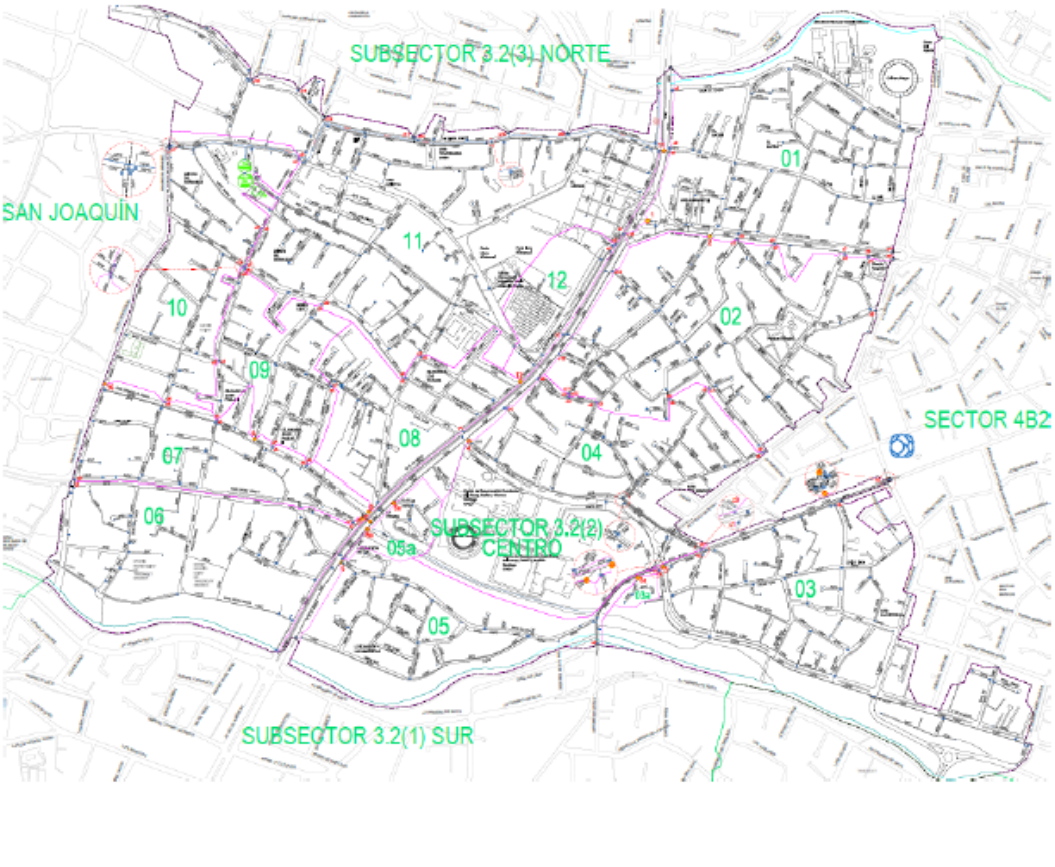
\* Al Suspendir el subsector 01 se suspende simultáneamente el subsector 02

\*\* Al Suspendir el subsector 05 se suspende simultáneamente los subsectores 03 y 03a.

\*\*\* Al Suspendir el servicio al subsector 07 se suspende el subsector 06, 08, 09, 10, 12

Es muy importante mantener las válvulas indicadas como cerradas, para el correcto funcionamiento de las VRP y de la subsectorización.

FECHA ULTIMA REVISION:	jul-19	REALIZADO:	Arq. Gabriela Cedillo
LUGAR:	DAIAS	REVISADO:	Ing. Pablo Muñoz B.
VERSION:	1	ENTREGADO:	05-jul-19

 <b>ETAPA-EP</b> <small>EMPRESA TUBERÍA DE AGUA POTABLE - ENTREGA DE AGUA POTABLE</small>	<b>SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN SISTEMA TOMBAMBA</b> <b>MANUAL DE OPERACIÓN DE LA SECTORIZACIÓN</b>	<b>DAIAS</b> <small>DEPARTAMENTO DE ASEGURAMIENTO DE INGRESOS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO</small>	
<b>MANUAL DE OPERACIÓN DEL SUBSECTOR: 3.2.2</b> <b>LÍMITES Y VALVULERÍA DE OPERACIÓN</b>			
<p>* Para facilitar la ubicación de las válvulas denominadas de "operación" estas se encuentran dispuestas con tapas metálicas.</p> <p>* En el sector existen matrices de alimentación (Av. de las Américas) que no pertenecen a ningún subsector. Para suspender su uso se deberán operar válvulas adicionales a las denominadas de "operación".</p> <p>* Para un vaciado más rápido de cada subsector, se debe descargar la red mediante hidrantes indicados en el plano, se deberá tener el cuidado de utilizarlos también en las zonas altas de cada subsector durante el llenado de las tuberías para facilitar la extracción de aire y evitar nuevas roturas; la apertura de válvulas para reintegrar el servicio deberá ser muy lentamente para facilitar la circulación del aire</p> <p>* Si al intentar cortar el servicio a uno de los subsectores, este no seca, será necesario revisar que todas las válvulas que constan como "mantener cerradas" en el cuadro anterior, lo estén realmente.</p> <p>* Cada vez que el servicio se suspenda, se deberá notificar obligatoriamente al Centro de Control, de igual manera cuando se reintegre el servicio al subsector.</p> <p>* Cualquier cambio que se requiera implementar en la operación actual del sector, se deberá comunicar o sugerir al Ingeniero responsable de la operación y mantenimiento para su estudio y posible implementación.</p> <p>* En caso de problemas de falta de agua o presiones bajas excesivas en los subsectores afectados con reducción de presiones, se deberá verificar primeramente antes de intervenir en la red que los filtros ubicados en las ERP no estén coimatados; si persiste el problema se deberá verificar adicionalmente que los las válvulas límite de estos subsectores se encuentren cerradas.</p>			
<b>ESQUEMA DEL SECTOR: TRINIDAD</b>	<b>ABASTECIMIENTO:</b> COTA CAPACIDAD DE RESERVA:	Planta del Cebollar 2636 msnm. 9500 m3	
<div style="text-align: right; margin-bottom: 10px;">  </div> 			
FECHA ULTIMA REVISION:	jul-19	REALIZADO:	Arq. Gabriela Cedillo
LUGAR:	DAIAS	REVISADO:	Ing. Pablo Muñoz B.
VERSION:	1	ENTREGADO:	05-jul-19