RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Juan Pablo Quintero Claro Andrea Yurany Rincon Amaya
FACULTAD	Ingeniería
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Civil
DIRECTOR	Dibrey Paola Quintero Criado
CODIRECTOR (si aplica)	No aplica
TÍTULO DE LA TESIS	Sectorización de las redes de distribución de agua potable de Acosmi en el municipio de Rio de Oro, Cesar, basada en patrones de consumo, para la optimización del sistema.
TITULO EN INGLES	Sectorization of Acosmi's drinking water distribution networks in the municipality of Rio de Oro, Cesar, based on consumption patterns, for system optimization.

RESUMEN
(70 palabras)

El proyecto busca optimizar la red de distribución de agua potable de Acosmi en el barrio San Miguel, Río de Oro Cesar, mediante la sectorización basada en patrones de consumo. Se analizaron datos macro y micro de medición para identificar demandas, se elaboró un catastro de la red y se propuso un modelo digital con Epanet. El objetivo es mejorar la eficiencia, abordando problemas como baja presión y falta de infraestructura adecuada.

RESUMEN EN INGLES

The project seeks to optimize Acosmi's drinking water distribution network in the San Miguel neighborhood of Río de Oro, Cesar, through sectorization based on consumption patterns. Macro and micro measurement data were analyzed to identify demand, a network registry was developed, and a digital model using Epanet was proposed. The goal is to improve efficiency by addressing problems such as low water pressure and lack of adequate infrastructure.

PALABRAS CLAVES	Catastro de redes, red de distribución, patrón de consumo, macro medición, micro medición, sectorización.
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Network cadastre, distribution network, consumption pattern, macro measurement, micro measurement, sectorization.

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 134	PLANOS: 4	ILUSTRACIONES: 52	CD-ROM: 1

Sectorización de las redes de distribución de agua potable de Acosmi en el municipio de Rio de Oro, Cesar, basada en patrones de consumo, para la optimización del sistema.

Andrea Yurany Rincón Amaya

Juan Pablo Quintero Claro

Facultad de Ingeniería, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería Civil

Ing. Dibrey Paola Quintero Criado

4 de abril 2025

Dedicatoria

A mi madre, pilar fundamental de mi vida, por su amor incondicional y su apoyo inquebrantable. Gracias por tenderme tu mano en los momentos más difíciles, por ser mi refugio y por impulsarme siempre a seguir adelante. Este logro no solo es mío, sino también tuyo, porque es el fruto de tus sacrificios, tu amor y tus enseñanzas.

A mi padre (Q.P.D.), quien desde el cielo sigue guiando mis pasos. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por tu orgullo que me fortalecía y por esas palabras que resonaban en mis días de lucha: *"Tú puedes, eres una berraca"*. Hoy, este triunfo es también tuyo, porque sembraste en mí la perseverancia y el coraje.

A mi hermana, mi alma gemela, cómplice de risas, sueños y batallas. Gracias por acompañarme en cada paso, por tu apoyo inagotable y por ser ese lazo irrompible que da sentido a cada momento compartido. Es un privilegio haber crecido a tu lado, aprender contigo y compartir esta vida que, gracias a ti, está llena de colores más brillantes y días más luminosos.

A mi pareja, mi compañero en esta travesía, por ser mi apoyo incondicional en cada noche de desvelo, por tu amor inquebrantable y por esas palabras de aliento que me devolvían la fuerza cuando el camino parecía imposible. Gracias por no dejarme rendirme jamás.

Andrea Yurany Rincón Amaya

Dedicatoria

A mis padres, cimientos de mi vida, por entregarme su apoyo incondicional, por creer en mí incluso cuando yo mismo dudaba, y por enseñarme que el amor y la perseverancia son el camino para alcanzar cualquier meta. Esta tesis es, en parte, el fruto de sus sacrificios y enseñanzas.

A mi hermana Carolina, mi cómplice de batallas, mi voz de aliento en los días grises y mi alegría en los brillantes. Gracias por estar siempre al pie del cañón, por tus sacrificios silenciosos y por demostrarme que el amor de hermana es un lazo inquebrantable. Eres, sin duda, mi inspiración.

A mi esposa y a nuestro bebé que está por llegar, los pilares de mi presente y futuro. Esta tesis y todos mis logros son para ustedes, porque son mi mayor motivación. Con ustedes, la vida tiene un propósito más profundo y hermoso.

A mi hermana María Paula, por tu apoyo constante y por ser esa compañera que convirtió los momentos difíciles en oportunidades para crecer.

A mi abuela, que desde el cielo me guía con sus valores y su legado. Aunque no estés aquí para verme graduarme, sé que cada paso que doy lleva tu esencia. Eres parte de la persona que soy hoy.

Y a Fernando y Cristian, mis amigos que el tiempo convirtió en hermanos. Gracias por reír, llorar y resistir a mi lado. Su amistad ha sido un faro en mi camino.

Juan Pablo Quintero Claro

Agradecimientos

A todas las personas que hicieron posible este sueño, porque lo que hoy celebramos no es solo un logro académico, sino el resultado de incontables manos que nos sostuvieron, voces que nos animaron y corazones que creyeron en nosotros cuando el camino parecía difícil.

A nuestras familias, por ser nuestro refugio y nuestro motor. Gracias por regalarnos paciencia en las noches de desvelo, por escucharnos con orgullo incluso cuando hablábamos de temas que no entendían, y por demostrarnos que el amor es el mejor cimiento para crecer.

A nuestros amigos y compañeros, Rudy Rangel y Jhon Becerra, por convertir las aulas en espacios de aprendizaje y complicidad. Gracias por compartir sus apuntes, sus ideas y, sobre todo, su amistad. Con ustedes, hasta los proyectos más complejos se llenaron de risas y café compartido.

A nuestra directora de tesis, la Ing. Dibrey Paola Quintero, por guiarnos con sabiduría y dedicación. Su rigor académico y sus consejos no solo enriquecieron este trabajo, sino que nos dejaron lecciones que llevaremos más allá de las aulas.

A la empresa ACOSMI, por abrirnos sus puertas y confiar en nosotros. Este proyecto no sería el mismo sin su colaboración, su apertura a nuestras ideas y ese apoyo que siempre llegó en el momento justo.

Andrea Yurany Rincon Amaya

Juan Pablo Quintero Claro

Índice

Capítulo 1. Sectorización de las redes de distribución de agua potable de Acosmi en el municipio de Rio de Oro, Cesar, basada en patrones de consumo, para la optimización del sistema 12

1.1. Planteamiento del Problema 12

1.2. Formulación del Problema 15

1.3. Objetivos de Investigación 16

1.3.1. Objetivo General 16

1.3.2. Objetivos Específicos 16

1.4. Justificación 16

1.5. Delimitaciones 20

1.5.1. Delimitación Geográfica 20

1.5.2. Delimitación Temporal 22

1.5.3. Delimitación Conceptual 22

1.5.4. Delimitación Operativa 22

Capítulo 2. Marco Referencial 25

2.1. Marco Histórico 25

2.1.1. Antecedentes a Nivel Mundial 25

2.1.2. Antecedentes a Nivel Nacional 27

2.1.3. Antecedentes a Nivel Local 30

2.2. Marco Contextual 31

2.3. Marco Conceptual 32

2.3.1. Catastro de Redes de Distribución. 32

2.3.2. Macro Medición. 33

2.3.3. Micro Medición. 33

2.3.4. Patrón de Consumo. 33

2.3.5. Modelo Digital 33

2.3.6. Sectorización de Redes de Distribución. 34

2.4. Marco Teórico 34

2.5. Marco Legal 36

2.5.1. Leyes y regulaciones colombianas 36

Capítulo 3. Diseño Metodológico 39

3.1. Tipo de Investigación 39

3.2. Población y Muestra 40

3.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de la Información 40

3.4. Análisis de la Información 41

Capítulo 4. Análisis Bibliométrico 43

Capítulo 5. Resultados 55

5.1. Elaboración de Catastro de las Redes de Distribución Existentes 55

5.2. Macro y Micro Medición de ACOSMI 63

5.2.1. Macro Medición para la Creación del Patrón de Consumo 63

5.2.2 Micro Medición para la Estimación de los Consumos Reales por Tramo de Malla de la Red de Distribución 73

5.2.3 Pérdidas de la red de distribución 85

5.3. Sectorización de las redes de distribución 91

5.3.1. Análisis y soluciones de presiones 104

Capítulo 6. Conclusiones 120

Capítulo 7. Recomendaciones 122

Referencias 125

Apéndices 131

Lista de Figuras

Figura 1 Ubicación Geográfica general del Municipio de Rio de Oro, Cesar (Mapcreator, 2024). 20

Figura 2 Ubicación del Municipio de Rio de Oro, Cesar (Google Earth, 2023)..... 21

Figura 3 Ubicación del barrio San Miguel Municipio de Rio de Oro, Cesar (Google Earth, 2023) 21

Figura 4 Resumen análisis bibliométrico 43

Figura 5 Producción anual de artículos 44

Figura 6 Citaciones por año 45

Figura 7 Diagrama de tres campos 46

Figura 8 Revistas con más publicaciones 47

Figura 9 Autores con más publicaciones 48

Figura 10 Autores más Productivos 48

Figura 11 Universidades con mayor producción de artículos 49

Figura 12 Producción científica de las universidades 50

Figura 13 Países con más artículos y colaboraciones 51

Figura 14 Países con mayor contribución de artículos de modelaciones hidráulicas 52

Figura 15 Países con más artículos publicados 53

Figura 16 Palabras clave más utilizadas de los autores 54

Figura 17 Armado de equipo RTK UNISTRONG G970II PRO BAND 56

Figura 18 Nivelación del equipo RTK UNISTRONG G970II PRO BAND 56

Figura 19 Levantamiento topográfico de la red de distribución 57

Figura 20 Levantamiento topográfico de la red de distribución 57

Figura 21 Plano de catastro de redes de distribución existentes 60
Figura 22 Zoom de catastro de redes de distribución.....61
Figura 23 Convenciones del plano de catastro.....62
Figura 24 Cortes Transversales A, B y C de la red de distribución 63
Figura 25 Formato control de macro medidores en PTAP ACOSMI 64
Figura 26 Macro medidor ControlAgua de salida de 4 pulgadas.....65
Figura 27 Gráfico Patrón de consumo.....68
Figura 28 Gráfico de bigotes del patrón de consumo.....69
Figura 29 Consumo promedio diario en l/s.....71
Figura 30 Consumo promedio mensual en l/s.....72
Figura 31 Formato control de micro medidores de ACOSMI.....74
Figura 32 Zoom del catastro de red de ACOSMI N1-N92 con sus usuarios 77
Figura 33 Promedio caudal mensual micro medición 2023 82
Figura 34 Anomalía Temperatura Máxima agosto 2023.....83
Figura 35 Índice de la precipitación mensual.....84
Figura 36 Distribución porcentual del caudal mensual micro medición 2023 85
Figura 37 Esquema de pérdidas de una red de distribución 86
Figura 38 Relación de caudales y diferencia de pérdidas mensual (2023) 90
Figura 39 Relación entre dotación neta y porcentaje de pérdidas 91
Figura 40 Modelación Epanet tiempo cero 93
Figura 41 Análisis de Epanet con patrón de consumo 93
Figura 42 Gráfica de presiones máximas y mínimas.....102
Figura 43 Presiones máximas 3:00 a.m.....103

Figura 44 Presiones mínimas 12:00 p.m 104

Figura 45 Modelación en Epanet con propuesta de cambio de diámetros 105

Figura 46 Presión mínima nueva simulación en Epanet hora 11:00 a.m 106

Figura 47 Presión máxima nueva simulación en Epanet hora 3:00 a.m 107

Figura 48 Gráfica de presiones máximas y mínimas 107

Figura 49 Plano de sectorización existente 108

Figura 50 Plano de propuesta de sectorización 109

Figura 51 Gráfica de balance de caudales 118

Figura 52 Patrón de Consumo Epanet 118

Lista de Tablas

Tabla 1 Cartera topográfica 58

Tabla 2 Digitalización de macro mediciones ACOSMI (Fragmento del 2021) 66

Tabla 3 Patrón de consumo promedio en 24 horas por macro medidor 67

Tabla 4 Digitalización de micro mediciones ACOSMI (Fragmento de enero 2023) 75

Tabla 5 Consumo de los suscriptores del tramo entre los nodos 1 y 92 en l/s (enero 2023) 77

Tabla 6 Caudales reales para cada nodo de la red de distribución (2023) 78

Tabla 7 Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida 88

Tabla 8 Dotación neta y porcentaje de pérdidas 89

Tabla 9 Presiones en Epanet con patrón de consumo 94

Tabla 10 Caudales en Epanet con patrón de consumo 98

Tabla 11 Presiones nueva modelación Epanet 110

Tabla 12 Caudales nueva modelación Epanet 114

Capítulo 1. Sectorización de las redes de distribución de agua potable de Acosmi en el municipio de Rio de Oro, Cesar, basada en patrones de consumo, para la optimización del sistema.

1.1. Planteamiento del Problema

Según la revista Vector de la Ingeniería Civil, (2013), el elemento clave para la subsistencia de la vida, ha sido siempre indispensable para la viabilidad y desarrollo de toda civilización desde hace más de cinco mil años. Según la FAO, a partir de 1950 se ha triplicado el consumo de agua en todo el mundo; los sectores agrícola e industrial son los mayores consumidores y el gasto por habitante, ha aumentado en casi un 50%. Muchos hogares de países desarrollados llegan a consumir diariamente más de 2000 litros de agua de buena calidad. Al mismo tiempo, más de 1700 millones de personas escasamente pueden acceder a este vital elemento o bien no tienen acceso a un agua segura. La Organización Mundial de la Salud considera ideales 150 litros por día.

Los recursos de agua dulce del mundo se renuevan a través de un ciclo continuo de evaporación, precipitación y escorrentía - comúnmente conocido como el ciclo del agua - que determina su distribución y disponibilidad a través del tiempo y el espacio. Hay diferentes formas de definir y medir la escasez de agua y/o el estrés hídrico. El indicador nacional de escasez de agua más conocido es el agua renovable per cápita al año, donde se utilizan los valores máximos para distinguir entre diferentes niveles de estrés hídrico (Falkenmark y Widstrand, 1992). Un área o país está bajo estrés hídrico regular cuando los suministros hídricos renovables caen por debajo de 1.700 m3 per cápita al año. Las poblaciones sufren de escasez de

agua crónica cuando el suministro de agua cae por debajo de 1.000 m3 per cápita al año, y de escasez absoluta cuando este cae por debajo de 500 m3 per cápita al año.

Gracias a las numerosas leyes y normativas internacionales, la importancia de realizar estudios detallados sobre el consumo de agua potable antes de diseñar una red de suministro y alcantarillado es cada vez más reconocida. Estos estudios permiten adaptar los proyectos a las características específicas de cada región.

En algunos países, como México, existen disposiciones respecto de la conservación del agua, ya que su preservación es determinante en la existencia humana. En tales disposiciones se contemplaron la definición de los patrones de consumo, misma que tiende a prever gráficos pormenorizados de cómo una población en particular goza del agua. Por lo tanto, es preciso definir los métodos y procedimientos para el cálculo de la disponibilidad de agua, tomando en cuenta diversos patrones y la demanda de diferentes regiones en el país. Asimismo, será base fundamental para definir estrategias y acciones que faciliten el manejo integrado del agua, el cual asegura un uso equitativo y sostenible, acorde a las necesidades de la población y los sectores productivos, y al mismo tiempo preserva el equilibrio de los ecosistemas acuáticos.

En México, por ejemplo, hay leyes para el uso del agua, porque su uso es esencial para la vida humana. Ellos establecen la elaboración de patrones de consumo pormenorizados, y a su vez ofrecen gráficos que explican cómo un grupo particular de la población reproduce el agua.

A pesar de las realidades, es importante desarrollar métodos y procedimientos para la determinación de la disponibilidad de recursos hídricos, considerando los varios patrones de consumo y la demanda en las diferentes partes del país. Esto es muy importante para la formulación de estrategias y medidas para implementar una gestión integrada de los recursos

hídricos que garantice un uso equitativo y sostenible del agua, respondiendo a las necesidades de la población y los sectores productivos, así como manteniendo el equilibrio de los ecosistemas acuáticos.

Guzmán Alfonso Osorio, representante legal de la junta de acción comunal del barrio San Miguel etapa I, señala que hace 52 años, habitantes del barrio San Miguel, del municipio de Río de Oro, Cesar, se reunieron para abordar una problemática crucial: "*la incapacidad de la empresa local de agua para suministrar adecuadamente el líquido vital al nuevo barrio"*. Inicialmente, se instaló un tanque de Eternit en la parte alta del barrio, donde los residentes se abastecían de agua. En 1980, gracias a la gestión del señor Jairo Rueda, se construyó un tanque en mampostería, garantizando un caudal, permitiendo establecer el actual acueducto del barrio San Miguel. En 1998, se edificó un nuevo tanque que sirvió a la comunidad durante 26 años, aumentando los suscriptores de 150 a 586. En el año 2023, se ha construido un tanque con dos módulos para satisfacer la demanda creciente del agua.

Funcionarios encargados de la planta, manifiestan problemáticas como la obstrucción de la bocatoma por sedimentos durante las épocas de invierno, poca o nula eficiencia del desarenador existente, ausencia de catastro de redes, necesidad de recuperar el tanque antiguo, problemas en la línea de conducción de agua hacia el tanque de tratamiento, por daños en atraques y pasos elevados, bajos caudales de la quebrada en época de verano, obligando a utilizar la misma obra de captación para las dos empresas de acueducto del municipio de Rio de Oro, altas pérdidas técnicas en la red de distribución, baja presión en algunos sectores de la malla existente de las redes de distribución, falta de elementos de control antes y/o después de los componentes del sistema de acueducto, en especial en las redes de distribución que permita la

sectorización del sistema para establecer posibles turnos de abastecimiento por manzanas o barrios y las deficiencias en la ubicación de válvulas ventosas o purgas en la línea de conducción, lo que implica que, en caso de daños, se deba interrumpir el suministro de agua a la planta de tratamiento y/o a la comunidad.

Dentro de los desafíos en la gestión del sistema de distribución de agua potable de ACOSMI, la falta de información computarizada del consumo de agua y la infraestructura de distribución existente. Pese a que cuentan con un archivo físico, diligenciado a mano de los caudales que entran y salen de la planta de tratamiento y/o tanque de almacenamiento, solo lo llevan por posibles requerimientos de los entes de control.

La ausencia de un catastro de las redes de distribución dificulta la identificación de fugas y la planificación de mantenimiento preventivo, mientras que la falta de análisis sistemáticos de consumo impide la implementación de medidas efectivas para gestionar la demanda de agua de manera eficiente.

1.2. Formulación del Problema

¿Cómo se puede sectorizar las redes de distribución de agua potable del acueducto ACOSMI, Municipio de Rio Oro, Cesar; para mitigar los problemas recurrentes de baja presión, interrupciones en el servicio y/o pérdidas de agua, considerando la falta de catastro, consumos reales de la comunidad y la infraestructura de distribución existente?

1.3. Objetivos de Investigación

1.3.1. Objetivo General

Sectorizar las redes de distribución de agua potable de ACOSMI en el Municipio de Rio de Oro, Cesar, basada en patrones de consumo, para la optimización del sistema.

1.3.2. Objetivos Específicos

Realizar un análisis con la información de macro medición de ACOSMI, para la creación del patrón de consumo, y con la micro medición para la estimación de los consumos reales por tramo de la malla de la red de distribución.

Elaborar catastro con equipo de precisión de las redes de distribución existentes de los suscriptores de ACOSMI para la eficiencia del mantenimiento, planificación y gestión efectiva del equipo operativo de la empresa.

Proponer la sectorización de las redes de distribución bajo un modelo digital incorporando el patrón de consumo a 24 horas, que permita la semejanza de demandas y la unificación de presiones.

1.4. Justificación

La curva de consumo, también conocida como perfil de consumo, describe cómo los distintos tipos de usuarios demandan agua a lo largo del tiempo. Estas curvas muestran la frecuencia del consumo en diferentes momentos del día, proporcionando información valiosa sobre los caudales reales que se utilizan, lo que permite identificar los máximos y mínimos de consumo, así como las horas pico y valle. Además, al normalizar esta curva dividiendo los caudales horarios por el caudal medio, es posible calcular los coeficientes de aumento de los

caudales medios, denominados K1 y K2 según la Norma RAS 2000. Las curvas de consumo son cruciales para la planificación de recursos hídricos, que permita a las entidades encargadas de identificar áreas con alta demanda y potenciales déficits de agua. Además, ayuda a optimizar el uso del agua mediante el desarrollo de estrategias que mejoren la eficiencia en su consumo, teniendo en cuenta su uso, ya sea residencial, comercial o agrícola. También es fundamental para la gestión de aguas residuales, ya que al entender cuánto agua se consume, es posible estimar con precisión la cantidad de aguas residuales que se generan, mejorando así la planificación y operación de los sistemas de drenaje y tratamiento.

En México, la norma que se relaciona con los patrones de consumo y que está vinculada con la línea de aguas es la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, “la cual, tiene como objetivo establecer el método base para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales y del subsuelo, para su explotación, uso o aprovechamiento” (Comisión Nacional del Agua, 2023). La cual detalla cómo se deben realizar los estudios de patrones de consumo, incluyendo la recopilación de datos y la creación de gráficos que reflejen el uso del agua en distintas áreas y para diversos fines.

Según, el libro UNESCO & PHI-LAC, (2000), Diagnostico del Agua en las Américas Hasta 1990 Colombia ocupaba el cuarto lugar en el mundo después de la Unión Soviética, Canadá y Brasil en mayor volumen de agua por unidad de superficie. El rendimiento hídrico promedio del país, según los expertos, era de 60 litros por kilómetro cuadrado, lo que era seis veces mayor que el rendimiento promedio mundial y tres veces el de Suramérica. Actualmente el panorama es totalmente diferente. El volumen de agua ha disminuido y su calidad también ha hecho que la disponibilidad de agua en el país sea inferior, esto debido a la tala indiscriminada de

bosques, situación que atañe directamente a los ecosistemas acuáticos y terrestres, de los cuales depende casi en su totalidad la vida de la tierra.

En Colombia, la falta de una norma específica sobre estudios de patrones de consumo de agua puede explicarse por diversas razones. En primer lugar, las normas actuales están más enfocadas para la regulación y conservación del agua, abordando el uso del recurso hídrico a nivel nacional sin entrar en detalles específicos sobre patrones de consumo. Además, la implementación de estudios detallados requiere recursos significativos y capacidades técnicas avanzadas, que pueden no estar disponibles en las entidades encargadas de la gestión del agua.

Los patrones de consumo de agua en las áreas de planeamiento urbano son muy importantes ya que proporcionan aspectos primarios de datos de entrada para la calibración y validación de modelos hidráulicos en relación con las estructuras de optimización del control de aguas pluviales. Dichos modelos requieren como insumo esencial información precisa sobre la demanda de agua para simular adecuadamente el comportamiento hidráulico de la red bajo condiciones variables y el conocimiento de las zonas propensas a inundaciones. Sin ello, la simulación podría llegar a ser errónea, dando lugar a decisiones mal planificadas sobre la planificación y gestión de la infraestructura de drenaje. El conocimiento de los usos del agua permite en cierta medida dimensionar las infraestructuras de drenaje, dimensionamiento adecuado que va acompañado de una mejor capacidad de respuesta ante emergencias y de la promoción de prácticas de conservación, lo que supone una gestión eficaz y sostenible de los recursos hídricos en nuestra región.

En Ocaña y los municipios vecinos no existen datos sobre patrones de consumo. El presente trabajo de investigación permitiría iniciar la recopilación de datos que son un requisito

previo para realizar un análisis detallado de nuestra región en materia de consumo de agua. Esta información sería de suma importancia para futuras investigaciones sobre el uso óptimo de los recursos hídricos en nuestra zona.

El barrio San Miguel, ubicado en el Municipio de Río Oro, Cesar, enfrenta algunos problemas importantes en su sistema de distribución de agua potable, el cual es administrado por acueducto de ACOSMI. La creciente demanda de agua y los problemas en la fuente de abastecimiento han generado problemas que ahora son recurrentes, algunos por baja presión en las redes de distribución o pérdidas de agua y deficiencias en la calidad del servicio. Ante esta situación, es necesario estudiar el sistema existente para encontrar dónde se puede mejorar y plantear soluciones reales para optimizar la gestión en la distribución de agua potable.

El enfoque propuesto en esta investigación es el siguiente: analizar el consumo de agua en detalle mediante el mapeo de patrones de consumo, crear un catastro de las redes de distribución y utilizar la simulación digital para evaluar el desempeño del sistema en diferentes escenarios operativos. Las oportunidades y los problemas relacionados con la gestión del sistema de distribución de agua potable para ACOSMI se lograrán combinando estos diferentes aspectos. El resultado de este estudio será útil no solo para la comunidad local en términos de calidad y confiabilidad del servicio de agua potable, sino también como precursor de futuras intervenciones y políticas de gestión del agua a nivel municipal y regional.

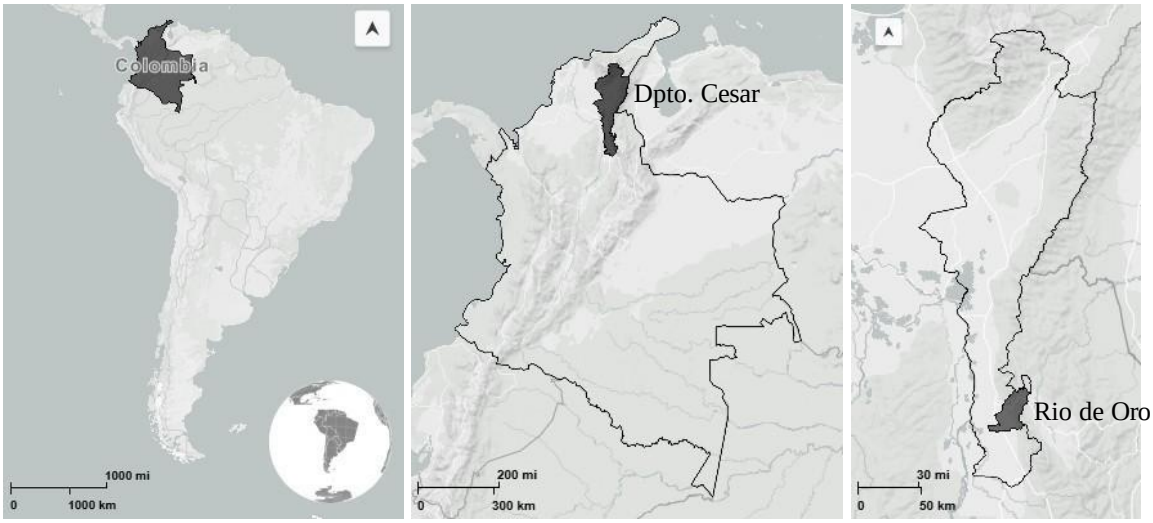
1.5. Delimitaciones

1.5.1. Delimitación Geográfica:

Este proyecto está ubicado en el municipio de Río de Oro departamento del Cesar, específicamente en el barrio San Miguel y en el área de desarrollo del acueducto comunitario de la empresa ACOSMI. La ubicación geográfica general del municipio de Río de Oro se muestra en la *Figura 1*, la ubicación satelital del municipio de Rio de Oro se muestra en la *Figura 2* y la zona específica de intervención del proyecto, el barrio San Miguel, se indica en la *Figura 3*.

Figura 1

Ubicación Geográfica general del Municipio de Rio de Oro, Cesar (Mapcreator, 2024).



Nota. Adaptado de Mapcreator (2024). *Mapa de Suramérica, Colombia y Departamento del Cesar* [Mapa], Mapcreator, 2024. https://online.mapcreator.io/#/project/1280688/revision/last

Figura 2

Ubicación del Municipio de Rio de Oro, Cesar (Google Earth, 2023)



Nota. Adaptado *de Google. (2023). Vista satelital del proyecto desde Google Earth* [Imagen satelital], Google Earth Pro, 2023. https://earth.google.com/

Figura 3

Ubicación del barrio San Miguel Municipio de Rio de Oro, Cesar (Google Earth, 2023)



Nota. Adaptado *de Google. (2023). Vista satelital del proyecto desde Google Earth* [Imagen satelital], Google Earth Pro, 2023. https://earth.google.com/

1.5.2. Delimitación Temporal:

El proyecto plantea ejecutarse en un periodo de 4 meses a partir de la aprobación de la propuesta durante el año 2024.

1.5.3. Delimitación Conceptual:

El principal propósito de este proyecto se centra en abordar específicamente la gestión y optimización de la red de distribución de agua potable de ACOSMI. Se enfocará en el desarrollo del catastro de esta red, la identificación de un patrón de consumo y la realización de un análisis detallado del flujo, presión y capacidad del sistema. Estas acciones se orientan hacia la mejora de la calidad y eficiencia del servicio de suministro de agua potable.

1.5.4. Delimitación Operativa:

1.5.4.1. Elaboración de un catastro de redes de distribución existente. Medición Topográfica: Realización de un estudio topográfico utilizando el equipo de alta precisión RTK UNISTRONG G970II PRO BAND, con recursos propios, para las redes de distribución existentes bajo la responsabilidad de ACOSMI.

Registro de Elementos del Sistema: Documentar la ubicación y características de las tuberías principales y secundarias, válvulas de control, medidores y otros elementos relevantes del sistema de distribución existente, con la colaboración del personal de la empresa y/o

miembros de la comunidad que puedan proporcionar esta información durante el trabajo de campo. Es importante tener en cuenta que no se realizarán apiques.

Base de Datos y Cartografía: Diseñar una base de datos estructurada que contenga toda la información recolectada y elaborar mapas digitales detallados de la red de distribución existente, integrando la información topográfica y los datos de campo. Esto se llevará a cabo utilizando herramientas como Microsoft Excel, Civil 3D y Google Earth.

1.5.4.2. Análisis del consumo de agua potable. Recolección de Datos de Consumo: Información manuscrita que dispone la empresa ACOSMI de los datos de consumo de agua potable de la macro medición horaria del tanque de almacenamiento existente, disponible de los últimos cinco años (2019-2023), como la micro medición de los suscriptores de la empresa disponible del último año (2023).

Identificación de Patrones de Consumo: Análisis detallado usando Microsoft Excel, para determinar los patrones de consumo, incluyendo picos de demanda, variaciones estacionales y diferencias de consumo.

Visualización de Datos: Utilizando Microsoft Excel, generar representaciones visuales que ilustren los patrones de consumo de forma clara y comprensible. Esto puede incluir gráficos de barras, líneas de tiempo, mapas de calor, etc.

Análisis de Factores Influyentes: Examinar los factores que afectan el consumo de agua potable, como el tamaño del hogar, la densidad poblacional y las actividades económicas.

1.5.4.3. Simulación digital del sistema de distribución de agua potable. Modelado con EPANET 2.2: Emplear el software EPANET 2.2 para la creación de un modelo del sistema

de distribución de agua potable del acueducto ACOSMI, utilizando la información recopilada previamente.

Análisis de Flujo, Presión y Capacidad: Llevar a cabo un análisis de flujo, presión y capacidad del sistema en diversos escenarios operativos y de demanda, con el fin de detectar áreas de congestión y proporcionar recomendaciones para optimizar la gestión del consumo de agua potable por parte de ACOSMI. Este análisis se llevará a cabo utilizando Microsoft Excel.

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1. Marco Histórico

Desde 1993, el 22 de marzo es el Día Mundial del Agua. Más que conmemorativo, al establecer este día, la Organización de las Naciones Unidas buscó centrar la atención sobre uno de los problemas que ya enfrenta la humanidad: la escase de agua para consumo humano y para la producción. Este año el tema del agua se asocia a otro de no menor importancia el de la seguridad alimentaria, sobre todo cuando en 2011 se alcanzó la cifra de siete mil millones de seres humanos habitando en este planeta y es que como mencionara Irina Bokova, directora general de la UNESCO: “Es imposible lograr un desarrollo humano sostenible sin agua de buena calidad, a la que todos tengan acceso”.

Si bien se han hecho esfuerzos por mejorar los servicios relacionados con el agua (en los que participan autoridades, especialistas e instituciones de educación superior), en ocasiones se realizan de manera aislada y sin un conocimiento real de la situación en cada país, ciudad o municipio.

2.1.1. Antecedentes a Nivel Mundial

De acuerdo con (Surita Gil, 2020), de la Universidad Peruana Unión, en su tesis “Análisis del sistema de la red de distribución de agua, usando EPANET en áreas rurales”, se estudió cómo optimizar la distribución de agua potable en comunidades rurales a través del software EPANET. En el estudio se desarrollaron simulaciones estáticas y dinámicas para evaluar presiones, velocidades y diámetros de tuberías claves, cuyas combinaciones óptimas aseguran un suministro efectivo cumpliendo con la normativa vigente. En este trabajo se utiliza el uso de patrones o

curvas de consumo, permitiendo también las curvas necesarias para predecir el comportamiento real de la red, en caso de que problemas como bajas presiones o velocidades no sean las adecuadas. Con esa información se pueden reformular los diseños para tener una red que dé un mejor servicio y de manera más confiable que en la actualidad.

Asimismo, con (Llamuca Iza, 2018), de la Universidad Técnica de Ambato-Ecuador, en su tesis titulada "Caracterización de la curva de consumo diario de la red de agua potable de los sectores Atahualpa 1, Constantino Fernández 1, y Augusto Martínez 1, del cantón Ambato" propuso un análisis descriptivo de los hábitos de consumo de agua potable en estas parroquias rurales de Tungurahua. La investigación se desarrolló a partir de una recolección de datos que incluyó mediciones de consumo diario durante 60 días, seguido de un monitoreo de consumo horario y presiones durante 7 días, y encuestas a los usuarios del servicio.

Los resultados obtenidos, procesados mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG), permitieron identificar variaciones horarias, diarias y semanales en el consumo, así como proyecciones de demandas futuras y fluctuaciones en la presión del agua potable. Este estudio resulta valioso para instituciones como la Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPA), al ofrecer información precisa que facilita la planificación y diseño de redes hidráulicas más eficientes. Entre los hallazgos principales destacan la variabilidad de los patrones de consumo según las características de cada sector, lo que subraya la importancia de estudios localizados para optimizar la gestión del recurso hídrico.

Finalmente, (Socarrás Ordaz, Ramos Joseph y León Méndez., 2015), de la Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría, en Cuba, se propone en su tesis titulada "Determinación de las curvas de consumos clasificados en clientes residenciales de un sector de

la empresa Aguas de La Habana" un enfoque innovador para caracterizar los patrones de consumo de agua en clientes residenciales. Este estudio aborda, por primera vez en la empresa, la creación de curvas de consumo clasificadas para identificar pérdidas aparentes asociadas a la medición de contadores de facturación.

La investigación se desarrolló en un sector con servicio continuo de 24/7, evaluando una muestra de 14 clientes. Se utilizaron contadores inteligentes marca Contazara, con un enfoque de medición detallada durante seis meses. Los resultados obtenidos permitieron establecer el impacto de las pérdidas aparentes en el consumo, evidenciando su influencia en el uso racional del agua. Además, se realizaron ejercicios hipotéticos para extrapolar estos hallazgos a otras áreas de la empresa Aguas de La Habana.

El trabajo incluye la instalación y monitoreo de contadores, el análisis de consumos horarios y mensuales, y la comparación de resultados con estudios previos. Los hallazgos destacan la variabilidad en las curvas de consumo y su relación con factores como el perfil socioeconómico y las características físicas del entorno, lo que proporciona información clave para el diseño y optimización de sistemas de abastecimiento de agua en contextos similares.

2.1.2. Antecedentes a Nivel Nacional

Tal como lo menciona con (Garzón Orduña, 2014), de la Universidad Nacional de Colombia, ubicada en Bogotá, su tesis titulada "Evaluación de patrones de consumo y caudales máximos instantáneos de usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá" aborda la caracterización detallada de los consumos de agua potable en zonas residenciales de la capital colombiana. Este trabajo se enfoca en analizar las curvas de consumo y los caudales máximos

instantáneos reales de los usuarios, con el objetivo de evaluar su relación con los caudales estimados mediante metodologías tradicionales empleadas en la normativa colombiana.

Se partió de un extenso levantamiento de información, incluyendo mediciones con micro medidores digitales y encuestas aplicadas a más de 1,200 usuarios de distintos estratos socio económicos. Por último, se analizó la idoneidad de las metodologías empleadas en Colombia, como las propuestas en las Normas RAS 2000 y NTC 1500, para estimar los CAUMPA. Los datos permitieron construir curvas patrón de consumo y perfiles horarios detallados. Tales propuestas son el resultado de esta monografía, que se comparan las mediciones reales de estos valores con las metodologías propuestas, definiendo varios ajustes para su uso en las características de Bogotá. Se apreciaron métodos de medición como Hunter modificado, Raíz Cuadrada, Factor de Simultaneidad, etc.

Los resultados destacan discrepancias significativas entre los caudales medidos y los estimados por las metodologías normativas, proponiendo ajustes específicos para adaptarlas a las condiciones locales de Bogotá. Este estudio ofrece una herramienta valiosa para el diseño más eficiente de redes hidráulicas residenciales y fomenta el uso racional del recurso hídrico, contribuyendo así a una mejor planificación y sostenibilidad en el sector.

De igual manera con (Bastidas Delgado, 2009), de la Universidad de los Andes en Bogotá, Colombia, en su tesis titulada Caracterización y estimación de consumos de agua de usuarios residenciales: Caso de estudio Bogotá, se propone una metodología para caracterizar los hábitos de consumo de agua en usuarios residenciales mediante la implementación de micromedidores electrónicos. Este estudio, realizado en colaboración con la Empresa de

Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), incluye el desarrollo de patrones de consumo y un modelo de estimación para usuarios sin medición directa.

La investigación utilizó una muestra estratificada de 349 usuarios y se apoyó en el uso de micromedidores digitales Contazara CZ 2000 3M, los cuales registraron datos como caudales máximos, mínimos y patrones de consumo por hora. Los resultados muestran que la mayoría del consumo se concentra en caudales entre 50 y 1500 litros por hora, siendo crucial la precisión de los medidores en estos rangos. Además, el modelo desarrollado, basado en regresión múltiple, permite estimar el consumo para usuarios sin medición en función de variables como el número de habitantes, tipo de vivienda y consumo histórico.

Finalmente, se concluye que la precisión en la micro medición es clave para reducir el Índice de Agua no Contabilizada (IANC) y que la implementación de medidores con caudales de arranque bajos es esencial para minimizar las pérdidas por errores de medición. Este enfoque contribuye significativamente a la gestión eficiente del recurso hídrico y a la mejora en la planificación de redes de abastecimiento.

Por último, con (Arenas Rojas y Cartagena, 2017), de la Universidad Cooperativa de Colombia, en su tesis titulada Simulación a través del software libre EPANET versión 2.0, de la red de distribución de agua potable en la vereda Alejandría, municipio Garzón-Huila, se desarrolla un modelo de simulación hidráulica para mejorar el suministro de agua potable en la vereda Alejandría. La propuesta busca resolver los problemas de baja presión y suministro intermitente mediante la modelación detallada de la red de tuberías, utilizando el software EPANET 2.0 para optimizar los parámetros de diseño como diámetros y presiones.

La metodología se basa en la recopilación de los datos hidrológicos y topográficos y en la evaluación de las variantes de diseño con el fin de encontrar una solución eficiente y sostenible para la distribución del agua. Tal proyecto incluye la localización de la toma, la marcación de la red de la tubería de alimentación, y la suposición de los suministros óptimos para mantener el servicio ininterrumpido y de calidad. Los resultados se utilizarán para impulsar la toma de decisiones municipales y mejorar la calidad del servicio en esta comunidad rural.

2.1.3. Antecedentes a Nivel Local

Comenzando con (Flórez, Bonilla, & Molina, 2023), de la Universidad Manuela Beltrán y la Universidad de Pamplona, en su artículo titulado Análisis de sectorización hidráulica en redes de distribución de agua implementando Epanet e iDistritos, proponen una optimización sobre la red de agua potable en la ciudad de Los Patios, Norte de Santander - Colombia. El estudio se concentra en el intermitente suministro que resulta de factores como el crecimiento poblacional y la falta de infraestructura.

La metodología utiliza herramientas de teoría de grafos, programas Epanet e iDistritos, para buscar alternativas de sectorización. Se consideraron cuatro propuestas de las cuales se enfoca la cuarta, que divide la red en nueve sectores hidráulicos independientes, lo que mejora significativamente la presión y velocidad del flujo en la red. La investigación concluye que esta sectorización permite un mejor control de fugas y presiones, asegurando una distribución más eficiente del recurso hídrico. Los resultados son útiles para la planificación futura de la red, contribuyendo a la continuidad del servicio en la región.

Terminando, con (Agudelo Pabón y Bayona Coronel, 2020), de la Universidad Francisco de Paula Santander en Colombia, en su tesis titulada “Propuesta para la optimización de las redes

de distribución del sistema de acueducto del casco urbano del municipio de Pelaya, en el departamento del Cesar", se plantean estrategias para mejorar el servicio de agua potable en esta localidad. El proyecto incluye un diagnóstico técnico-operativo de la red existente, el diseño de una modelación hidráulica mediante el software EPANET, y la propuesta de alternativas de optimización basadas en análisis técnicos, normativos y económicos. La investigación enfatiza en la modernización de una red obsoleta, predominada por tuberías de asbesto cemento, y busca garantizar un suministro eficiente y sostenible, alineado con las normativas colombianas, especialmente la Resolución 0330 de 2017. Esta optimización no solo aborda necesidades actuales, sino también proyecciones futuras, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de los habitantes de Pelaya.

2.2. Marco Contextual

El área geográfica elegida para llevar a cabo el estudio relacionado con este proyecto se encuentra en el Municipio de Río de Oro, César, más específicamente en el barrio San Miguel, que es la ubicación del sistema de distribución de agua potable de ACOSMI. Este sistema proporciona agua a los hogares y suscriptores registrados que serán el objeto de estudio. La investigación se llevará a cabo en un contexto institucional y social en el cual ACOSMI, como empresa de acueducto comunitario, tiene la obligación de suministrar agua potable a la población de manera eficiente.

En cuanto al contexto institucional, la entidad que tiene la responsabilidad de gestionar la infraestructura del sistema de distribución de agua es ACOSMI y el estudio tiene como objetivo mejorar la efectividad de este sistema. La empresa cuenta con registros históricos de medición del flujo de agua tanto a niveles macro (respecto a los tanques de almacenamiento) como micro

(respecto a los medidores de los suscriptores), los cuales se utilizarán para desarrollar patrones de consumo y estimar los consumos reales por sección de la red.

Desde una perspectiva social, la población que será objeto de estudio son los hogares que forman parte de los suscriptores de ACOSMI y que, a su vez, sus hábitos, el consumo del agua, será de influencia en el nuevo diseño de sectorización de la red. Este tipo de análisis trata de no solo mejorar el servicio, sino también mejorar las tareas de mantenimiento y la gestión operacional, en beneficio de la comunidad y de los estudiosos.

Los procesos que serán foco de investigación son los que consisten en la recopilación y el procesamiento de la información del consumo, el cálculo de modelos de consumo de forma minuciosa, la elaboración de un inventario exacto de las redes que se encuentran en el terreno, y al final, la recomendación de la sectorización que promete mejorar las posibilidades generales de una mayor y mejor capacidad de gestión del agua del sistema de acueducto de la comunidad ACOSMI.

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Catastro de Redes de Distribución.

El catastro es un registro documentado y almacenamiento de los datos sobre el desarrollo de un sistema de suministro de agua que cubre información detallada sobre las tuberías, válvulas y medidores, entre otras instalaciones. Tales datos son esenciales en el diseño, mantenimiento y aseguramiento del funcionamiento efectivo del sistema de suministro (Ramírez, M., & Pérez, J., 2017).

2.3.2. Macro Medición.

Este término se refiere al volumen de agua que fluye a través de puntos establecidos en la red de entrega, como los tanques de almacenamiento y los puntos de entrega en la planta de tratamiento de agua. La macro medición proporciona una visión general de cuánta agua se ha suministrado en el sistema (González, F., 2018).

2.3.3. Micro Medición.

La micro medición se refiere a la medición del consumo de agua de cada usuario individual, generalmente medidores que se colocan en cada casa o usuario. Esta medición proporciona información sobre el consumo de los usuarios con un alto grado de certeza, lo cual es vital para el adecuado control de este sistema de distribución (Sánchez, L., 2020).

2.3.4. Patrón de Consumo.

Esto tiene que ver con cuánta agua consume el usuario y puede verse afectado por la hora del día, la estación del año o la población real que la utiliza. Estos patrones son muy importantes para estimar la cantidad de agua necesaria en el futuro y organizar su distribución (Jiménez, R., & Martínez, P., 2019).

2.3.5. Modelo Digital.

Un modelo digital es la representación gráfica de un sistema de suministro de agua en una computadora mediante programas específicos. En este proyecto, el modelo digital contendría información del catastro, patrones de consumo y zonificación, con el fin de ejecutar simulaciones y optimizar el rendimiento del sistema en diferentes situaciones operativas (Ortiz, L., 2020).

2.3.6. Sectorización de Redes de Distribución.

Este es un proceso donde la red de distribución se subdivide en secciones más pequeñas de control y gestión. La sectorización facilita la optimización y gestión de la presión y el flujo de agua, permitiendo realizar cambios para adaptarse al consumo en cada (Hernández, A., 2021).

2.4. Marco Teórico

El principio de la Gestión Integral del Recurso Hídrico es que debemos abordar el agua de manera eficiente, sostenible y justa para abastecer las necesidades tanto actuales como futuras (Gleick, 1998). Ser eficiente, en este caso, significa comprender cómo se distribuye su utilización, reduciendo las pérdidas, y planificar de forma tanto técnica como estratégica cómo se distribuye. Este es un principio particularmente relevante en contextos rurales, ya que, en el caso de la limitación económica y dirección técnica, hay una necesidad de aplicar enfoques basados en evidencia. Respecto a la teoría de la hidráulica urbana, sus presentaciones están enmarcadas sobre los principios físicos y matemáticos que rigen el diseño, operación y mantenimiento de las redes de distribución de agua potable (Walski, 2003). Respecto a la teoría de la hidráulica urbana, sus presentaciones están enmarcadas sobre los principios físicos y matemáticos que rigen el diseño, operación y mantenimiento de las redes de distribución de agua potable. Sobre esta línea, la sectorización hidráulica menciona la posibilidad de estabilizar las presiones en las redes y, de esta forma, reducir las fugas y subir la eficiencia de operación y mantenimiento. El modelo hidráulico digital presentado en este trabajo se basa en estos supuestos, ya que se requieren patrones de consumo durante un período de 24 horas para asegurar la similitud de la demanda y presión de unificación.

La sectorización hidráulica es una visión práctica que divide la red de distribución en sectores factibles de controlar mediante válvulas y contadores, lo que resulta en una identificación eficaz de fugas, análisis de la demanda y una mejor distribución del recurso mismo (Farley, M., y Trow, S., 2003). Las investigaciones han demostrado que los sistemas sectorizados logran disminuciones en las pérdidas de agua de hasta el 40%, además de un aumento en la calidad del servicio y el fácil desenvolvimiento de las tareas de mantenimiento sobre sí misma. Además, la literatura menciona la importancia que tiene el análisis de patrones de consumo para desarrollar sectores que sean capaces de simultáneamente adecuarse a la demanda de los usuarios. Los patrones descritos en la bibliografía varían en dimensiones de número de usuarios, actividades económicas y estacionalidad (Arreguín, 2000). Con el fin de caracterizar, anticipar y administrar la red de consumo es fundamental la incorporación de sistemas de micro medición y modelación digital.

Asimismo, estudios previos indican que la combinación del macro medición y micro medición en sistemas de acueducto tienen la capacidad de establecer consumo más preciso, reconocer poblaciones con consumo anómalo y abastecer de agua acorde a la demanda real (Pérez, L., Martínez, P., & Salazar, R., 2015). Sumado a esto, la realización de catastros con equipos de precisión es un método fundamental en la administración de redes de suministro de agua en comunidades rurales (García, J., & López, A., 2020). Los malos funcionamientos son fáciles de localizar, lo que hace que los operativos de mantenimiento sean más eficientes en la gestión de recursos. Por último, la sectorización digital de redes ha surgido como una de las principales tendencias en la ingeniería del agua. Estos modelos digitales permiten reproducir el comportamiento de la red, calcular cambios en la presión y el consumo de agua a lo largo del tiempo y diseñar sectores equilibrados. En sistemas como ACOSMI, donde las redes no están

completamente disponibles o mapeadas, los modelos digitales son una herramienta vital para las tareas analíticas, de planificación u optimización del sistema.

2.5. Marco Legal

2.5.1. Leyes y regulaciones colombianas:

2.5.1.1. Constitución Política de Colombia (1991). La Constitución se define como los actos legales fundamentales que determinan la gestión del recurso hídrico en todo el país:

Artículo 79: Se asegura el derecho a un ambiente sano para todos y el deber del Estado de salvaguardar los recursos naturales.

Artículo 365: Declara a todos los servicios públicos como una parte intrínseca de los fines sociales del Estado, que debe garantizar la adecuada prestación de dichos servicios.

Artículo 366: La provisión de agua potable como necesidad básica de los ciudadanos es de suma importancia para el estado.

2.5.1.2. Ley 142 de 1994 - Ley de Servicios Públicos Domiciliarios. La Ley 142 de 1994 establece el marco legal aplicable a la prestación de servicios públicos domiciliarios básicos en Colombia, incluido el agua potable. Regula las condiciones y normas que deben seguir las empresas prestadoras, como ACOSMI, en cuanto a calidad, cobertura, eficiencia en la distribución y precios. Es fundamental apoyar la necesidad de mejorar las redes de distribución de agua potable, ya que esta ley promueve la mejora de las estructuras físicas y el rendimiento de la industria.

2.5.1.3. Ley 99 de 1993 - Ministerio del Medio Ambiente. Con esta ley se crea el ministerio del medio ambiente y se establecen políticas en la materia para el país, orientadas hacia el manejo sostenible de los recursos naturales, incluidos los recursos hídricos. Hasta que llegó la ley noventa y nueve, se reguló la designación del sistema de tuberías de drenaje con respecto a la conservación del agua y su utilización eficiente, lo que llevó a la mejora del sistema y a la reducción de la pérdida de agua debido a la sectorización.

2.5.1.4. Ley 373 de 1997 - Uso eficiente y ahorro del agua. Esta ley establece promover el uso eficiente del agua en todos los sectores.

- Obliga a las empresas de acueducto a diseñar e implementar programas de ahorro y uso eficiente del agua.
- Establezca medidas para la detección de fugas y la reducción de pérdidas.
- Impulsa campañas de educación para fomentar el consumo responsable.

2.5.1.5. Resolución 1.100 de 2016 - Reglamento Técnico de Suministro de Agua Potable. La Resolución 1.100 de 2016 establece los lineamientos técnicos para el suministro de agua potable, a compartir tanto los aspectos de calidad como de cantidad en la distribución. Esta normativa es de gran importancia en el proceso de identificación y validación de las demandas de agua en las diferentes áreas de la red, ya que posibilita el estudio y gestión de las demandas en el tiempo, lo cual es un aspecto crucial en el desarrollo del patrón del consumo y optimización del sistema.

2.5.1.6. Resolución 799 de 2021 - Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2021). Esta resolución actualiza la Gaceta Técnica del Sector de Acueducto y Saneamiento Básico (RAS), ya que toma en cuenta las disposiciones contenidas en

ediciones anteriores. Es un marco normativo clave para el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de los sistemas de acueducto y alcantarillado en Colombia.

2.5.1.7. Normas ISO 24512:2007 y 24510:2007 - Gestión del Servicio de Agua Potable. Las normas internacionales ISO 24512 y 24510 proporcionan orientaciones sobre los servicios de seguimiento y control de agua potable, que incluyen la mejora de redes de distribución y calidad en el servicio. Estas normas ofrecen un contexto internacional que fortalece la operación eficiente y el perfeccionamiento de los sistemas de distribución de agua.

2.5.1.8. Normas Técnicas Colombianas (NTC). Las Normas Técnicas Colombianas son documentos técnicos que establecen requisitos y especificaciones para la gestión del agua potable. Algunas se mencionan a continuación:

2.5.1.8.1 NTC 1500. Especificaciones generales para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua y de aguas residuales.

***2.5.1.8.2 NTC 3701*.** Requerimientos para sistemas de medición de microcircuitos de agua.

***2.5.1.8.3 NTC 2885*.** Métodos para la identificación y el control de fugas en redes de distribución.

***2.5.1.8.4 NTC 2976*.** Directrices de diseño para redes hidráulicas para asegurar su distribución eficiente y de alta calidad.

Capítulo 3. Diseño Metodológico

3.1. Tipo de Investigación

La investigación se aborda predominantemente desde una perspectiva descriptiva, con la intención de enunciar, interpretar y señalar cómo se distribuyen y consumen los recursos hídricos y la infraestructura de la red de agua potable. Se enuncian al respecto tres objetivos: Plan de Prevención de Electrificación – EPP al cual consume la tarifa de consumo medio y bajo, gestión de una red de distribución, y proponer un sistema de zonificación que implica una comprensión dual del terreno presente y el rendimiento del sistema en el área de distribución designada. Además, tiene un índice inseparable de una primera etapa, ya que la intensidad de consumo y el grado en que la red está cerrada hasta ahora no se ha estudiado tan exhaustivamente. El método de investigación es cuantitativo ya que implica el uso de números puros como las facturaciones de consumo de agua o dispositivos de medición de la red para desarrollar análisis matriciales y posteriormente modelados de conectividad. Entre los métodos teóricos, se utilizan la inducción del sistema y la deducción del sistema, que permiten pasar de particulares a universales. En términos prácticos, se realizan visualizaciones directas de la red y los registros de consumo, así como pruebas utilizando programas tecnológicos como el software EPANET y otros para aplicar diferentes formas de estructura, interconexiones y optimización de variables. Las prácticas de sostenibilidad del servicio también se mejoraron mediante una regulación efectiva y acuerdos marco que contribuyeron a más. Así, la investigación es principalmente descriptiva y cuantitativa, con un componente exploratorio, que utiliza métodos inductivos y deductivos teóricos y prácticas de observación y experimentación.

3.2. Población y Muestra

La población objeto de esta investigación está compuesta por todos los suscriptores conectados al sistema de distribución de agua potable del acueducto comunitario en el barrio San Miguel, municipio de Río de Oro, Cesar, sumando un total de 564 suscriptores.

En este caso, la muestra será equivalente a la población, ya que se utilizarán los datos de todos los suscriptores disponibles durante el año 2023.

3.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de la Información

Para la recolección de información, se solicitará a la empresa de Acueducto Comunitario ACOSMI, ubicada en el barrio San Miguel del municipio de Río de Oro, Cesar, los registros de medición del caudal de los tanques de almacenamiento hacia la red de distribución correspondientes a los últimos cinco años (2019-2023), así como las lecturas de los contadores de los usuarios registrados durante el año 2023. Esta información es fundamental para realizar el análisis de los patrones de consumo y la sectorización de las redes de distribución en EPANET.

Además, con la asistencia de ACOSMI se efectuará un levantamiento topográfico en campo, empleando el equipo de alta precisión RTK UNISTRONG G970II PRO BAND, para determinar en su totalidad la ubicación de la red de distribución de agua potable. Este trabajo se ejecutará con la ayuda de uno de los empleados de la empresa que conoce en profundidad el funcionamiento del sistema de distribución actual. Una vez recolectada la información, será necesario su procesamiento para continuar con las demás fases de la investigación.

3.4. Análisis de la Información

Cuando el proceso de recopilación y digitalización de la información sobre los calendarios de medición macro horaria para los tanques de almacenamiento existentes durante los últimos cinco años (2019 - 2023), junto con la información sobre los micro suscriptores de la empresa en el año más reciente (2023) proporcionada por ACOSMI en forma de manuscrito, haya terminado, ahora seguirá el paso de interpretación, análisis estadístico y representación de los resultados. Esto permitirá establecer el perfil de consumo, como los picos de demanda, los efectos estacionales y los niveles de consumo. Para esto, se utilizará el software Microsoft Excel como la principal herramienta de análisis.

Se tomará un levantamiento topográfico del sistema de distribución existente mediante un equipo de alta precisión RTK UNISTRONG G970II PRO BAND, bajo la responsabilidad de la empresa ACOSMI y sin ejecución de apiques para verificaciones. Este levantamiento ayudará en la identificación de las tuberías principales y secundarias, válvulas, medidores y otros elementos importantes del sistema.

Con esta información se procederá a generar una base de datos, diseñada al igual que el mapa, que en la actualidad la empresa no tiene. El mapa, que se interrelaciona con la geometría y la toma de campo, se fabricará a partir de esta información. Para este efecto se usarán las herramientas Microsoft Excel, Civil 3D y Google Earth.

Este enfoque implica ajustar los criterios del proyecto. Una vez que se haya realizado el levantamiento de la red existente, se comenzará su representación en un modelo y se utilizará EPANET 2.2 para el modelo del sistema de distribución. Este modelo permitirá realizar un

análisis detallado del flujo, la presión y la capacidad del sistema bajo diversos escenarios operativos y de demanda.

El objetivo de este análisis es identificar áreas de congestión y generar recomendaciones orientadas a optimizar la gestión del consumo de agua potable por parte de la empresa ACOSMI. Adicionalmente, se empleará Microsoft Excel para complementar el procesamiento y análisis de los datos requeridos durante este proceso.

Capítulo 4. Análisis Bibliométrico

El análisis bibliométrico permite evaluar la evolución de la producción científica en un área específica del conocimiento, en este caso, la modelación hidráulica de redes de distribución de agua potable. Este estudio se basó en la ecuación de búsqueda “modelación hidráulica de redes de distribución de agua potable” o su equivalente en inglés “hydraulic modeling of drinking water distribution networks”, obteniendo un total de 198 artículos indexados entre los años 1991 y 2024. Se evidenció un crecimiento exponencial del 8.76% anual en la cantidad de publicaciones, con un total de 579 autores que han contribuido a esta línea de investigación.

Figura 4

Resumen análisis bibliométrico



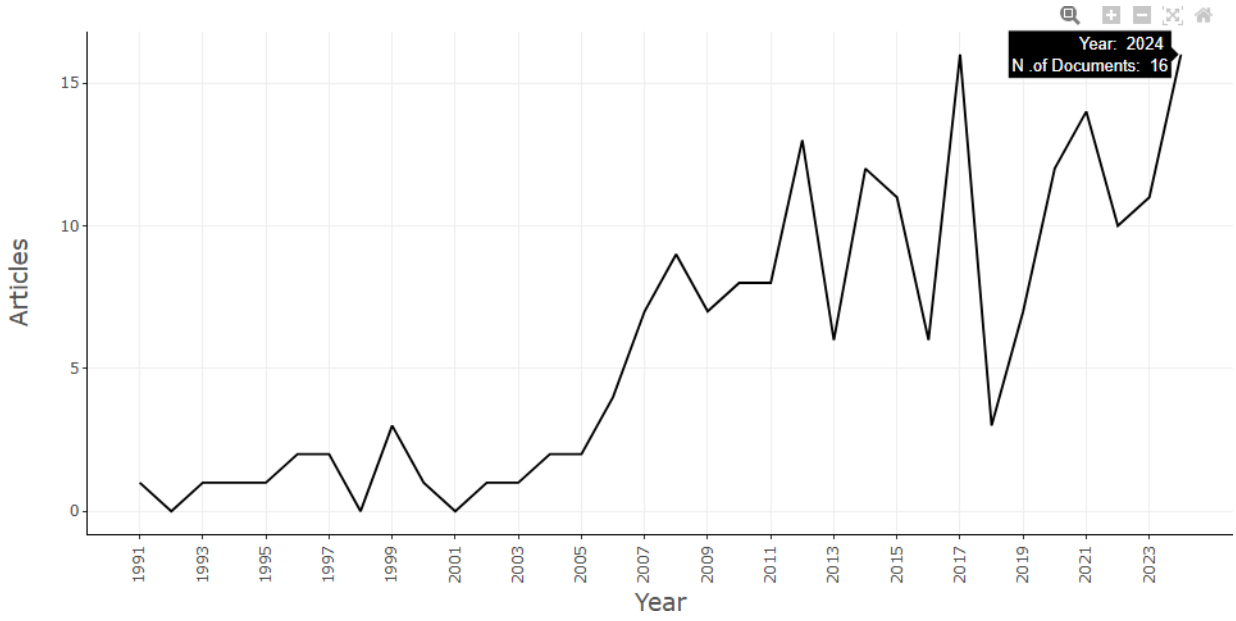
Nota. Tomado de Posit Software, PBC, (2025)

El comportamiento de la producción científica sobre modelación hidráulica muestra una tendencia creciente desde 1991, con una baja producción inicial de menos de cinco artículos por año hasta 2005. Sin embargo, a partir de 2010, se observa un incremento sostenido en la cantidad de publicaciones, alcanzando picos en los años 2017 y 2024 con más de 15 artículos anuales.

Este crecimiento refleja la creciente importancia de la modelación hidráulica en el diseño y optimización de sistemas de distribución de agua potable, así como su aplicación en la gestión eficiente del recurso hídrico en un contexto de cambio climático y escasez hídrica.

Figura 5

Producción anual de artículos

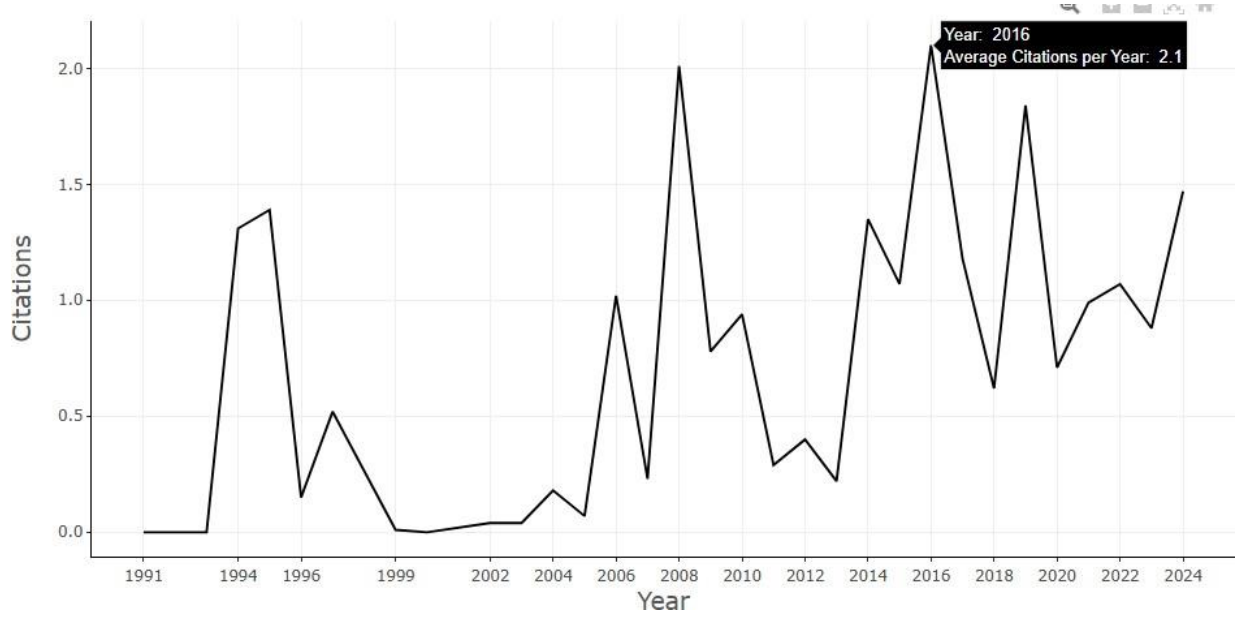


Nota. Tomado de Posit Software, PBC, (2025)

El análisis de citaciones se evidencia un aumento significativo en la cantidad de referencias a partir de 2010. El año 2016 destaca como el de mayor número de citas, lo que sugiere un periodo de consolidación de investigaciones clave en la modelación de redes hidráulicas. Estos resultados confirman el impacto y relevancia de la modelación hidráulica como herramienta para mejorar la eficiencia en la distribución del agua y optimizar el diseño de infraestructuras hídricas.

Figura 6

Citaciones por año

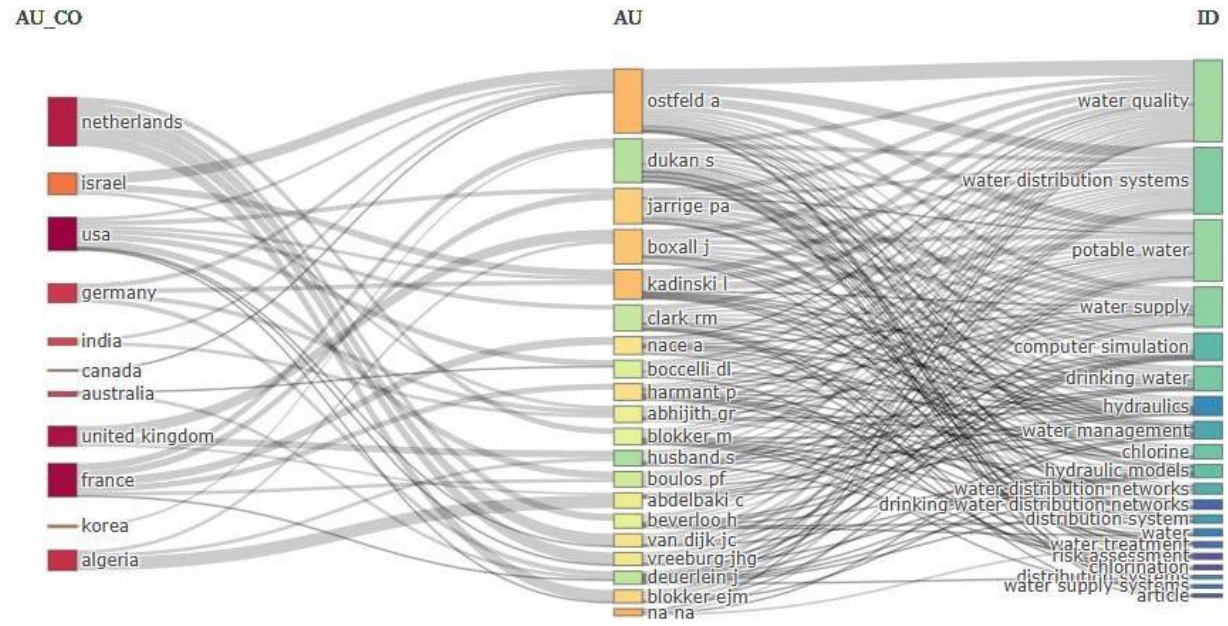


Nota. Tomado de Posit Software, PBC, (2025)

El diagrama de tres campos representa la interconexión entre autores, palabras clave y revistas más relevantes dentro de la literatura analizada. Se identificó que los términos “Hydraulic Simulation”, “Network Optimization” y “Water Quality” fueron los más empleados en las publicaciones, reflejando un interés creciente en la optimización de redes de distribución de agua potable y el aseguramiento de la calidad del recurso hídrico.

Figura 7

Diagrama de tres campos

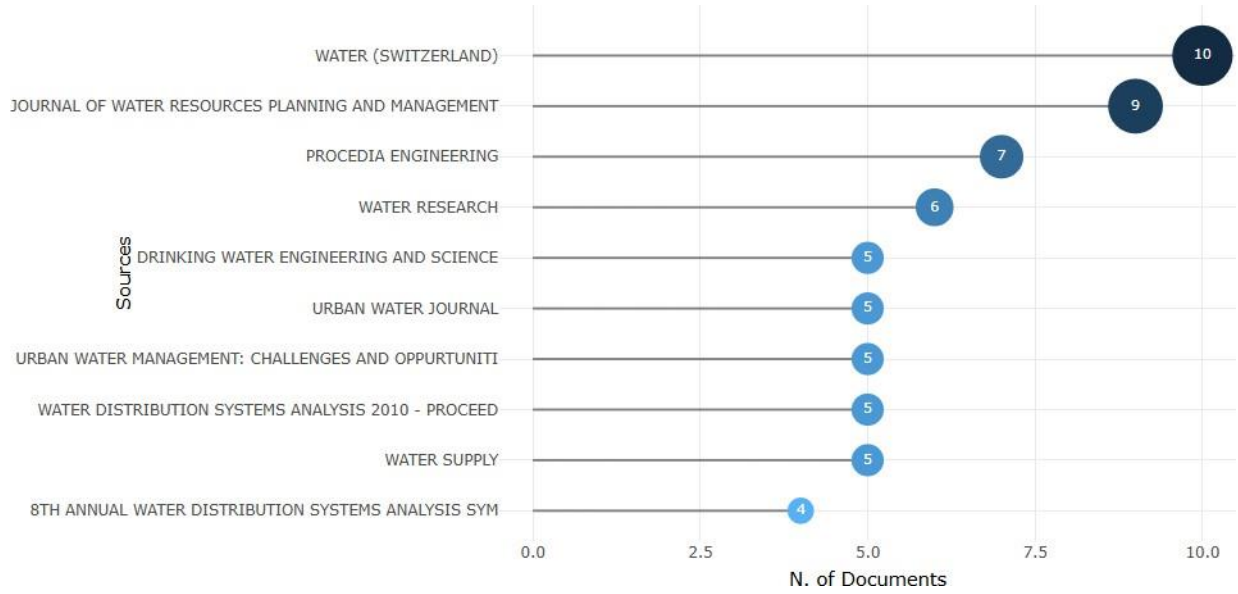


Nota. Tomado de Posit Software, PBC, (2025)

Las revistas más relevantes en este campo incluyen WATER (SWITZERLAND), que ha publicado 10 artículos relacionados con modelación hidráulica, seguida de otras revistas especializadas en ingeniería hidráulica y gestión del recurso hídrico. Estas publicaciones se han convertido en los principales canales de difusión del conocimiento en modelación hidráulica, garantizando la divulgación de avances y metodologías innovadoras en este campo.

Figura 8

Revistas con más publicaciones

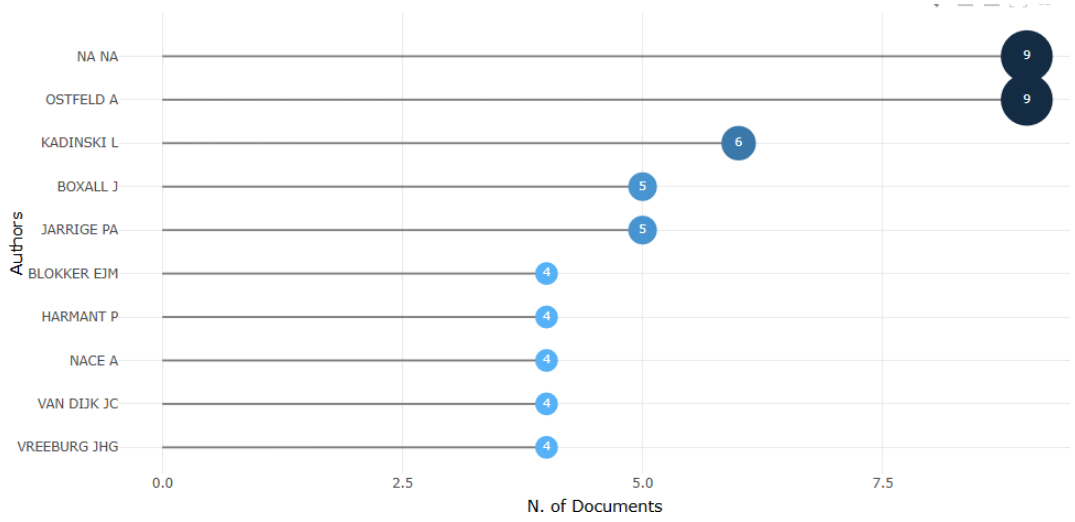


Nota. Tomado de Posit Software, PBC, (2025)

Dentro de los investigadores con mayor producción en el área, destacan NA NA y OSTFELD A, quienes han realizado estudios fundamentales en simulación hidráulica y optimización de redes de distribución de agua potable, ver *Figura 19*. En términos de productividad, OSTFELD A se consolidó como el autor más activo en los últimos años, con un total de 3 publicaciones en el año 2023, lo que refleja su liderazgo en la investigación de este campo, ver *Figura 10*.

Figura 9

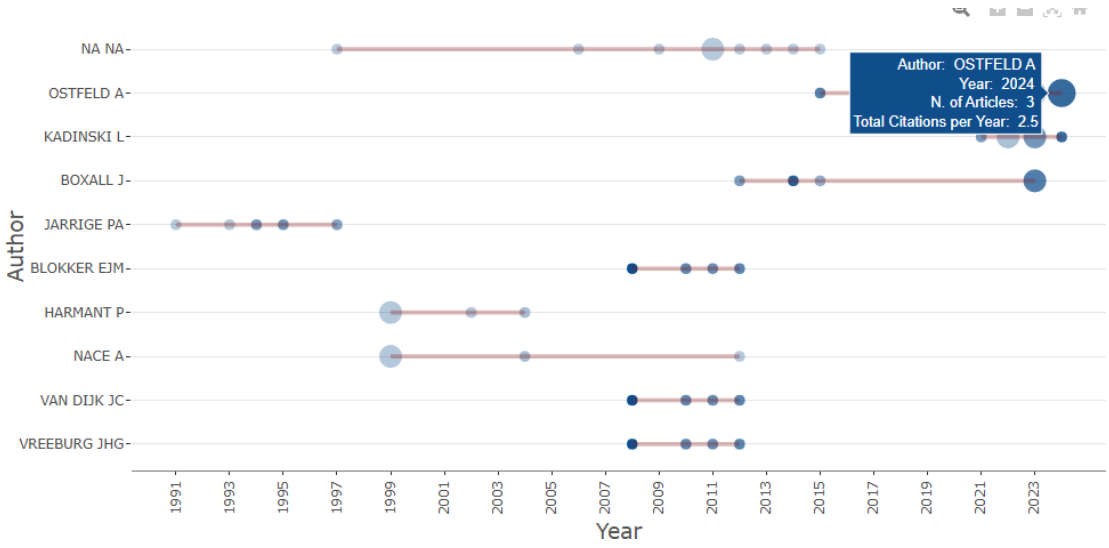
Autores con más publicaciones



Nota. Tomado de Posit Software, PBC, (2025)

Figura 10

Autores más Productivos



Nota. Tomado de Posit Software, PBC, (2025)

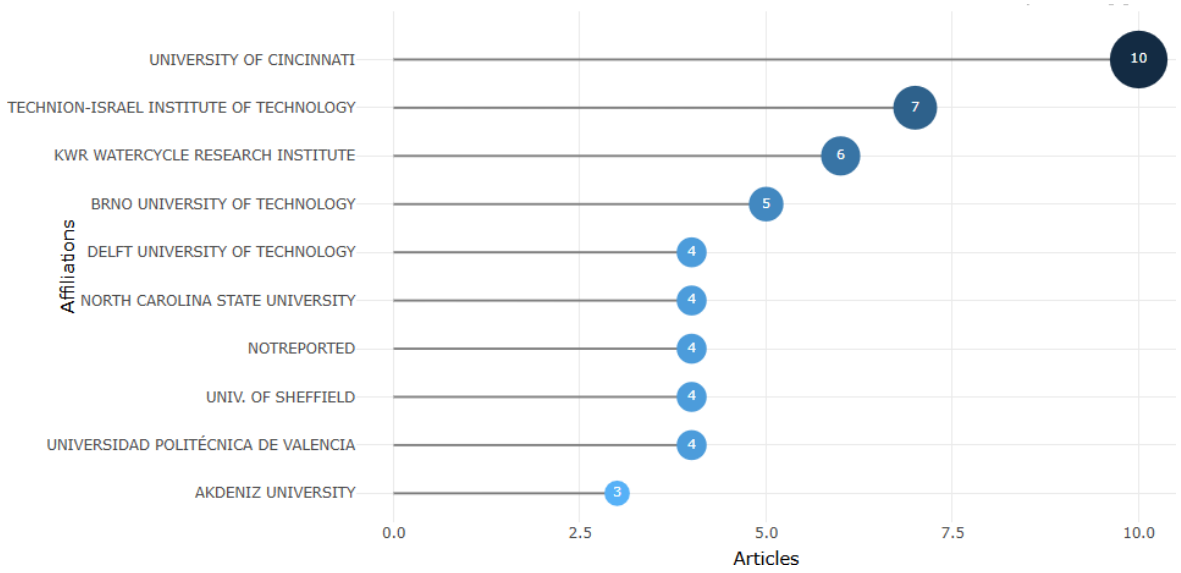
Las universidades con mayor producción en modelación hidráulica de redes de agua potable incluyen:

- University of Cincinnati: 10 publicaciones
- Technion-Israel Institute of technology: 7 publicaciones.

El análisis bibliométrico muestra que estas instituciones han liderado la investigación en optimización y simulación de redes de distribución de agua potable, contribuyendo significativamente al desarrollo de nuevas metodologías y herramientas computacionales.

Figura 11

Universidades con mayor producción de artículos



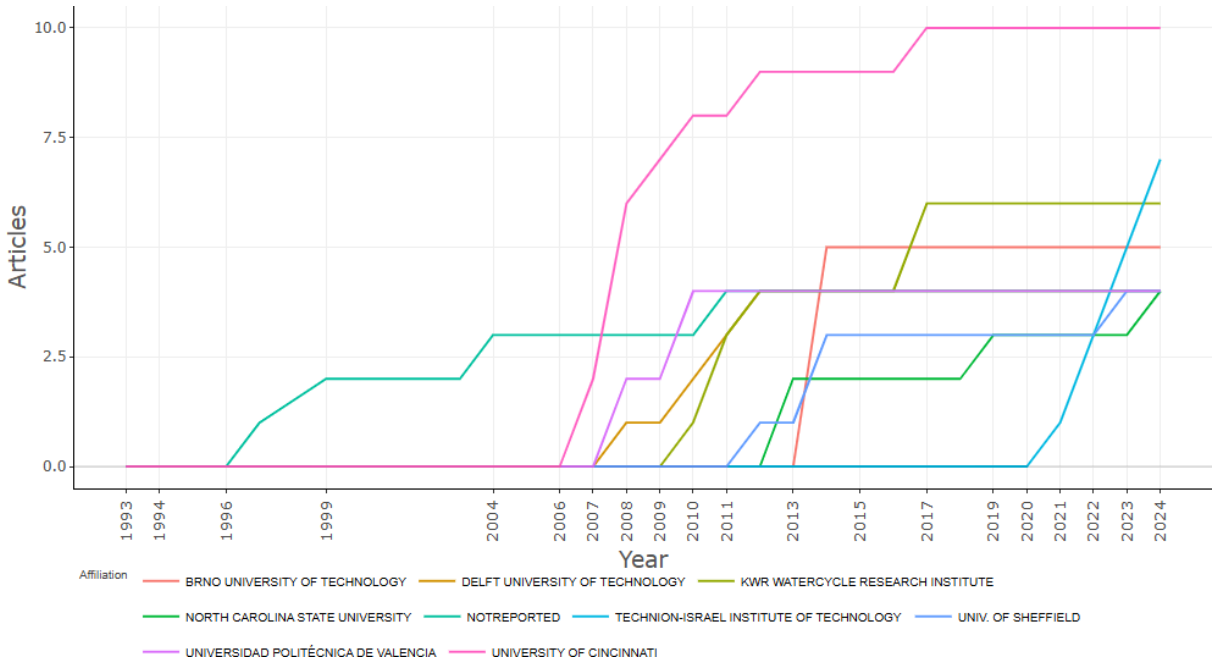
Nota. Tomado de Posit Software, PBC, (2025)

El gráfico de evolución de la producción científica por universidades muestra un crecimiento constante desde 2005. Se evidenció un incremento notable en la cantidad de publicaciones a partir de 2015, especialmente en instituciones de Norteamérica y Europa, lo que

indica un mayor interés en el estudio y la mejora de los sistemas de distribución de agua potable a nivel global.

Figura 12

Producción científica de las universidades

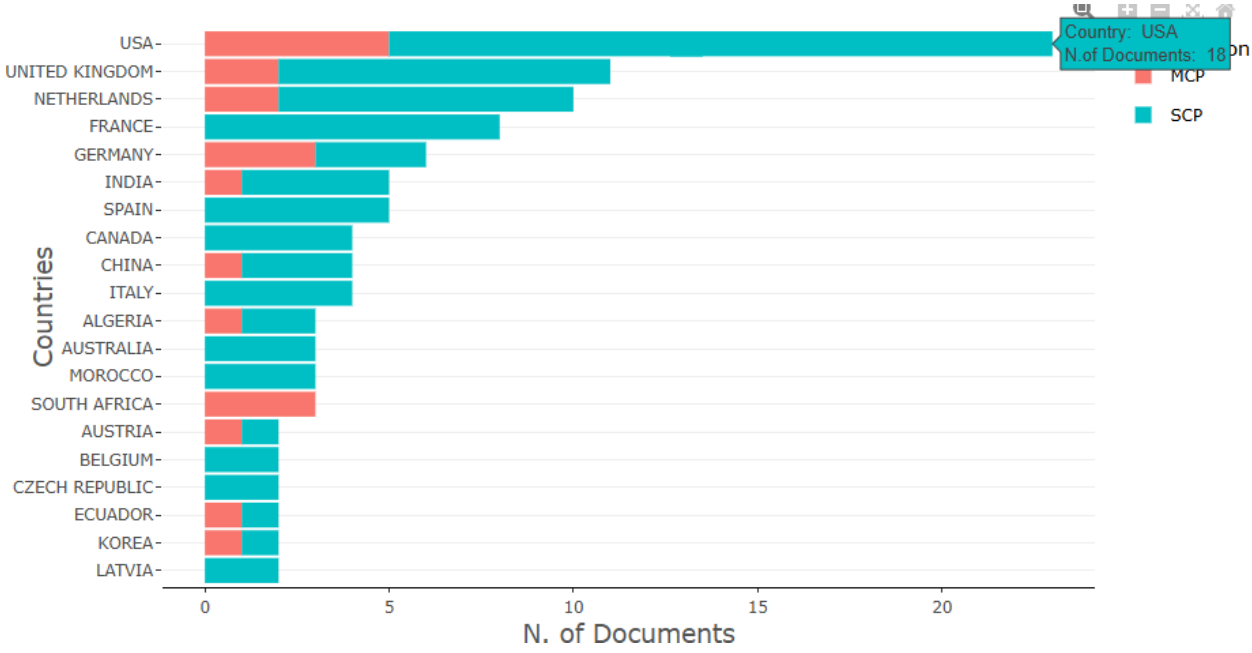


Nota. Tomado de Posit Software, PBC, (2025)

El análisis de publicaciones por países refleja que Estados Unidos lidera la producción científica en modelación hidráulica de redes de agua potable con un total de 28 documentos, pero solo 5 artículos son propios (rosado) y los otros 18 artículos (azul) son colaboración con otros países.

Figura 13

Países con más artículos y colaboraciones

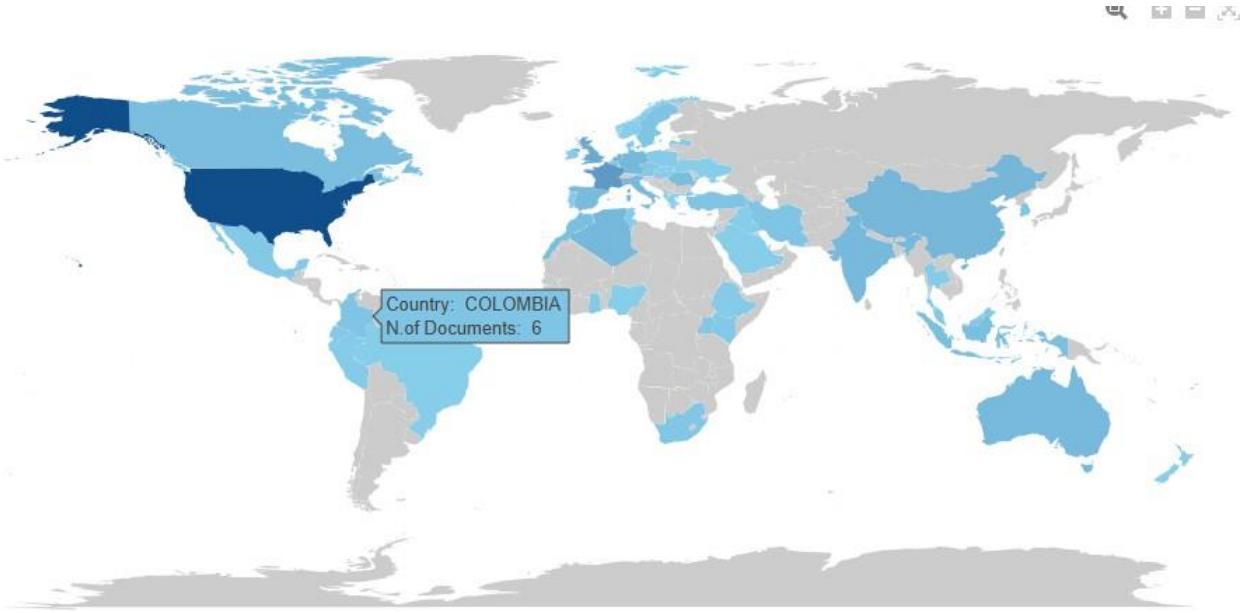


Nota. Tomado de Posit Software, PBC, (2025)

El mapa mundial de producción científica permite visualizar la distribución geográfica de las investigaciones a lo largo del tiempo. Se observa que el crecimiento ha sido progresivo en regiones como Norteamérica y Europa, mientras que en América Latina y Asia el avance ha sido más reciente, con un incremento significativo de publicaciones en la última década. Este fenómeno sugiere una mayor adopción de herramientas de simulación y modelación hidráulica en países en desarrollo. Podemos observar que Colombia tiene 5 artículos los cual nos motiva para hacer de nuestro proyecto un artículo de investigación y poder contribuir con la información para futuros estudios relacionados con el tema de la modelación hidráulica.

Figura 14

Países con mayor contribución de artículos de modelaciones hidráulicas

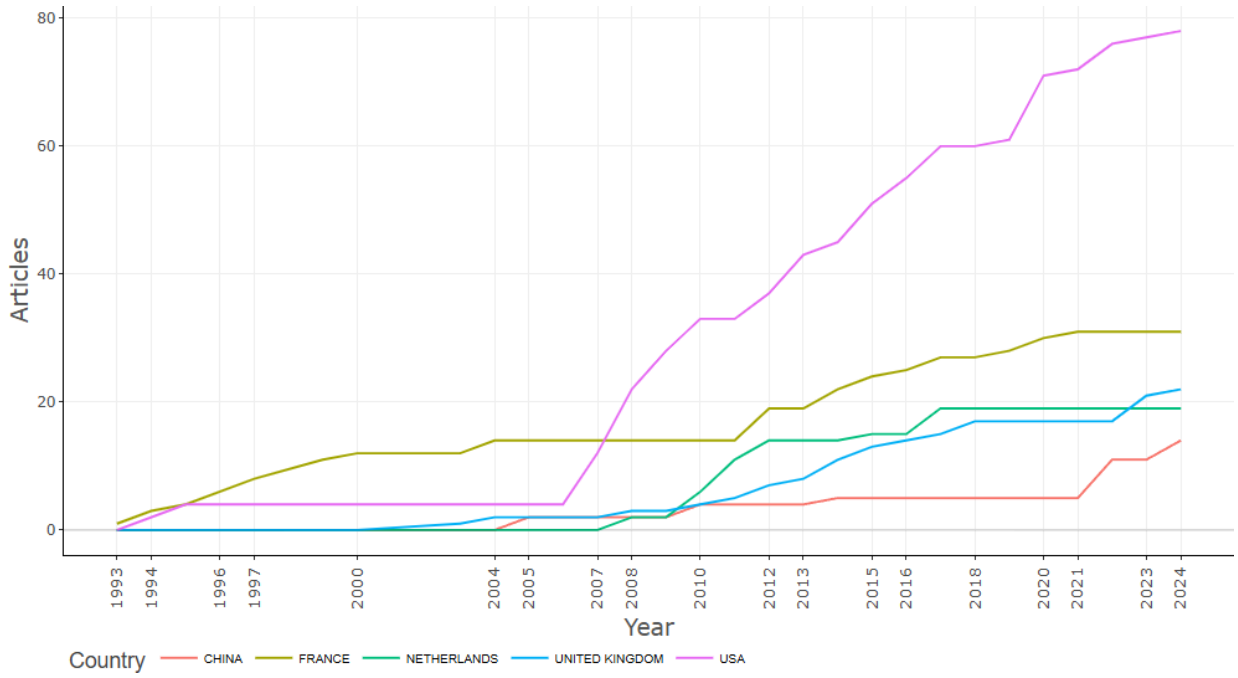


Nota. Tomado de Posit Software, PBC, (2025)

El gráfico de crecimiento de publicaciones por país muestra una tendencia ascendente en el número de artículos sobre modelación hidráulica. Estados Unidos encabeza el ranking, seguido de países como España y el Reino Unido. Esto sugiere una consolidación del conocimiento en estas regiones, donde las investigaciones han permitido mejorar la eficiencia en la distribución del agua y optimizar la infraestructura hídrica.

Figura 15

Países con más artículos publicados



Nota. Tomado de Posit Software, PBC, (2025)

Y por último El análisis de palabras clave en los artículos revisados muestra que términos como “Water Quality”, “Network Optimization” y “Hydraulic Simulation” son los más empleados en la literatura científica. Esto refleja la importancia de la modelación hidráulica en la gestión sostenible del recurso hídrico y la mejora de la eficiencia en los sistemas de distribución de agua potable.

Figura 16

Palabras clave más utilizadas de los autores



Nota. Tomado de Posit Software, PBC, (2025)

Capítulo 5. Resultados

5.1. Elaboración de Catastro de las Redes de Distribución Existentes

Para la elaboración del catastro de las redes de distribución existentes, se realizó una visita al sitio para inspeccionar el lugar y acordar el levantamiento topográfico de las redes con personal de la empresa de ACOSMI a través de un ayudante guía para que indicara superficialmente por donde iba la tubería principal, secundaria, válvulas, medidores y un hidrante que no funciona, las características de la red (tipo de tubería, diámetro, profundidad) fue información dada por la persona delegada por la empresa. Es importante destacar que este levantamiento se realizó con la mayor precisión posible, basándose en el conocimiento del responsable que proporcionó la guía.

Este levantamiento topográfico se realizó por los autores del presente proyecto como se evidencia en la *Figura 17, 18, 19 y 20,* con un equipo de alta precisión RTK UNISTRONG G970II PRO BAND, el cual brindó la información necesaria como coordenadas, longitudes y alturas, para llevar a cabo el catastro de las redes de distribución y la modelación en EPANET de estas mismas. El trabajo de campo tuvo una duración de una semana resultando 1957 puntos georreferenciados con las coordenadas MAGNAS-SIRGAS / Colombia Bogotá Zone.

Cabe destacar que los equipos GPS, como el RTK UNISTRONG G970II PRO BAND, no requieren calibración, sino actualización. Se adjunta la certificación de la NOAA, que avala que la antena UNISTRONG G970II cumple con el sistema de referencia espacial nacional de EE. UU. Además, ofrece un nivel de precisión de 2.5 milímetros en horizontal y 5 milímetros en vertical.

Figura 17

Armado de equipo RTK UNISTRONG G970II PRO BAND



Figura 18

Nivelación del equipo RTK UNISTRONG G970II PRO BAND



Figura 19

Levantamiento topográfico de la red de distribución



Figura 20

Levantamiento topográfico de la red de distribución



Luego del trabajo de campo, se procedió a obtener la cartera topográfica, como se muestra en la *Tabla 1*, para después ingresarlos a Civil 3D y realizar el plano detallado y georreferenciado de las redes de distribución, con sus respectivas convenciones e información relevante como tipo de material, diámetros y longitudes de tuberías, dirección del flujo, cotas de terreno y cotas clave, además la ubicación de válvulas y medidores.

Tabla 1

Cartera topográfica

#	Norte	Este	Elevación	Descripción
1	1408479.355	1075280.676	1229.837	D1
2	1408497.748	1075293.513	1228.288	red
3	1408485.006	1075296.569	1226.096	red
4	1408461.628	1075297.864	1222.651	red
5	1408449.786	1075297.884	1220.207	red
6	1408423.667	1075308.32	1215.627	red
7	1408407.678	1075327.076	1212.772	red
8	1408388.943	1075342.409	1210.157	red
9	1408373.682	1075347.024	1208.495	red
10	1408355.87	1075348.365	1204.214	red
11	1408352.105	1075349.852	1204.22	red
12	1408347.302	1075365.341	1202.534	red
13	1408342.691	1075372.766	1201.45	red
14	1408345.439	1075369.595	1201.871	portón
15	1408348.711	1075371.081	1201.55	portón
16	1408343.116	1075373.815	1201.387	vía
17	1408344.33	1075372.205	1201.436	vía
18	1408345.218	1075369.965	1201.716	vía
19	1408345.276	1075375.132	1201.475	and-con
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
1957	1408523.166	1075550.113	1165.308	Tub2*

Para la elaboración del plano de catastro de redes, se tomó como referencia la Resolución 0799 de 2021 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021), la cual establece que el catastro de redes debe incluir, como mínimo, información sobre la localización de tuberías y accesorios, diámetros, materiales y año de instalación.

En este caso, se presentó toda la información mínima exigida por la resolución. Sin embargo, debido a la complejidad en la identificación de los accesorios, solo se proporcionó información parcial sobre algunos de ellos. Respecto al año de instalación, esta información no fue suministrada por el operario.

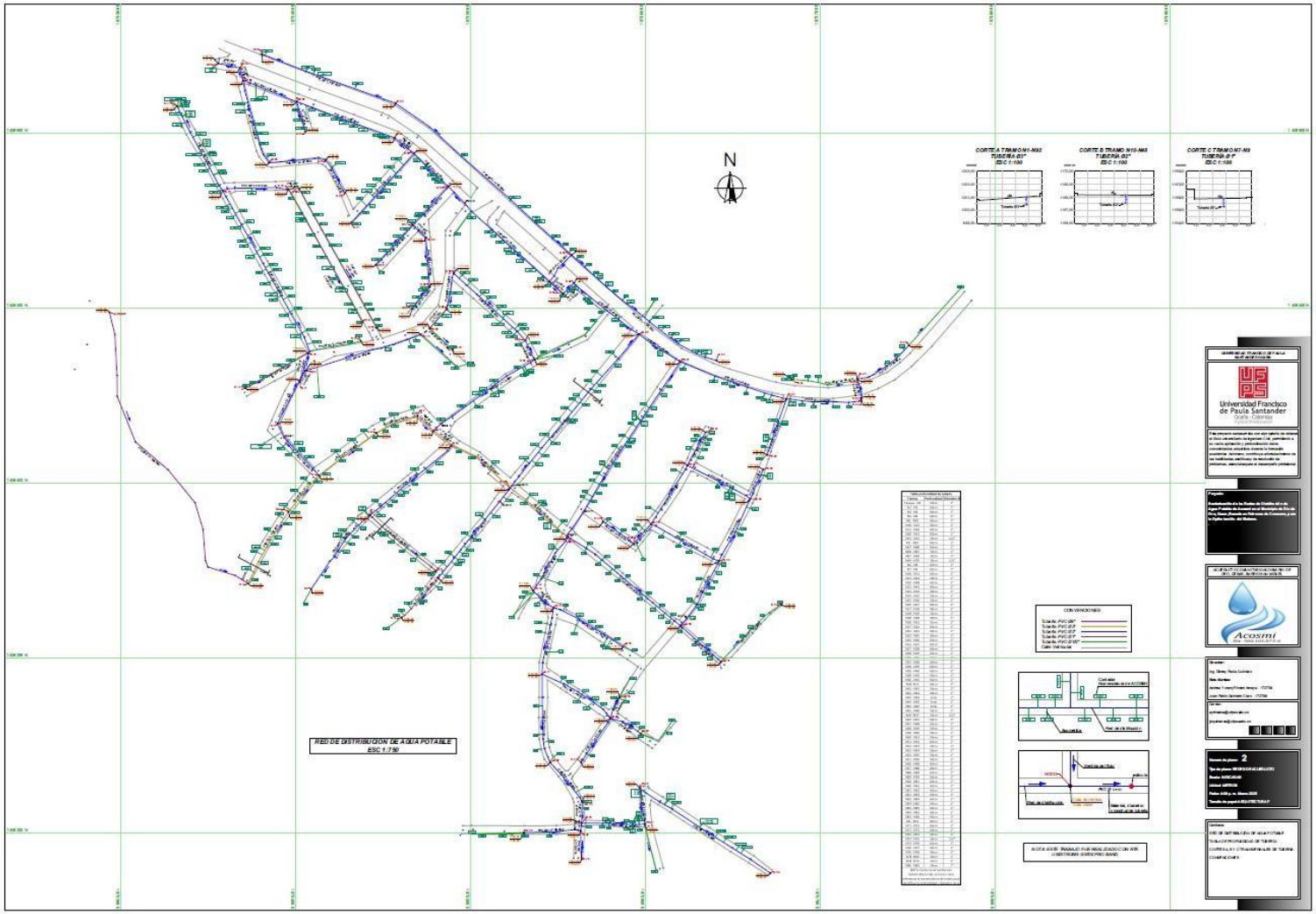
Adicionalmente, se llevó a cabo un catastro de usuarios, el cual es de gran importancia para la gestión y planificación del sistema.

Dado que no se cuenta con una nomenclatura vial, se utilizó como referencia la nomenclatura de los nodos para identificar la profundidad, longitud y diámetro de la tubería.

Como resultado, se generó el plano de catastro de las redes de distribución existentes con los datos necesarios, facilitando la gestión y operación por parte de la empresa ACOSMI, véase *Figura 21* y para mejor detalle el *Apéndice J.*

Figura 21

Plano de catastro de redes de distribución existentes



En la *Figura 22*, se presenta un zoom de una parte del catastro de redes de distribución realizado, donde se puede observar la información contenida en el plano como el tipo de material, el diámetro y la longitud de la tubería, los nodos en etiquetas rojas, las válvulas en etiqueta negra, la dirección del flujo con flechas azules, la cota de terreno y cota clave en etiquetas naranjas y los contadores con la nomenclatura de ACOSMI en color verde, véase *Figura 23* para las convenciones.

Figura 22

Zoom de catastro de redes de distribución

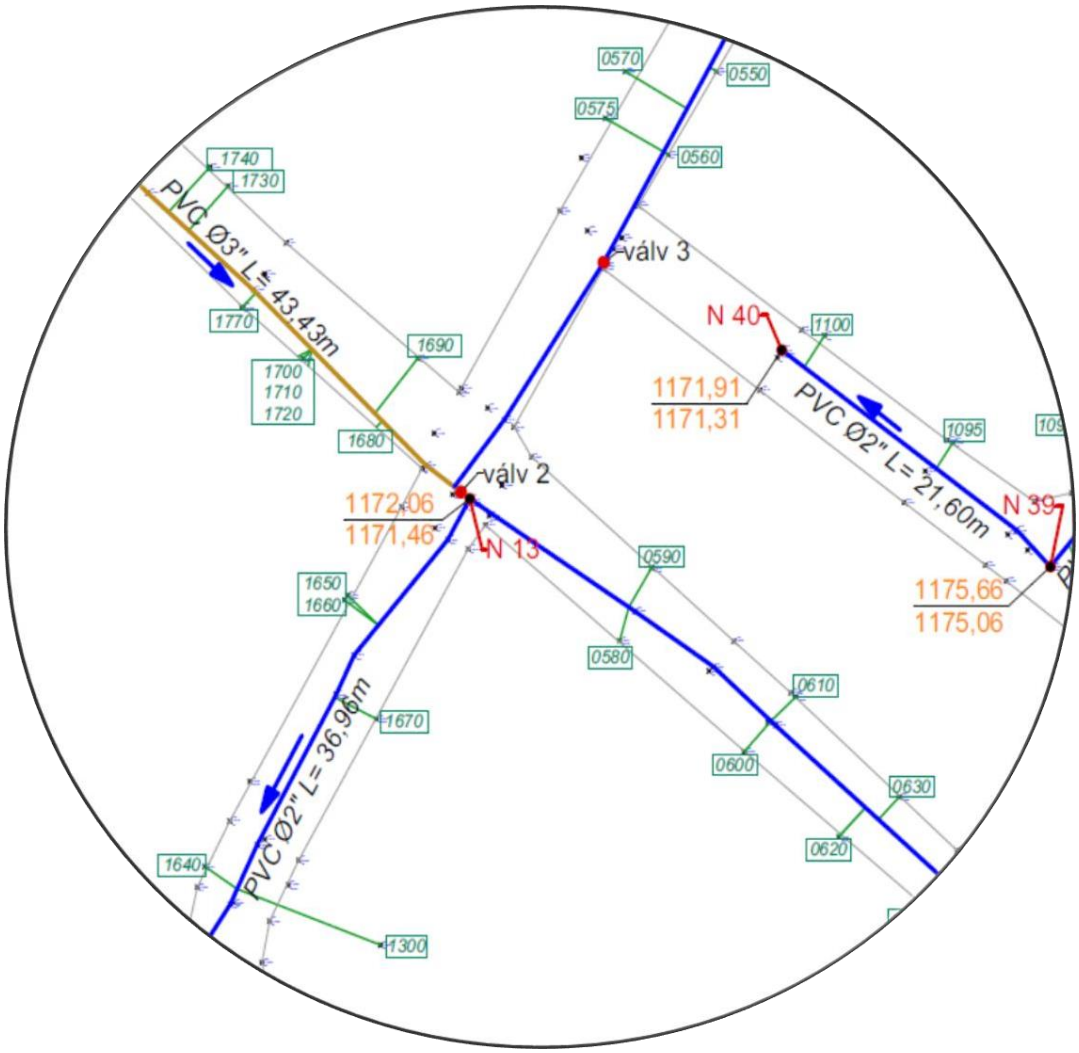
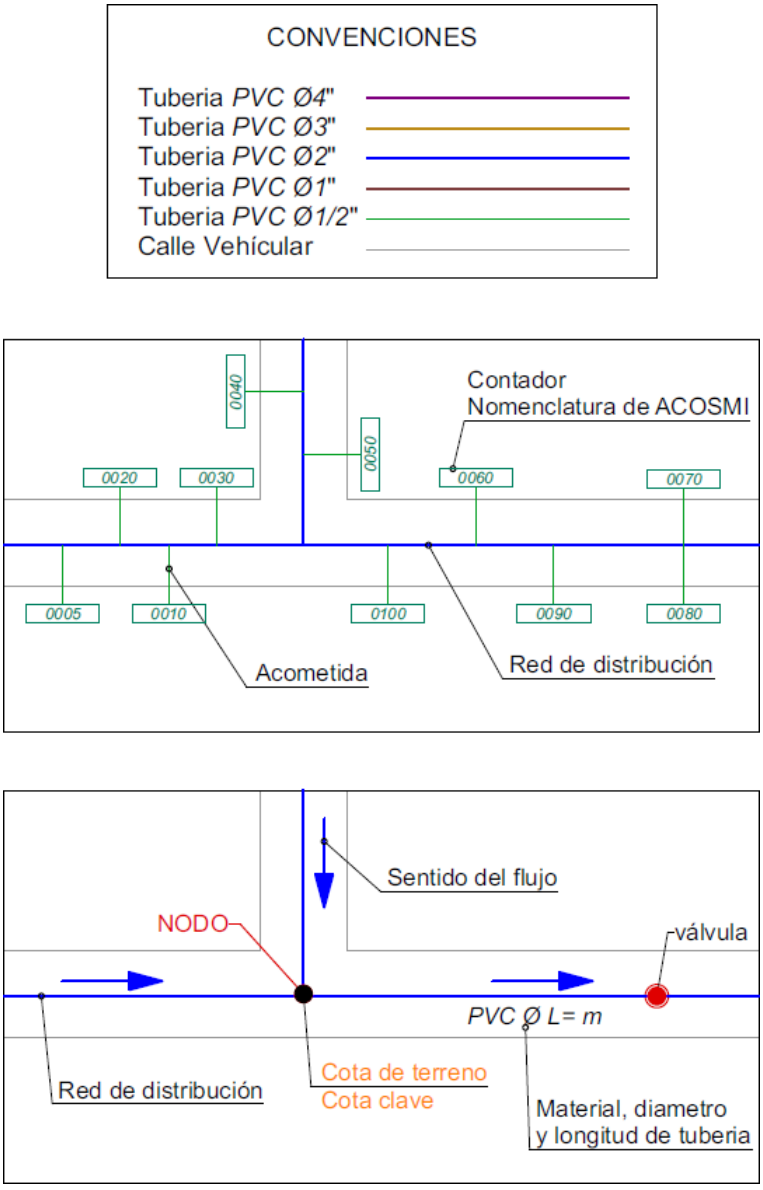


Figura 23

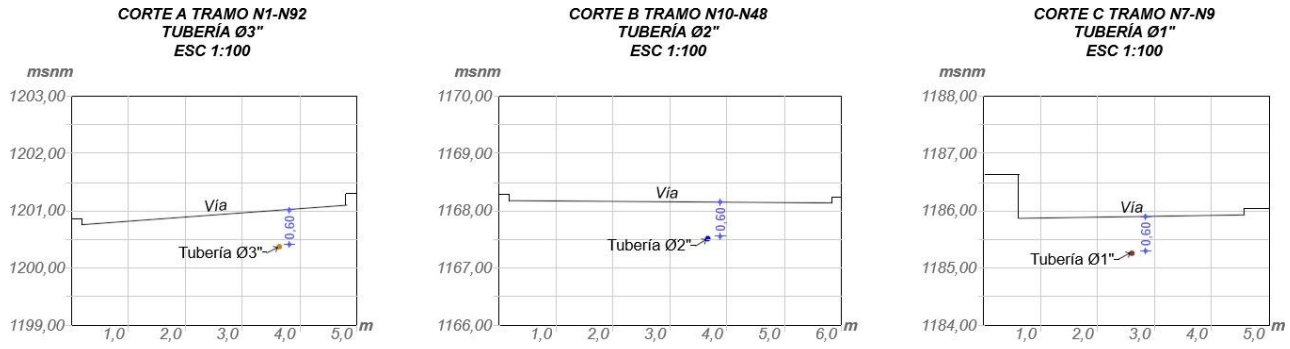
Convenciones del plano de catastro



Las profundidades de la red fueron indicadas por el funcionario asignado de ACOSMI, de esa manera se obtuvo la cota clave de la red para cada nodo. En la *Figura 24* se puede observar algunos cortes tipo realizados en ciertos tramos de la red donde se muestra la profundidad y el diámetro de la tubería.

Figura 24

Cortes Transversales A, B y C de la red de distribución



5.2. Macro y Micro Medición de ACOSMI

5.2.1. Macro Medición para la Creación del Patrón de Consumo

Para este estudio se realizó varias visitas a la empresa de ACOSMI, con el fin de recolectar la información necesaria respecto a las macro mediciones. La empresa cuenta con esta información de forma manuscrita, véase en la *Figura 25*, por lo tanto, la información requerida fue digitalizada en Microsoft Excel para los respectivos cálculos.

En la *Figura 26* muestra el macro medidor de salida de 4 pulgadas de la empresa, marca ControlAgua, instalado en el año 2019.

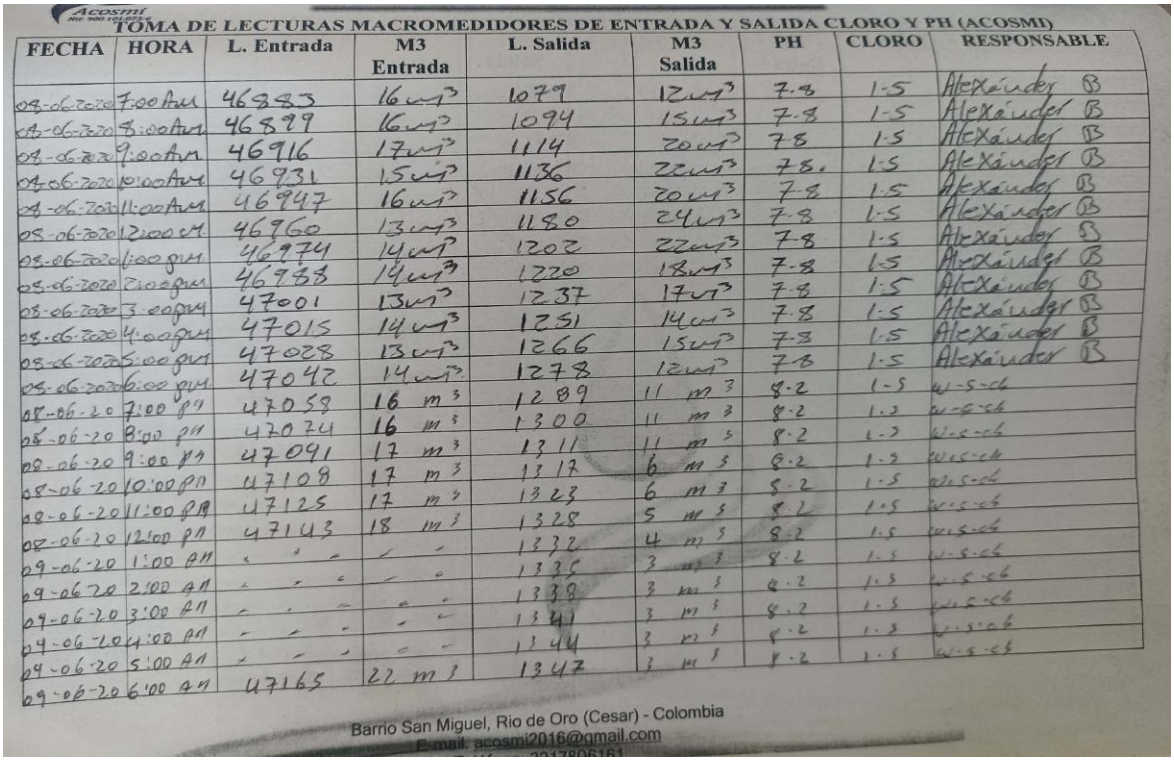
Por otro lado, la red de distribución está compuesta por tuberías de PVC RDE 21 de la marca Pavco.

Para estimar el patrón de consumo se basó en la información de los últimos cinco años 2019 a 2023, ya que como se mencionó anteriormente la empresa cuenta con la información de forma manuscrita y las lecturas se encuentran registradas por hora todos los días.

El periodo estudiado abarca la fecha en la que se presentó la pandemia del COVID-19, el cual es una fecha importante a tener en cuenta ya que por las restricciones las personas tenían que permanecer en sus casas lo que podría variar el consumo respecto a otros años.

Figura 25

Formato control de macro medidores en PTAP ACOSMI



TOMA DE LECTURAS MACROMEDIDORES DE ENTRADA Y SALIDA CLORO Y PH (ACOSMI)

FECHA	HORA	L. Entrada	M3 Entrada	L. Salida	M3 Salida	PH	CLORO	RESPONSABLE
05-06-2020	7:00 AM	46883	16 m³	1079	12 m³	7.8	1.5	Alexánder B
06-06-2020	8:00 AM	46899	16 m³	1094	15 m³	7.8	1.5	Alexánder B
07-06-2020	9:00 AM	46916	17 m³	1114	20 m³	7.8	1.5	Alexánder B
08-06-2020	10:00 AM	46931	15 m³	1136	22 m³	7.8	1.5	Alexánder B
09-06-2020	11:00 AM	46947	16 m³	1156	20 m³	7.8	1.5	Alexánder B
05-06-2020	12:00 PM	46960	13 m³	1180	24 m³	7.8	1.5	Alexánder B
05-06-2020	1:00 PM	46974	14 m³	1202	22 m³	7.8	1.5	Alexánder B
05-06-2020	2:00 PM	46988	14 m³	1220	18 m³	7.8	1.5	Alexánder B
05-06-2020	3:00 PM	47001	13 m³	1237	17 m³	7.8	1.5	Alexánder B
05-06-2020	4:00 PM	47015	14 m³	1251	14 m³	7.8	1.5	Alexánder B
05-06-2020	5:00 PM	47028	13 m³	1266	15 m³	7.8	1.5	Alexánder B
05-06-2020	6:00 PM	47042	14 m³	1278	12 m³	7.8	1.5	Alexánder B
05-06-20	7:00 PM	47059	16 m³	1289	11 m³	8.2	1.5	W.S.C.6
05-06-20	8:00 PM	47074	16 m³	1300	11 m³	8.2	1.5	W.S.C.6
05-06-20	9:00 PM	47091	17 m³	1311	11 m³	8.2	1.5	W.S.C.6
05-06-20	10:00 PM	47108	17 m³	1317	6 m³	8.2	1.5	W.S.C.6
05-06-20	11:00 PM	47125	17 m³	1323	6 m³	8.2	1.5	W.S.C.6
05-06-20	12:00 PM	47143	18 m³	1328	5 m³	8.2	1.5	W.S.C.6
09-06-20	1:00 AM	"	"	1332	4 m³	8.2	1.5	W.S.C.6
09-06-20	2:00 AM	"	"	1335	3 m³	8.2	1.5	W.S.C.6
09-06-20	3:00 AM	"	"	1338	3 m³	8.2	1.5	W.S.C.6
09-06-20	4:00 PM	"	"	1341	3 m³	8.2	1.5	W.S.C.6
09-06-20	5:00 AM	"	"	1344	3 m³	8.2	1.5	W.S.C.6
09-06-20	6:00 AM	47165	22 m³	1347	3 m³	8.2	1.5	W.S.C.6

Barrio San Miguel, Rio de Oro (Cesar) - Colombia
E-mail: acosmi2016@gmail.com

Nota. Tomado de (ACOSMI, 2024)

Figura 26

Macro medidor ControlAgua de salida de 4 pulgadas



5.2.1.1. Análisis y procesamiento de información. La información fue digitalizada en Microsoft Excel de manera organizada para facilitar el análisis del patrón de consumo. Se realizó una tabla con la fecha y hora correspondiente a cada lectura del macro medidor, un detalle de este proceso para el año 2021 se ilustra en la Tabla 2. Es importante resaltar que para el año 2019 en los meses de enero a marzo y para el año 2020 en los meses de enero a mayo no hay información de lecturas del macro medidor, porque según los funcionarios en este tiempo estaban averiados, además en algunos días de los años de estudio no se encuentran registros debido a la suspensión del agua ya sea por mantenimiento del tanque o reparaciones en la red, por lo cual las tablas en estos meses y ciertos días no tendrán información. La base para la elaboración del patrón de consumo se hizo con los datos brutos.

Tabla 2

Digitalización de macro mediciones ACOSMI (Fragmento del 2021)

Fecha - Hora	Salida (m^3)
01/01/2021 12:00 AM	4
01/01/2021 1:00 AM	4
01/01/2021 2:00 AM	4
01/01/2021 3:00 AM	5
01/01/2021 4:00 AM	7
01/01/2021 5:00 AM	7
01/01/2021 6:00 AM	4
01/01/2021 7:00 AM	4
01/01/2021 8:00 AM	9
01/01/2021 9:00 AM	12
01/01/2021 10:00 AM	15
01/01/2021 11:00 AM	18
01/01/2021 12:00 PM	17
01/01/2021 1:00 PM	17
01/01/2021 2:00 PM	14
01/01/2021 3:00 PM	13
01/01/2021 4:00 PM	11
01/01/2021 5:00 PM	10
01/01/2021 6:00 PM	10
01/01/2021 7:00 PM	9
01/01/2021 8:00 PM	8
01/01/2021 9:00 PM	8
01/01/2021 10:00 PM	3
01/01/2021 11:00 PM	3
02/01/2021 12:00 AM	3
02/01/2021 1:00 AM	3
02/01/2021 2:00 AM	3
02/01/2021 3:00 AM	3

5.2.1.2. Patrón de consumo. Con la información digitalizada en las tabas de Excel se estiman los promedios por hora de cada año y con esto se obtiene el promedio por hora de los cinco años estudiados, basados en esta información obtenemos el patrón de consumo durante 24 horas, estos resultados obtenidos se muestran en la *Tabla 3*.

Tabla 3

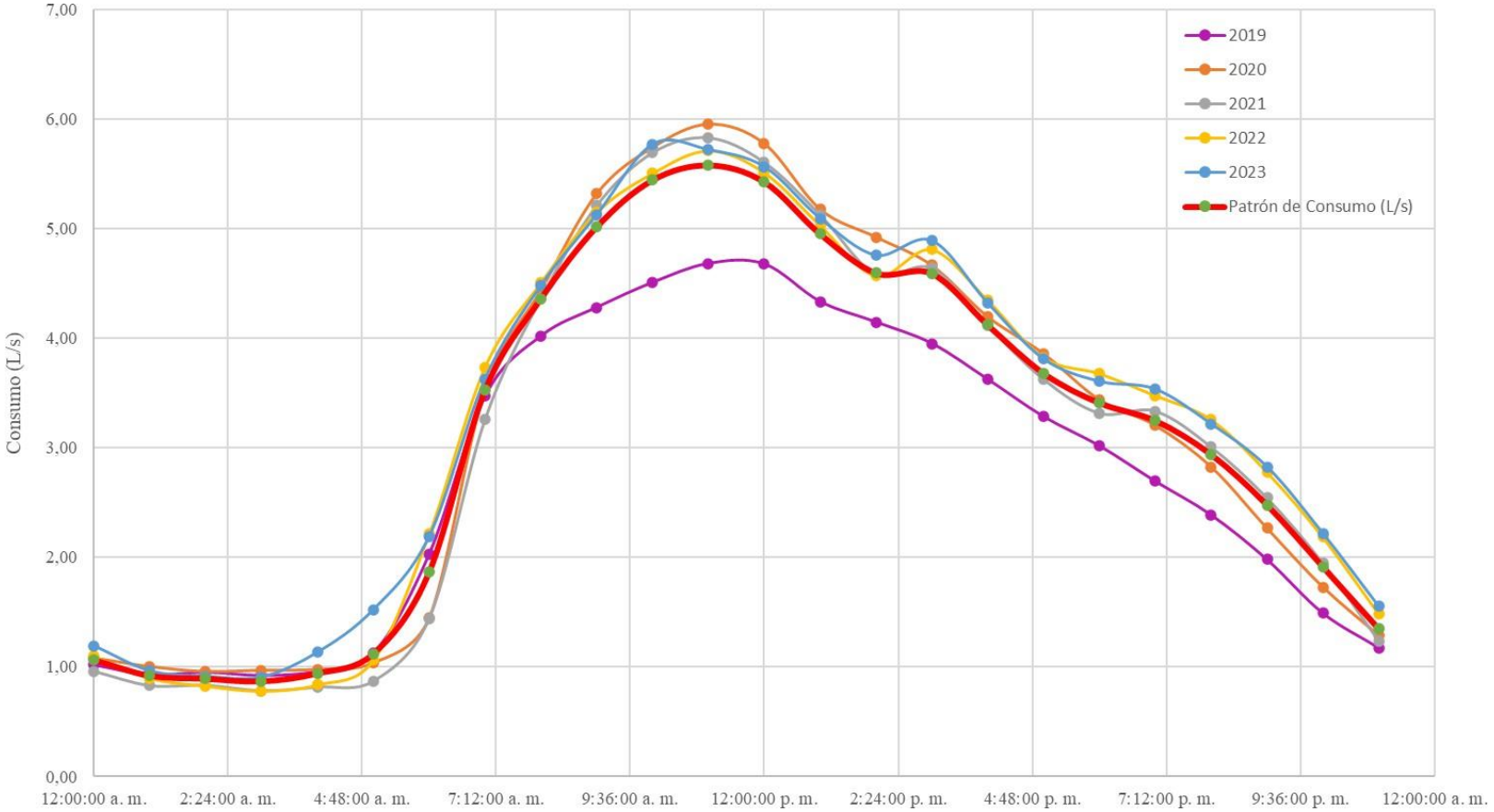
Patrón de consumo promedio en 24 horas por macro medidor

Hora	2019	2020	2021	2022	2023	Patrón de Consumo (L/s)
12:00:00 a. m.	1,02	1,08	0,96	1,10	1,19	1,07
1:00:00 a. m.	0,93	1,00	0,83	0,90	0,96	0,92
2:00:00 a. m.	0,95	0,96	0,83	0,83	0,91	0,90
3:00:00 a. m.	0,92	0,97	0,78	0,78	0,91	0,87
4:00:00 a. m.	0,96	0,98	0,81	0,84	1,13	0,94
5:00:00 a. m.	1,13	1,04	0,87	1,06	1,52	1,12
6:00:00 a. m.	2,03	1,45	1,44	2,21	2,19	1,86
7:00:00 a. m.	3,47	3,53	3,26	3,73	3,63	3,52
8:00:00 a. m.	4,02	4,44	4,36	4,50	4,48	4,36
9:00:00 a. m.	4,28	5,32	5,21	5,15	5,12	5,02
10:00:00 a. m.	4,51	5,74	5,69	5,50	5,77	5,44
11:00:00 a. m.	4,68	5,95	5,83	5,71	5,72	5,58
12:00:00 p. m.	4,67	5,78	5,61	5,51	5,56	5,43
1:00:00 p. m.	4,33	5,18	5,13	5,03	5,09	4,95
2:00:00 p. m.	4,15	4,92	4,58	4,57	4,76	4,59
3:00:00 p. m.	3,95	4,66	4,64	4,81	4,89	4,59
4:00:00 p. m.	3,62	4,20	4,12	4,34	4,32	4,12
5:00:00 p. m.	3,28	3,86	3,62	3,82	3,81	3,68
6:00:00 p. m.	3,02	3,44	3,32	3,68	3,60	3,41
7:00:00 p. m.	2,69	3,20	3,33	3,48	3,53	3,25
8:00:00 p. m.	2,39	2,83	3,01	3,26	3,22	2,94
9:00:00 p. m.	1,98	2,27	2,54	2,78	2,83	2,48
10:00:00 p. m.	1,49	1,73	1,95	2,19	2,22	1,91
11:00:00 p. m.	1,17	1,29	1,24	1,49	1,55	1,35

El gráfico presentado en la *Figura 27*, muestra los picos máximos y mínimos de consumo promedio durante 24 horas para los cinco años registrados (2019-2023), por el macro medidor a lo largo del tiempo, permitiendo visualizar las variaciones en el flujo de manera clara.

Figura 27

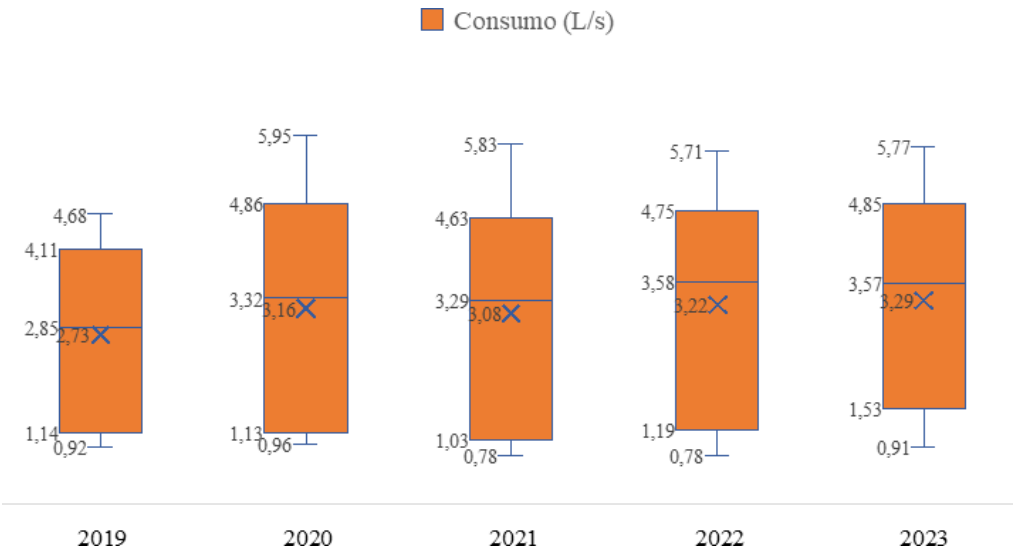
Gráfico Patrón de consumo



A continuación, en la *Figura 28*, se muestra un gráfico de bigotes en el cual se detallan los valores de consumos máximos, mínimos, promedio, mediana y cuartiles, donde se muestra la dispersión de los datos en cada uno de los años estudiados.

Figura 28

Gráfico de bigotes del patrón de consumo



Del análisis del patrón de consumo podemos dar las siguientes conclusiones:

En la *Figura 27*, se puede observar que el consumo tiene un comportamiento similar en cada uno de los años realizados.

El año en el que menos consumo se obtuvo es el año 2019, en el cual también se muestra que tiene un pico mínimo en el consumo en comparación de los demás años y el año que tiene un pico máximo en el consumo se evidencia en el año 2020, casualmente es la fecha en la que se presentó la pandemia del COVID-19, donde se realizaron cuarentenas y las personas les tocaba permanecer en casa, por lo cual se presume que por esta razón se evidencia incremento en el consumo.

En el año de menor consumo el pico máximo, está alrededor de las 11:00 am con un valor de 4,68 l/s y el consumo mínimo, alrededor de las 3:00 am con un valor de 0,92 l/s; y en el año de mayor consumo el pico máximo, está alrededor de las 11:00 am con un valor de 5,95 l/s y el consumo mínimo, alrededor de las 2:00 am con un valor de 0,96 l/s.

El promedio general de los cinco años en la *Figura 27*, es la línea continua de color rojo, en la cual se ha observado que el pico máximo de consumo promedio durante 24 horas, está alrededor de las 10:00 am a 12:00 pm y el consumo mínimo alrededor de las 1:00 am a 4:00 am.

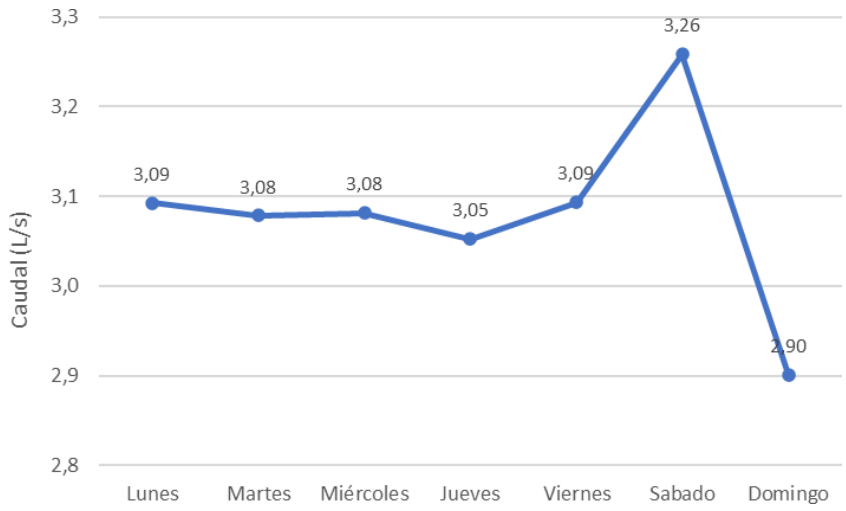
En la *Figura 28*, el valor que se muestra al lado de "x" representa el promedio de consumo en l/s durante un periodo de 24 horas para cada año. Se observa que, en la mayoría de los casos, existe un incremento significativo en el consumo promedio al transcurrir de un año a otro.

Este análisis de consumos durante 24 horas en un periodo de cinco años, permite entender los patrones de consumo, el cual es una herramienta clave para optimizar la gestión del recurso hídrico. Al identificar las horas de mayor y menor demanda, es posible optimizar la distribución de agua, evitando desperdicios y mejorando la planificación operativa. Además, permite implementar estrategias que minimicen el consumo en momentos de mayor demanda, generando ahorros económicos y garantizando un uso más sostenible de los recursos.

Adicional a lo anterior, se realizó un análisis de consumo promedio diario de lunes a domingo durante los cinco años (2019-2023), con el fin de estimar el día de la semana con mayor y menor demanda de consumo de agua potable, para esto se realizó la siguiente gráfica, véase *Figura 29*.

Figura 29

Consumo promedio diario en l/s



De la gráfica anterior se puede analizar lo siguiente:

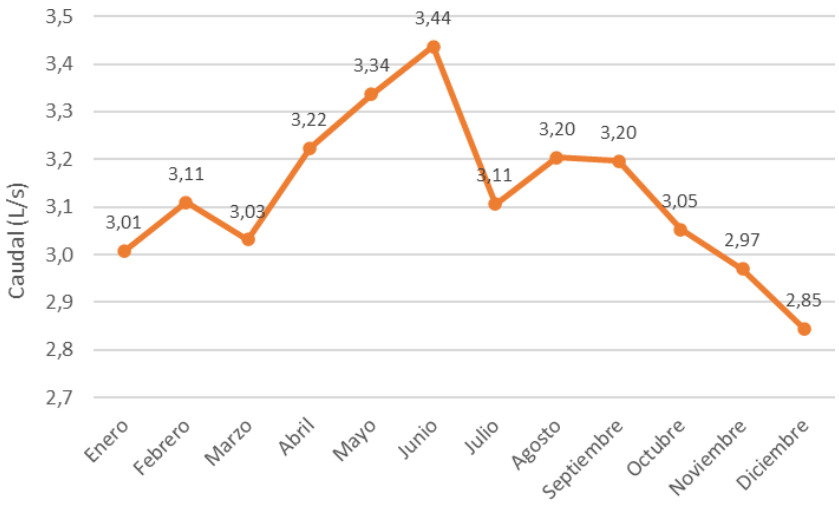
El consumo de lunes a viernes es muy similar entre ellos, se supone que esto se debe a que son los días que se labora y no se permanece mucho en casa.

El día que mayor consumo de agua se tiene son los días sábados, con un valor de 3,26 l/s y el día que menor consumo de agua se tiene son los domingos, con un valor de 2,90 l/s.

Además, se realizó una gráfica con los consumos promedios mensuales durante los cinco años registrados, la cual se observa en la *Figura 30*.

Figura 30

Consumo promedio mensual en l/s



Del consumo promedio mensual se pueden dar las siguientes conclusiones:

El mes con mayor demanda de agua es junio con un consumo promedio de 3,44 l/s, lo que puede deberse a temperaturas más altas y el mes con menor demanda de agua es diciembre con un consumo promedio de 2,85 l/s. Esta disminución puede estar relacionada con medidas de ahorro de agua, ajustes en las tarifas o una menor actividad local debido a las vacaciones fuera del municipio.

El consumo entre abril y junio muestra un aumento progresivo, lo que podría indicar una mayor demanda estacional.

A partir de octubre, se inicia una tendencia descendente hasta diciembre, donde se registra el valor más bajo del año.

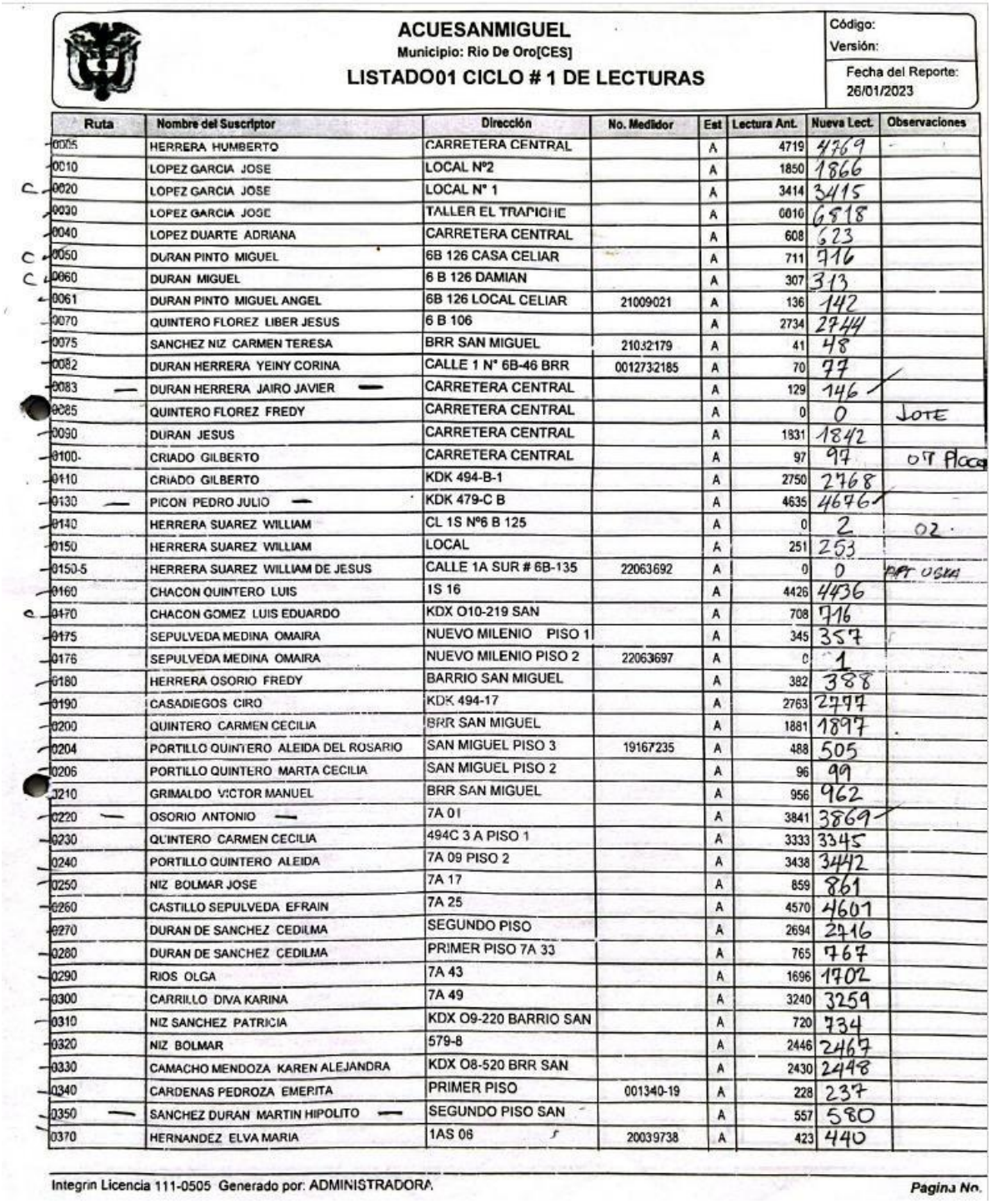
5.2.2. Micro Medición para la Estimación de los Consumos Reales por Tramo de Malla de la Red de Distribución

La micro medición es una herramienta fundamental en la gestión eficiente del recurso hídrico, ya que permite la determinación precisa del consumo de agua a nivel de cada suscriptor, facilitando la identificación de patrones de demanda y optimizando la operación del sistema de distribución. Este proceso implica la utilización de los datos de micromedidores en las acometidas domiciliarias, permitiendo registrar el volumen de agua consumida por cada suscriptor en intervalos de tiempo definidos.

Para la estimación de los consumos reales en la malla de la red de distribución, se recopilaron datos provenientes de los registros de micro medición para el año 2023 suministrados por la empresa ACOSMI. Estos registros, originalmente se encuentran en formato manuscrito véase *Figura 31*, los cuales fueron digitalizados en una base de datos estructurada véase *Tabla 4*, que permitió la organización y análisis de la información con herramientas como Microsoft Excel y EPANET.

Figura 31

Formato control de micro medidores de ACOSMI



ACUESANMIGUEL
Municipio: Rio De Oro[CES]
LISTADO01 CICLO # 1 DE LECTURAS

Código:
Versión:
Fecha del Reporte: 26/01/2023

Ruta	Nombre del Suscriptor	Dirección	No. Medidor	Est	Lectura Ant.	Nueva Lect.	Observaciones
0005	HERRERA HUMBERTO	CARRETERA CENTRAL		A	4719	4769	
0010	LOPEZ GARCIA JOSE	LOCAL Nº2		A	1850	1866	
0020	LOPEZ GARCIA JOSE	LOCAL N° 1		A	3414	3415	
0030	LOPEZ GARCIA JOSE	TALLER EL TRAPICHE		A	6010	6818	
0040	LOPEZ DUARTE ADRIANA	CARRETERA CENTRAL		A	608	623	
0050	DURAN PINTO MIGUEL	6B 126 CASA CELIAR		A	711	716	
0060	DURAN MIGUEL	6 B 126 DAMIAN		A	307	313	
0061	DURAN PINTO MIGUEL ANGEL	6B 126 LOCAL CELIAR	21009021	A	136	142	
0070	QUINTERO FLOREZ LIBER JESUS	6 B 106		A	2734	2744	
0075	SANCHEZ NIZ CARMEN TERESA	BRR SAN MIGUEL	21032179	A	41	48	
0082	DURAN HERRERA YEINY CORINA	CALLE 1 N° 6B-46 BRR	0012732185	A	70	77	
0083	DURAN HERRERA JAIRO JAVIER	CARRETERA CENTRAL		A	129	146	
0085	QUINTERO FLOREZ FREDY	CARRETERA CENTRAL		A	0	0	LOTE
0090	DURAN JESUS	CARRETERA CENTRAL		A	1831	1842	
0100	CRIADO GILBERTO	CARRETERA CENTRAL		A	97	97	OT Placa
0110	CRIADO GILBERTO	KDK 494-B-1		A	2750	2768	
0130	PICON PEDRO JULIO	KDK 479-C B		A	4635	4676	
0140	HERRERA SUAREZ WILLIAM	CL 1S Nº6 B 125		A	0	2	02
0150	HERRERA SUAREZ WILLIAM	LOCAL		A	251	253	
0150-5	HERRERA SUAREZ WILLIAM DE JESUS	CALLE 1A SUR # 6B-135	22063692	A	0	0	DAT USUA
0160	CHACON QUINTERO LUIS	1S 16		A	4426	4436	
0170	CHACON GOMEZ LUIS EDUARDO	KDX O10-219 SAN		A	708	716	
0175	SEPULVEDA MEDINA OMAIRA	NUEVO MILENIO PISO 1		A	345	357	
0176	SEPULVEDA MEDINA OMAIRA	NUEVO MILENIO PISO 2	22063697	A	0	1	
0180	HERRERA OSORIO FREDY	BARRIO SAN MIGUEL		A	382	388	
0190	CASADIEGOS CIRO	KDK 494-17		A	2763	2797	
0200	QUINTERO CARMEN CECILIA	BRR SAN MIGUEL		A	1881	1897	
0204	PORTILLO QUINTERO ALEIDA DEL ROSARIO	SAN MIGUEL PISO 3	19167235	A	488	505	
0206	PORTILLO QUINTERO MARTA CECILIA	SAN MIGUEL PISO 2		A	96	99	
0210	GRIMALDO VICTOR MANUEL	BRR SAN MIGUEL		A	956	962	
0220	OSORIO ANTONIO	7A 01		A	3841	3869	
0230	QUINTERO CARMEN CECILIA	494C 3 A PISO 1		A	3333	3345	
0240	PORTILLO QUINTERO ALEIDA	7A 09 PISO 2		A	3438	3442	
0250	NIZ BOLMAR JOSE	7A 17		A	859	861	
0260	CASTILLO SEPULVEDA EFRAIN	7A 25		A	4570	4601	
0270	DURAN DE SANCHEZ CEDILMA	SEGUNDO PISO		A	2694	2716	
0280	DURAN DE SANCHEZ CEDILMA	PRIMER PISO 7A 33		A	765	767	
0290	RIOS OLGA	7A 43		A	1696	1702	
0300	CARRILLO DIVA KARINA	7A 49		A	3240	3259	
0310	NIZ SANCHEZ PATRICIA	KDX O9-220 BARRIO SAN		A	720	734	
0320	NIZ BOLMAR	579-8		A	2446	2467	
0330	CAMACHO MENDOZA KAREN ALEJANDRA	KDX O8-520 BRR SAN		A	2430	2448	
0340	CARDENAS PEDROZA EMERITA	PRIMER PISO	001340-19	A	228	237	
0350	SANCHEZ DURAN MARTIN HIPOLITO	SEGUNDO PISO SAN		A	557	580	
0370	HERNANDEZ ELVA MARIA	1AS 08	20039738	A	423	440	

Integrin Licencia 111-0505 Generado por: ADMINISTRADORA

Pagina No.

Nota. Tomado de (ACOSMI, 2024)

Tabla 4

Digitalización de micro mediciones ACOSMI (Fragmento de enero 2023)

Suscriptor	Lectura Anterior	Nueva Lectura	Consumo (m3/mes)
5	4719	4769	50
10	1850	1866	16
20	3414	3415	1
30	6816	6818	2
40	608	623	15
50	711	716	5
60	307	313	6
61	136	142	6
70	2734	2744	10
75	41	48	7
82	70	77	7
83	129	146	17
85	0	0	0
90	1831	1842	11
100	97	97	0
110	2750	2768	18
130	4635	4676	41
140	0	2	2
150	251	253	2
150-5	0	0	0
160	4426	4436	10
170	708	716	8
175	345	357	12
176	0	1	1

5.2.2.1. Análisis y procesamiento de información. La segmentación de caudales permite clasificar el comportamiento del agua en redes de distribución, diferenciando entre caudales base (flujo subterráneo constante), caudales directos (generados por lluvias) y caudales antropogénicos (consumo humano e industrial). Estos datos se integran al software EPANET, desarrollado por la EPA (Rossman, L. A. , 2000), que modela sistemas de tuberías mediante algoritmos hidráulicos y de calidad del agua. EPANET utiliza ecuaciones como la de Hardy-

Cross para equilibrar flujos y la fórmula de Hazen-Williams para calcular pérdidas de carga (Liou, Y. T., & Hunt, W. A., 2018). Su aplicación es clave para simular escenarios como picos de demanda en festividades, fallas en infraestructura y contaminación del agua. Tras la calibración con datos de campo (ajustando rugosidad de tuberías y demandas), el modelo puede optimizar operaciones, identificar puntos críticos y planificar expansiones.

El cálculo de los caudales por nodo se realizó utilizando el catastro de redes de distribución realizado por los presentes autores, (*inciso 5.1).* Este catastro incluye la nomenclatura de los nodos y el catastro de usuarios. Una vez identificados los suscriptores de cada tramo y su consumo en litros por segundo, se procede a calcular el caudal correspondiente a cada nodo.

Se realizó la sumatoria de nodo a nodo de los consumos de los suscriptores que contiene cada tramo. El resultado se dividió entre dos, asignando cada valor obtenido al caudal de cada nodo.

En la *Figura 32* se presenta un detalle ampliado del catastro de la red, donde se muestra un ejemplo, entre el nodo 1 y 92, en el cual se puede observar que se encuentran registrados un total de 10 suscriptores. Asimismo, en la *Tabla 5* se presenta el consumo en litros por segundo de los suscriptores incluidos en el tramo seleccionado como referencia del mes de enero de 2023. Se suman estos consumos, obteniendo un total de 0,0426 litros por segundo. Este valor se divide entre dos, asignando un caudal de 0,0213 litros por segundo a cada uno de los nodos 1 y 92. Este mismo procedimiento es realizado para cada uno de los nodos.

Figura 32

Zoom del catastro de red de ACOSMI N1-N92 con sus usuarios

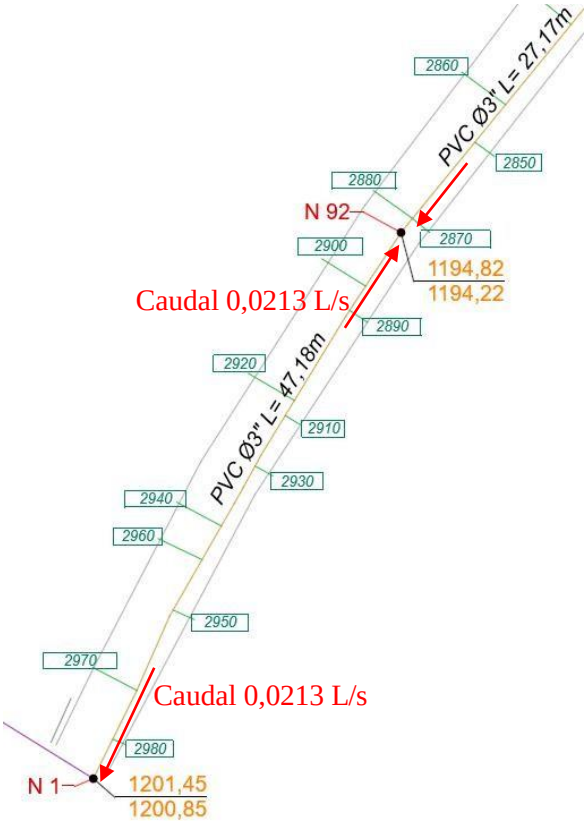


Tabla 5

Consumo de los suscriptores del tramo entre los nodos 1 y 92 en l/s (enero 2023)

Enero 2023	
Suscriptor	**Caudal L/s**
2980	0,00709
2970	0,00224
2950	0,00149
2960	0,00000
2940	0,00336
2930	0,00448
2910	0,00933
2920	0,00709
2890	0,00635
2900	0,00112
Q Nodo 1-92	**0,04256**

5.2.2.2. Consumos reales por tramo de malla de la red de distribución. Se estimaron los caudales reales de cada nodo de la red de distribución, para el año 2023, ver *Tabla 6*.

Tabla 6

Caudales reales para cada nodo de la red de distribución (2023)

Nodo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
1	0,0213	0,0190	0,0187	0,0268	0,0190	0,0189	0,0207	0,0252	0,0230	0,0235	0,0284	0,0198	0,0220
2	0,0577	0,0668	0,0568	0,0569	0,0515	0,0652	0,0599	0,0596	0,0554	0,0450	0,0496	0,0648	0,0574
3	0,0164	0,0302	0,0220	0,0201	0,0187	0,0313	0,0248	0,0205	0,0179	0,0136	0,0135	0,0315	0,0217
4	0,0101	0,0099	0,0069	0,0075	0,0062	0,0073	0,0080	0,0073	0,0096	0,0091	0,0077	0,0086	0,0082
5	0,0019	0,0023	0,0015	0,0021	0,0015	0,0017	0,0019	0,0021	0,0017	0,0017	0,0017	0,0021	0,0018
6	0,0405	0,0438	0,0366	0,0399	0,0355	0,0359	0,0357	0,0319	0,0349	0,0284	0,0376	0,0336	0,0362
7	0,0806	0,0806	0,0750	0,0839	0,0722	0,0752	0,0773	0,0737	0,0758	0,0633	0,0764	0,0700	0,0753
8	0,0284	0,0331	0,0310	0,0359	0,0299	0,0305	0,0327	0,0327	0,0349	0,0312	0,0341	0,0325	0,0322
9	0,0183	0,0155	0,0129	0,0149	0,0127	0,0149	0,0146	0,0153	0,0122	0,0095	0,0112	0,0099	0,0135
10	0,1157	0,1038	0,0997	0,1155	0,1053	0,1144	0,1058	0,1150	0,1088	0,1064	0,1101	0,1032	0,1087
11	0,0620	0,0525	0,0596	0,0615	0,0519	0,0548	0,0575	0,0607	0,0583	0,0562	0,0563	0,0521	0,0569
12	0,0245	0,0169	0,0259	0,0218	0,0161	0,0187	0,0166	0,0172	0,0150	0,0149	0,0170	0,0118	0,0180
13	0,0820	0,0812	0,0743	0,0847	0,0861	0,0829	0,0801	0,0866	0,0920	0,0846	0,0862	0,0765	0,0831
14	0,0265	0,0211	0,0211	0,0249	0,0226	0,0230	0,0220	0,0306	0,0326	0,0297	0,0284	0,0202	0,0252
15	0,0519	0,0502	0,0483	0,0448	0,0461	0,0411	0,0401	0,0461	0,0465	0,0478	0,0502	0,0448	0,0465
16	0,0351	0,0355	0,0325	0,0276	0,0299	0,0247	0,0256	0,0274	0,0268	0,0258	0,0295	0,0284	0,0291
17	0,0403	0,0420	0,0377	0,0421	0,0334	0,0355	0,0343	0,0381	0,0361	0,0399	0,0395	0,0308	0,0375
18	0,0338	0,0345	0,0274	0,0287	0,0237	0,0224	0,0278	0,0267	0,0258	0,0291	0,0274	0,0269	0,0279
19	0,0103	0,0097	0,0078	0,0083	0,0067	0,0066	0,0112	0,0088	0,0108	0,0119	0,0100	0,0112	0,0094
20	0,0032	0,0039	0,0035	0,0029	0,0034	0,0025	0,0026	0,0032	0,0031	0,0026	0,0021	0,0039	0,0031
21	0,0021	0,0017	0,0011	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0007	0,0015	0,0017	0,0007
22	0,0161	0,0169	0,0187	0,0210	0,0192	0,0216	0,0194	0,0220	0,0204	0,0211	0,0210	0,0162	0,0195

Nodo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
23	0,0325	0,0345	0,0334	0,0392	0,0353	0,0376	0,0373	0,0394	0,0415	0,0362	0,0372	0,0265	0,0359
24	0,0159	0,0161	0,0136	0,0145	0,0153	0,0185	0,0192	0,0218	0,0174	0,0144	0,0129	0,0140	0,0161
25	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
26	0,0140	0,0147	0,0123	0,0129	0,0138	0,0170	0,0179	0,0196	0,0160	0,0144	0,0129	0,0140	0,0150
27	0,0366	0,0401	0,0379	0,0442	0,0371	0,0397	0,0377	0,0426	0,0484	0,0442	0,0446	0,0381	0,0409
28	0,0233	0,0169	0,0213	0,0253	0,0183	0,0220	0,0196	0,0256	0,0237	0,0245	0,0280	0,0235	0,0227
29	0,0118	0,0064	0,0119	0,0149	0,0101	0,0137	0,0116	0,0149	0,0114	0,0125	0,0174	0,0118	0,0124
30	0,0797	0,0847	0,0765	0,0851	0,0866	0,0816	0,0984	0,0799	0,0822	0,0782	0,0853	0,0764	0,0829
31	0,0258	0,0275	0,0258	0,0324	0,0259	0,0295	0,0293	0,0293	0,0284	0,0276	0,0324	0,0250	0,0282
32	0,0138	0,0151	0,0136	0,0172	0,0147	0,0172	0,0166	0,0170	0,0162	0,0177	0,0199	0,0131	0,0160
33	0,0500	0,0442	0,0399	0,0409	0,0396	0,0440	0,0582	0,0427	0,0440	0,0448	0,0613	0,0411	0,0459
34	0,0254	0,0273	0,0245	0,0264	0,0271	0,0314	0,0286	0,0295	0,0303	0,0282	0,0314	0,0286	0,0282
35	0,0024	0,0027	0,0022	0,0037	0,0037	0,0042	0,0045	0,0043	0,0041	0,0045	0,0056	0,0043	0,0038
36	0,0200	0,0260	0,0265	0,0260	0,0228	0,0303	0,0239	0,0256	0,0311	0,0276	0,0303	0,0278	0,0265
37	0,0200	0,0231	0,0217	0,0230	0,0187	0,0226	0,0196	0,0196	0,0235	0,0237	0,0241	0,0194	0,0216
38	0,0224	0,0169	0,0162	0,0150	0,0198	0,0226	0,0233	0,0254	0,0257	0,0237	0,0370	0,0263	0,0229
39	0,0103	0,0095	0,0091	0,0098	0,0097	0,0085	0,0112	0,0123	0,0108	0,0099	0,0112	0,0088	0,0101
40	0,0043	0,0037	0,0041	0,0042	0,0034	0,0035	0,0041	0,0043	0,0044	0,0037	0,0042	0,0035	0,0040
41	0,1077	0,0847	0,0805	0,0945	0,0876	0,0878	0,0881	0,0890	0,0893	0,0864	0,0845	0,0803	0,0884
42	0,0498	0,0463	0,0431	0,0509	0,0455	0,0444	0,0470	0,0463	0,0478	0,0457	0,0421	0,0394	0,0457
43	0,0149	0,0136	0,0131	0,0149	0,0136	0,0164	0,0157	0,0175	0,0189	0,0179	0,0141	0,0151	0,0155
44	0,0118	0,0116	0,0088	0,0104	0,0103	0,0091	0,0105	0,0116	0,0110	0,0103	0,0095	0,0078	0,0102
45	0,0129	0,0143	0,0127	0,0162	0,0144	0,0154	0,0116	0,0151	0,0120	0,0155	0,0274	0,0134	0,0151
46	0,0065	0,0076	0,0077	0,0089	0,0073	0,0089	0,0077	0,0086	0,0077	0,0082	0,0218	0,0078	0,0091
47	0,0063	0,0066	0,0050	0,0073	0,0071	0,0066	0,0039	0,0065	0,0042	0,0073	0,0056	0,0056	0,0060
48	0,0898	0,0816	0,0749	0,0845	0,0769	0,0791	0,0784	0,0855	0,0833	0,0760	0,0787	0,0696	0,0799
49	0,0258	0,0258	0,0230	0,0274	0,0256	0,0237	0,0226	0,0274	0,0245	0,0235	0,0235	0,0252	0,0248
50	0,0106	0,0105	0,0075	0,0093	0,0088	0,0066	0,0060	0,0090	0,0079	0,0078	0,0079	0,0080	0,0083
51	0,0480	0,0424	0,0385	0,0490	0,0411	0,0413	0,0414	0,0441	0,0426	0,0435	0,0413	0,0371	0,0425
52	0,0728	0,0575	0,0590	0,0671	0,0668	0,0720	0,0627	0,0702	0,0600	0,0588	0,0683	0,0596	0,0646

Nodo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
53	0,0532	0,0389	0,0427	0,0486	0,0474	0,0519	0,0429	0,0469	0,0413	0,0416	0,0457	0,0390	0,0450
54	0,0357	0,0318	0,0343	0,0328	0,0278	0,0378	0,0321	0,0418	0,0320	0,0321	0,0341	0,0306	0,0336
55	0,0161	0,0132	0,0181	0,0143	0,0084	0,0177	0,0123	0,0185	0,0133	0,0149	0,0116	0,0101	0,0140
56	0,0609	0,0537	0,0502	0,0583	0,0523	0,0523	0,0521	0,0540	0,0536	0,0569	0,0530	0,0472	0,0537
57	0,0319	0,0283	0,0256	0,0299	0,0261	0,0280	0,0269	0,0297	0,0278	0,0293	0,0282	0,0246	0,0280
58	0,0192	0,0147	0,0138	0,0160	0,0142	0,0147	0,0138	0,0151	0,0127	0,0146	0,0131	0,0123	0,0145
59	0,0106	0,0130	0,0118	0,0133	0,0112	0,0120	0,0127	0,0127	0,0129	0,0119	0,0131	0,0110	0,0122
60	0,0431	0,0397	0,0394	0,0422	0,0398	0,0363	0,0371	0,0379	0,0367	0,0388	0,0415	0,0358	0,0390
61	0,0256	0,0242	0,0230	0,0276	0,0233	0,0197	0,0215	0,0230	0,0218	0,0213	0,0251	0,0215	0,0231
62	0,0157	0,0110	0,0138	0,0224	0,0189	0,0206	0,0183	0,0207	0,0220	0,0213	0,0228	0,0205	0,0190
63	0,0021	0,0017	0,0015	0,0019	0,0017	0,0019	0,0019	0,0049	0,0041	0,0043	0,0046	0,0043	0,0029
64	0,0146	0,0169	0,0093	0,0122	0,0146	0,0149	0,0157	0,0175	0,0137	0,0295	0,0145	0,0140	0,0156
65	0,0032	0,0021	0,0026	0,0025	0,0019	0,0019	0,0032	0,0021	0,0033	0,0013	0,0021	0,0021	0,0023
66	0,0019	0,0023	0,0015	0,0021	0,0015	0,0017	0,0019	0,0021	0,0017	0,0017	0,0017	0,0021	0,0018
67	0,0353	0,0337	0,0261	0,0301	0,0485	0,0303	0,0286	0,0338	0,0347	0,0401	0,0413	0,0386	0,0351
68	0,0278	0,0254	0,0226	0,0328	0,0278	0,0303	0,0293	0,0321	0,0314	0,0312	0,0328	0,0304	0,0295
69	0,0073	0,0058	0,0047	0,0066	0,0058	0,0066	0,0062	0,0077	0,0071	0,0069	0,0075	0,0067	0,0066
70	0,0026	0,0012	0,0002	0,0012	0,0009	0,0010	0,0013	0,0017	0,0012	0,0013	0,0012	0,0017	0,0013
71	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
72	0,0224	0,0211	0,0203	0,0253	0,0239	0,0212	0,0222	0,0233	0,0224	0,0235	0,0199	0,0233	0,0224
73	0,1068	0,0969	0,0918	0,1026	0,0930	0,0910	0,1010	0,0969	0,0955	0,0971	0,0945	0,0917	0,0966
74	0,0267	0,0229	0,0228	0,0237	0,0207	0,0224	0,0226	0,0220	0,0241	0,0241	0,0231	0,0205	0,0230
75	0,0049	0,0037	0,0032	0,0042	0,0034	0,0031	0,0030	0,0032	0,0027	0,0030	0,0033	0,0028	0,0034
76	0,1366	0,1356	0,1277	0,1441	0,1303	0,1400	0,1443	0,1366	0,1345	0,1365	0,1360	0,1413	0,1370
77	0,0605	0,0641	0,0605	0,0681	0,0594	0,0708	0,0680	0,0637	0,0648	0,0655	0,0669	0,0722	0,0654
78	0,0390	0,0370	0,0388	0,0426	0,0351	0,0386	0,0355	0,0437	0,0424	0,0442	0,0480	0,0413	0,0405
79	0,0381	0,0358	0,0375	0,0413	0,0330	0,0349	0,0345	0,0424	0,0415	0,0433	0,0471	0,0405	0,0392
80	0,0366	0,0360	0,0347	0,0380	0,0385	0,0380	0,0396	0,0444	0,0368	0,0392	0,0386	0,0357	0,0380
81	0,0366	0,0360	0,0347	0,0380	0,0385	0,0380	0,0396	0,0444	0,0368	0,0392	0,0386	0,0357	0,0380
82	0,0032	0,0021	0,0026	0,0025	0,0019	0,0019	0,0032	0,0021	0,0033	0,0013	0,0021	0,0021	0,0023

Nodo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
83	0,0138	0,0157	0,0082	0,0106	0,0129	0,0127	0,0133	0,0149	0,0116	0,0267	0,0120	0,0129	0,0138
84	0,0019	0,0023	0,0015	0,0021	0,0015	0,0017	0,0019	0,0021	0,0017	0,0017	0,0017	0,0021	0,0018
85	0,0080	0,0058	0,0080	0,0087	0,0123	0,0114	0,0114	0,0114	0,0102	0,0097	0,0091	0,0041	0,0092
86	0,0280	0,0256	0,0230	0,0355	0,0295	0,0303	0,0297	0,0345	0,0316	0,0323	0,0324	0,0314	0,0303
87	0,0091	0,0085	0,0082	0,0100	0,0086	0,0095	0,0088	0,0108	0,0106	0,0097	0,0112	0,0093	0,0095
88	0,0054	0,0066	0,0054	0,0066	0,0067	0,0064	0,0058	0,0069	0,0068	0,0022	0,0029	0,0022	0,0053
89	0,0161	0,0196	0,0172	0,0199	0,0179	0,0183	0,0185	0,0196	0,0197	0,0142	0,0160	0,0133	0,0175
90	0,0224	0,0211	0,0203	0,0253	0,0239	0,0212	0,0222	0,0233	0,0224	0,0235	0,0199	0,0233	0,0224
91	0,0129	0,0081	0,0112	0,0189	0,0155	0,0166	0,0140	0,0133	0,0158	0,0142	0,0156	0,0151	0,0143
92	0,0386	0,0312	0,0321	0,0409	0,0297	0,0309	0,0330	0,0401	0,0353	0,0364	0,0395	0,0295	0,0348
93	0,0366	0,0355	0,0284	0,0314	0,0293	0,0303	0,0321	0,0330	0,0359	0,0289	0,0338	0,0338	0,0324
94	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
95	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Los datos que muestra la Figura 33 revelan una variabilidad en la demanda hídrica durante 2023, destacando abril como uno de los meses más altos con un valor de (2,782 L/s). Este récord coincide con la fecha de semana santa donde el municipio acoge gran cantidad de turistas por su cultura católica. En segundo lugar, se encuentra el mes de agosto (2.770 L/s) por una ola de calor a nivel local, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, (2023) reportó para agosto valores muy por encima del promedio en la mayor parte del territorio nacional véase *Figura 34*, y la precipitación se encontró por debajo de lo normal entre un 40% y 60%, ver *Figura 35*.

Figura 33

Promedio caudal mensual micro medición 2023

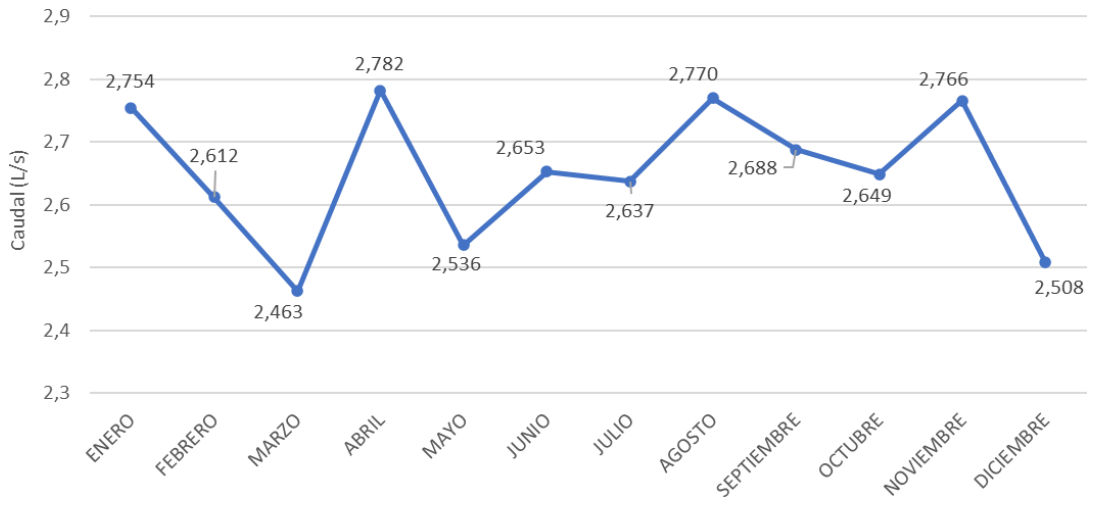
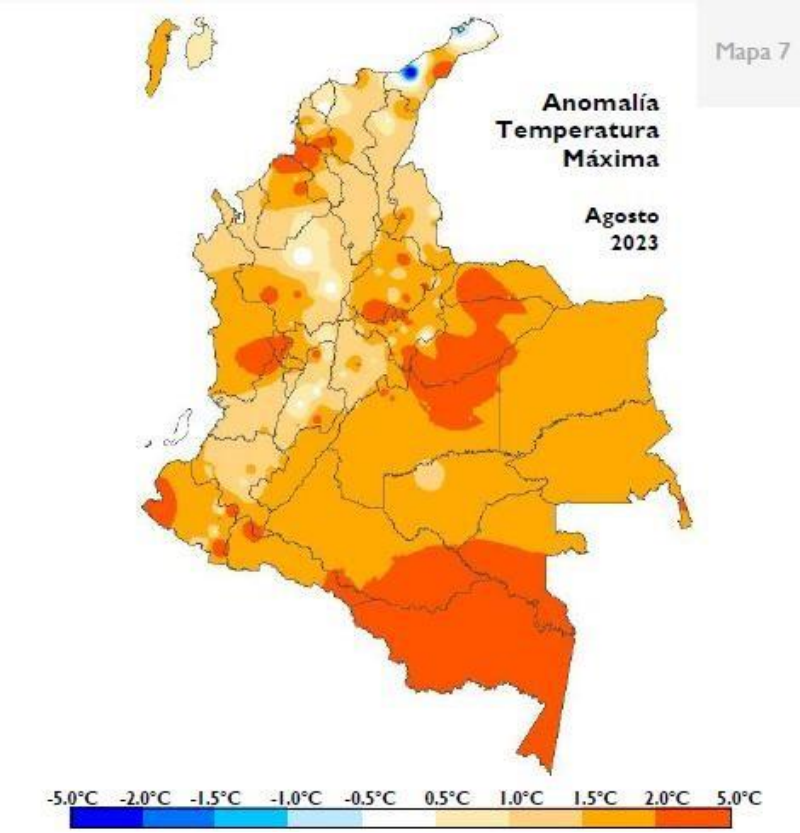


Figura 34

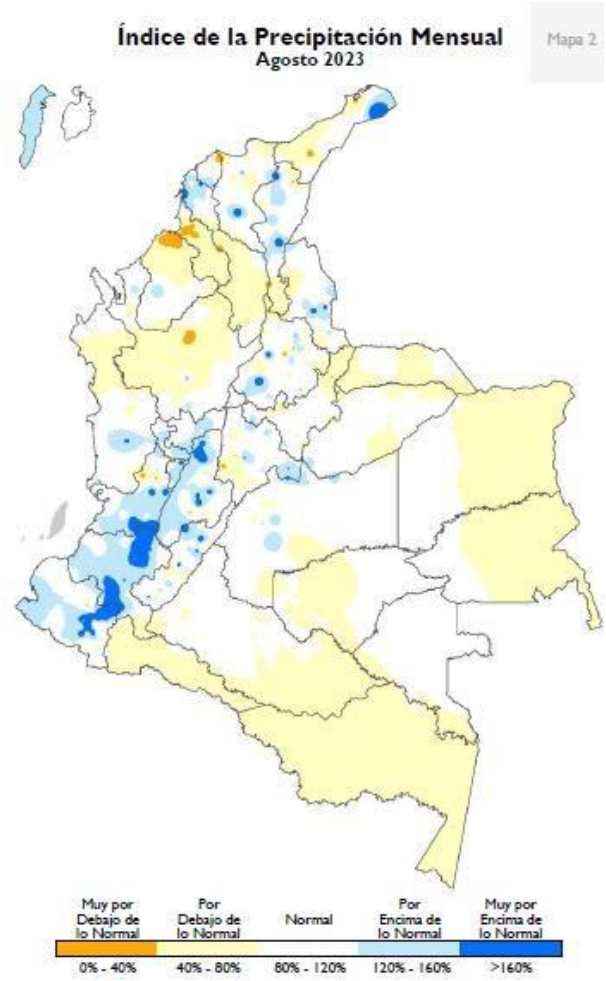
Anomalía Temperatura Máxima agosto 2023



Nota. Tomado de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, (2023)

Figura 35

Índice de la precipitación mensual



Nota. Tomado de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, (2023)

El gráfico circular ver *Figura 36* muestra una distribución notablemente equilibrada de la demanda hídrica anual, donde la mayoría de los meses presentan una participación del 8%, con excepción de enero, abril, agosto y noviembre que alcanzan el 9%. Esta variación demuestra el consumo de agua es muy equilibrado en el sector, ya que solo la fluctuación máxima con respecto a los meses es del 1%.

Figura 36

Distribución porcentual del caudal mensual micro medición 2023



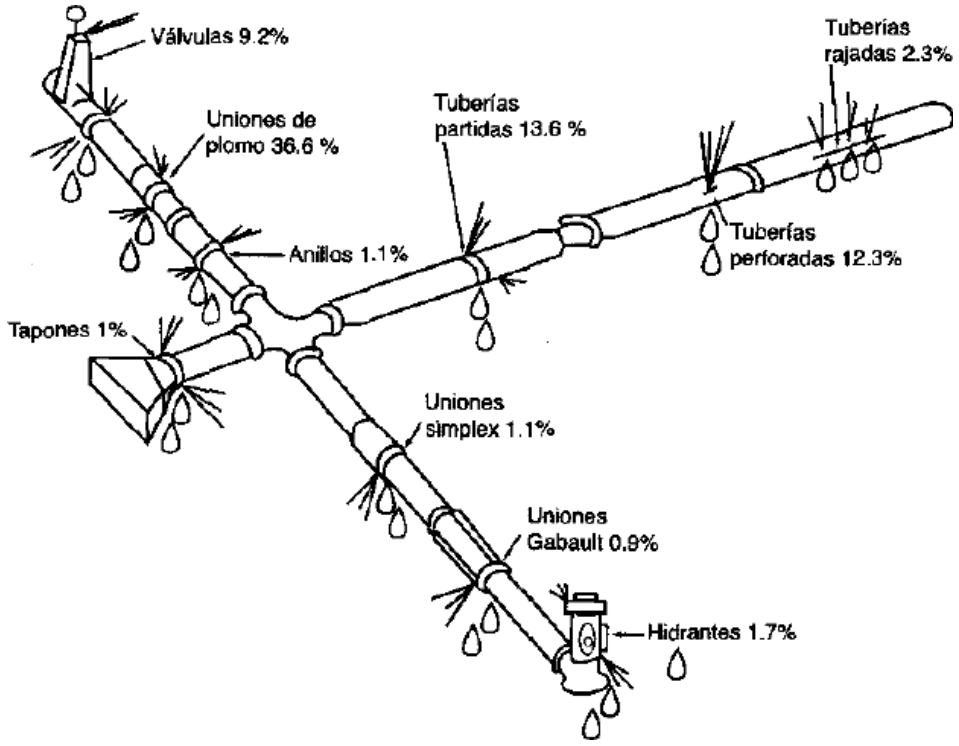
5.2.3. Pérdidas de la red de distribución

De acuerdo con Ochoa Alejo, L., & Bourguett Ortiz, V., (2021), una pérdida es un escape físico de agua en cualquier punto del sistema de agua potable; puede ocurrir en conducciones, tanques de almacenamiento, redes de distribución, conexiones domiciliarias y dentro de las casas de los usuarios, ver *Figura 37.*

Las principales causas de ocurrencia de fugas son: presión alta, corrosión externa, corrosión interna, efectos del tráfico de vehículos, mala calidad de los materiales y accesorios, mala calidad de mano de obra y calidad de las tuberías, (Ochoa Alejo, L., & Bourguett Ortiz, V., 2021).

Figura 37

Esquema de pérdidas de una red de distribución



Nota. Tomado del libro Ochoa Alejo, L., & Bourguett Ortiz, V., (2021)

Según el *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS TÍTULO B* (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010), las pérdidas comerciales son aquellas relacionadas con el funcionamiento comercial y técnico de la persona prestadora del servicio. Estas pérdidas incluyen las conexiones fraudulentas, los suscriptores que se encuentren por fuera de las bases de datos de facturación de la empresa y los caudales dejados de medir por imprecisión o deficiente operación de los micromedidores domiciliarios.

Para propósitos de diseño de un nuevo sistema de acueducto o la parte nueva de uno existente, el porcentaje de pérdidas comerciales admisibles en la red de distribución debe ser como máximo el 7%.

En los casos en que las pérdidas se encuentren por encima del valor máximo permitido, se deberá diseñar e implementar un programa de control y reducción de las mismas. En todo caso, el prestador del servicio deberá establecer un Plan de Reducción de Pérdidas, de acuerdo con lo definido en el marco regulatorio vigente, *Resolución 799 de 2021* (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021).

Según la *Resolución 0330 de 2017* (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017) la dotación neta máxima debe determinarse haciendo uso de información histórica de los consumos de agua potable de los suscriptores, disponible por parte de la persona prestadora del servicio de acueducto o, en su defecto, recopilada en el Sistema Único de Información (SUI) de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), siempre y cuando los datos sean consistentes. En todos los casos, se deberá utilizar un valor de dotación que no supere los máximos establecidos en la Resolución 0330 de 2017 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017), ver *Tabla 7*.

La dotación bruta es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante considerando para su cálculo el porcentaje de pérdidas técnicas que ocurran en el sistema de acueducto, Resolución 799 de 2021 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021).

La dotación neta es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas técnicas que ocurran en el sistema de acueducto, Resolución 799 de 2021 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021).

Tabla 7

Dotación neta máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar de la zona atendida

Altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida	Dotación neta máxima (L/hab*día)
> 2000 m.s.n.m	120
1000 - 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Nota. Tomado de la *Resolución 0330 de 2017*. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017)

5.2.3.1. Análisis y procesamiento de información. Se recopilaron y procesaron los datos del año 2023, abarcando únicamente los meses de enero a noviembre, ya que en diciembre la falta de registros en la macro medición podría haber generado cálculos imprecisos. A partir de esta información, se realizó un análisis detallado del sistema de distribución de agua potable, considerando tanto la macro medición (caudales totales) como la micro medición (consumos registrados por los usuarios). Este estudio permitió determinar con mayor precisión los niveles de pérdidas y la dotación neta de agua efectivamente disponible para la población.

Para el cálculo de dotación neta se tuvo en cuenta el número de habitantes por vivienda, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE (2018) es de 3.1, ya que es la vigente oficial.

Los resultados obtenidos, ver *Tabla 8*, revelan un porcentaje promedio de pérdidas del 20.5%, superando el límite admisible del 7% para pérdidas comerciales en la red de distribución. Este dato evidencia un desafío significativo en la eficiencia del sistema, ya que dichas pérdidas no solo representan un desperdicio de un recurso vital, sino que también afectan la sostenibilidad del servicio y elevan los costos.

Tabla 8

Dotación neta y porcentaje de pérdidas

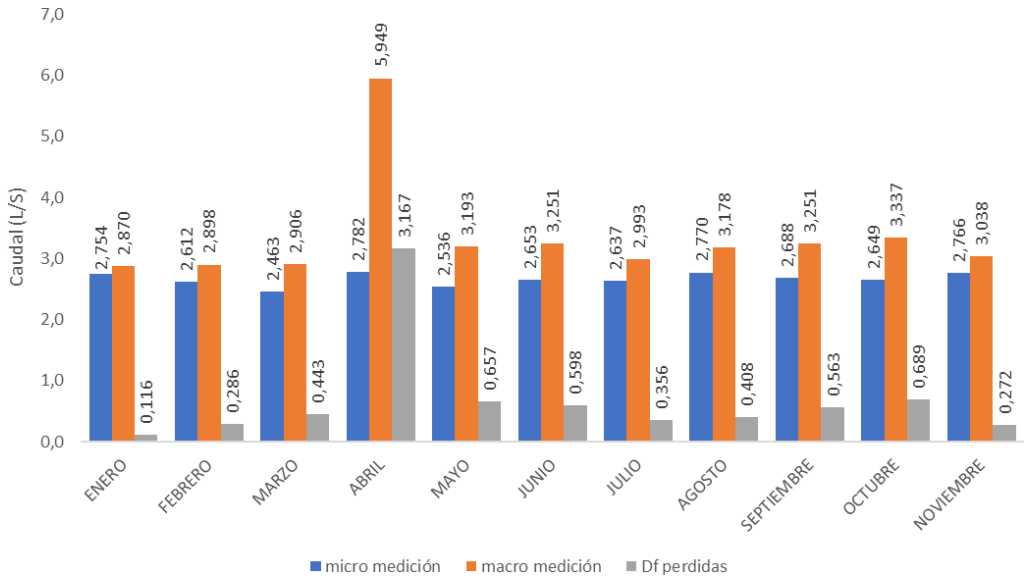
Mes	Días del mes	Micro medición L/día	D neta	Macro medición L/s	Micro medición (L/s)	Diferencia de perdidas	%perdidas	Dotación Normativa
ene	31	237967,742	132,4	2,870	2,754	0,116	4,05%	130
feb	28	225678,571	125,5	2,898	2,612	0,286	9,87%	130
mar	31	212790,323	118,3	2,906	2,463	0,443	15,26%	130
abr	30	240350,000	133,7	5,949	2,782	3,167	53,24%	130
may	31	219080,645	121,8	3,193	2,536	0,657	20,59%	130
jun	30	229183,333	127,5	3,251	2,653	0,598	18,40%	130
jul	31	227838,710	126,7	2,993	2,637	0,356	11,90%	130
ago	31	239322,581	133,1	3,178	2,770	0,408	12,85%	130
sep	30	232216,667	129,2	3,251	2,688	0,563	17,32%	130
oct	31	228838,710	127,3	3,337	2,649	0,689	20,64%	130
nov	30	238983,333	132,9	3,038	2,766	0,272	8,94%	130
	Total	**2532250,614**		**36,865**	**29,308**	**7,556**	**20,50%**	
		Promedio	**128,0**					

El análisis de los datos de caudal del 2023 revela pérdidas significativas de agua en el sistema, con una brecha constante entre la macro medición (agua suministrada) y la micro medición (agua consumida), destacándose el mayor pico en abril (5.949 l/s vs 2.782 l/s), con una diferencia de pérdidas de 3.167 l/s, el cual equivale al 53.24% de agua que brinda el tanque de almacenamiento. Las pérdidas que superan en algunos meses el consumo del agua reflejan la

necesidad urgente de auditar medidores e implementar sistemas de monitoreo en tiempo real para optimizar la eficiencia del sistema, especialmente en meses de alta demanda ver *Figura 38*.

Figura 38

Relación de caudales y diferencia de pérdidas mensual (2023)



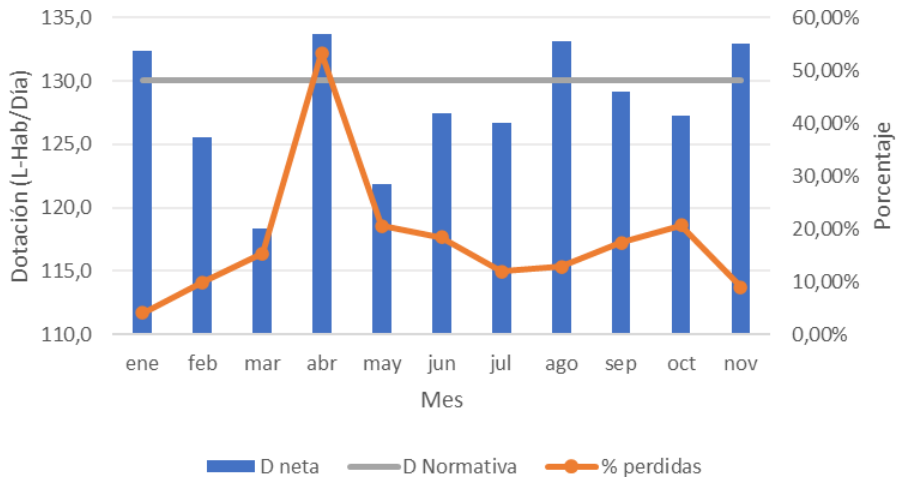
Según los datos obtenidos, la dotación neta promedio es de 128 litros/habitante/día, ver *Tabla 8*, la *Resolución 0330 de 2017* (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017), fija un valor de 130 litros/hab/día para zonas ubicadas entre 1.000 y 2.000 m.s.n.m. ver *Tabla 7*. Indica que la comunidad hace un uso adecuado del agua, pero en cuatro meses del año su consumo supera lo permitido por la norma.

La dotación bruta se determina mediante la siguiente fórmula: Dotación Neta / (1 - % de Pérdidas), lo que demuestra la relación inversamente proporcional entre la eficiencia del sistema y los recursos hídricos requeridos. Como se ilustra en la *Figura 39*, la dotación calculada se encuentra en la mayoria de meses por debajo de la dotación normativa.

El porcentaje de pérdidas de agua fluctúa mes a mes, lo que sugiere variaciones en la eficiencia del sistema de distribución. Para un análisis más detallado, es fundamental identificar las posibles fuentes de estas pérdidas como implementar monitoreo con tecnologías como sensores de presión para detectar fugas o revisar la antigüedad y material de las tuberías para priorizar renovaciones. Este cálculo evidencia que sistemas con altas pérdidas, como el caso analizado, deben captar y tratar volúmenes sustancialmente mayores de agua para cumplir con la demanda real, generando ineficiencias operativas y económicas.

Figura 39

Relación entre dotación neta y porcentaje de pérdidas



5.3. Sectorización de las redes de distribución

La red hidráulica del acueducto ACOSMI cuenta con una tubería de salida desde el tanque de almacenamiento de PVC RDE 21 de la marca Pavco de 4 pulgadas, la cual posteriormente se reduce a 3 pulgadas y luego a 2 pulgadas, siendo esta la encargada de distribuir el agua en el sector. Esta red consta con un total de 580 usuarios, 95 nodos y 8 válvulas

de corte y control en hierro y bronce. Es importante aclarar que estas 8 válvulas existentes solo funcionan para reparaciones o mantenimientos de la red porque el sistema funciona 24/7.

Para la modelación de la red de distribución, es necesario contar con un catastro de las redes existentes con sus respectivas especificaciones, antes de hacer este estudio se realizó previamente el levantamiento topográfico, (*inciso 5.1).*

El modelo digital desarrollado para la sectorización de la red de distribución de agua potable se fundamenta en la integración de datos de consumo a 24 horas. La optimización de la sectorización busca mejorar la eficiencia operativa, reducir pérdidas y garantizar un servicio continuo y equitativo a los usuarios.

Los datos utilizados en la simulación se basaron en mediciones reales de consumo, la cual se tuvieron en cuenta las macro mediciones durante los años 2019 a 2023 generando un patrón de consumo a 24 horas, (inciso 5.2.1), el catastro de redes, (inciso 5.1) y los caudales por nodos, (inciso 5.2.2). Se modelo en tiempo cero (0) la red, teniendo como resultado presiones que están entre 18.37 y 64.78 l/s ver *Figura 40*. Luego se introdujo la información del patrón de consumo, donde Epanet nos arroja mensaje de advertencia, ver *Figura 41*, indicando presiones negativas, las cuales, observando los resultados, ver *Tabla 9*, el nodo N29 entre las horas de 10:00 a.m. a 12:00 p.m. presenta presiones negativas, según la modelación.

Adicional, en la modelación de Epanet se obtuvieron los caudales de cada tubería, ver *Tabla 10.*

Figura 40

Modelación Epanet tiempo cero

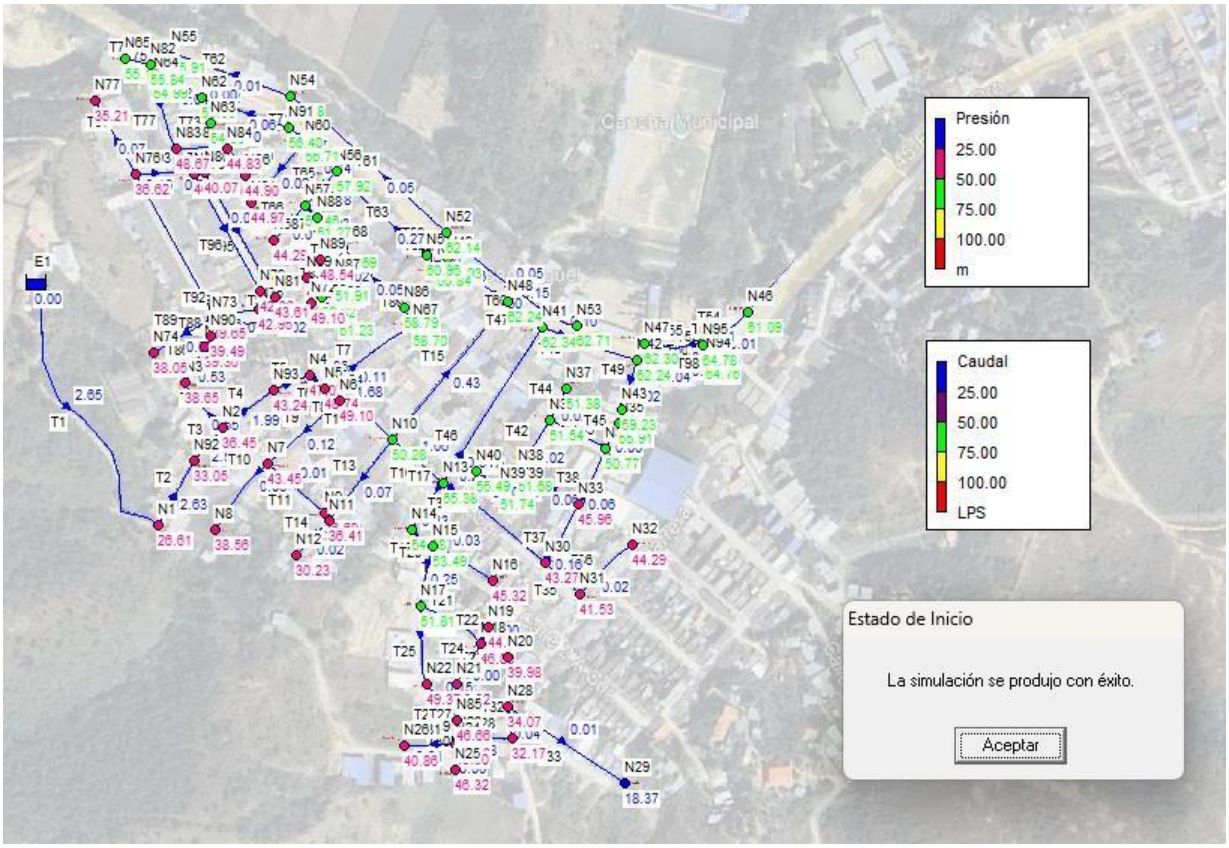


Figura 41

Análisis de Epanet con patrón de consumo

```
******************************************************************
*                        E P A N E T                             *
*               Análisis Hidráulico y de Calidad                 *
*                de Redes Hidráulicas a Presión                  *
*                      Versión 2.00.12 vE                        *
*                                                                *
*                     Traducido por:                             *
*             Universidad Politécnica de Valencia                *
*                  http://www.epanet.upv.es                      *
******************************************************************

El análisis comenzó en Lunes, 31 de Marzo de 2025 23:4
ADVERTENCIA: Presiones negativas a las 10:00:00 hrs.

ADVERTENCIA: Presiones negativas a las 11:00:00 hrs.

ADVERTENCIA: Presiones negativas a las 12:00:00 hrs.

El análisis finalizó en Lunes, 31 de Marzo de 2025 23:4
```

Tabla 9

Presiones en Epanet con patrón de consumo

		Hora																								
Nodo	**Cota**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
N1	1201	26,6	26,7	26,7	26,7	26,6	26,6	26,1	24,5	23,4	22,3	21,6	21,4	21,6	22,5	23,0	23,0	23,7	24,3	24,6	24,8	25,2	25,6	26,1	26,4	26,6
N2	1191	36,4	36,5	36,6	36,6	36,5	36,3	35,3	31,6	29,0	26,6	24,9	24,3	24,9	26,8	28,2	28,2	29,8	31,1	31,9	32,3	33,1	34,2	35,2	36,1	36,4
N3	1188	38,6	38,7	38,8	38,8	38,7	38,5	37,4	33,3	30,4	27,7	25,9	25,2	25,9	28,0	29,5	29,5	31,2	32,7	33,6	34,1	35,0	36,1	37,3	38,2	38,6
N4	1180	47,0	47,2	47,2	47,2	47,1	46,9	45,6	40,7	37,3	34,2	32,0	31,2	32,1	34,5	36,3	36,3	38,3	40,1	41,1	41,7	42,7	44,1	45,5	46,6	47,0
N5	1178	48,6	48,8	48,9	48,9	48,8	48,6	47,2	42,1	38,6	35,3	33,0	32,2	33,1	35,7	37,5	37,5	39,6	41,5	42,5	43,1	44,2	45,6	47,1	48,2	48,6
N6	1178	49,0	49,2	49,2	49,3	49,2	48,9	47,5	42,2	38,5	35,1	32,8	32,0	32,8	35,5	37,4	37,4	39,7	41,6	42,7	43,3	44,4	45,9	47,4	48,6	49,0
N7	1183	43,4	43,6	43,6	43,6	43,5	43,3	41,9	36,5	32,8	29,4	27,0	26,2	27,1	29,8	31,7	31,7	33,9	35,9	37,0	37,6	38,7	40,2	41,7	42,9	43,4
N8	1188	38,5	38,7	38,7	38,7	38,6	38,4	37,0	31,6	27,9	24,5	22,1	21,3	22,2	24,9	26,8	26,8	29,0	31,0	32,1	32,7	33,8	35,3	36,8	38,0	38,5
N9	1190	36,6	36,8	36,8	36,9	36,8	36,5	35,1	29,8	26,0	22,6	20,2	19,4	20,3	23,0	24,9	24,9	27,2	29,1	30,2	30,8	31,9	33,4	35,0	36,1	36,6
N10	1177	50,2	50,4	50,4	50,5	50,4	50,1	48,5	42,7	38,6	34,9	32,3	31,4	32,4	35,3	37,4	37,4	39,9	42,0	43,2	43,9	45,1	46,7	48,4	49,7	50,2
N11	1190	36,3	36,5	36,6	36,6	36,5	36,2	34,7	28,8	24,7	21,0	18,4	17,5	18,5	21,4	23,5	23,5	26,0	28,1	29,3	30,0	31,2	32,8	34,5	35,8	36,3
N12	1197	30,1	30,4	30,4	30,4	30,3	30,0	28,5	22,6	18,5	14,8	12,2	11,3	12,3	15,2	17,3	17,3	19,8	21,9	23,1	23,8	25,0	26,7	28,3	29,6	30,1
N13	1171	55,3	55,5	55,5	55,6	55,5	55,2	53,6	47,5	43,3	39,4	36,7	35,8	36,8	39,8	42,0	42,0	44,6	46,8	48,0	48,7	50,0	51,7	53,4	54,8	55,3
N14	1173	54,0	54,2	54,2	54,3	54,2	53,9	52,2	46,0	41,6	37,7	34,9	33,9	34,9	38,1	40,3	40,3	43,0	45,2	46,5	47,2	48,5	50,3	52,1	53,4	54,0
N15	1173	53,4	53,6	53,7	53,7	53,6	53,3	51,6	45,3	40,9	36,9	34,1	33,1	34,2	37,4	39,6	39,6	42,3	44,5	45,8	46,6	47,9	49,6	51,5	52,8	53,4
N16	1181	45,2	45,5	45,5	45,5	45,4	45,1	43,4	37,1	32,7	28,7	25,9	24,9	26,0	29,2	31,4	31,4	34,1	36,4	37,7	38,4	39,7	41,5	43,3	44,7	45,2
N17	1175	51,7	51,9	52,0	52,0	51,9	51,6	49,9	43,5	39,0	35,0	32,1	31,1	32,2	35,4	37,7	37,7	40,4	42,7	44,0	44,8	46,1	47,9	49,7	51,1	51,7
N18	1180	46,7	46,9	47,0	47,0	46,9	46,6	44,9	38,5	34,0	29,9	27,1	26,1	27,2	30,4	32,7	32,7	35,4	37,7	39,0	39,8	41,1	42,9	44,7	46,1	46,7
N19	1183	44,0	44,2	44,3	44,3	44,2	43,9	42,2	35,8	31,3	27,3	24,4	23,4	24,5	27,7	30,0	30,0	32,7	35,0	36,3	37,1	38,4	40,2	42,1	43,5	44,0
N20	1187	39,9	40,1	40,1	40,2	40,1	39,8	38,1	31,7	27,2	23,1	20,3	19,3	20,4	23,6	25,8	25,8	28,6	30,9	32,2	32,9	34,3	36,1	37,9	39,3	39,9
N21	1180	46,8	47,0	47,1	47,1	47,0	46,7	45,0	38,6	34,1	30,1	27,2	26,2	27,3	30,5	32,8	32,8	35,5	37,8	39,1	39,9	41,2	43,0	44,9	46,3	46,8
N22	1177	49,3	49,5	49,5	49,6	49,5	49,2	47,4	41,0	36,5	32,4	29,5	28,5	29,6	32,8	35,1	35,1	37,9	40,2	41,5	42,3	43,6	45,4	47,3	48,7	49,3
N23	1180	46,4	46,7	46,7	46,7	46,6	46,3	44,6	38,1	33,6	29,4	26,5	25,5	26,6	29,9	32,2	32,2	35,0	37,3	38,6	39,4	40,8	42,6	44,4	45,9	46,4
N24	1180	46,4	46,6	46,7	46,7	46,6	46,3	44,6	38,1	33,5	29,4	26,5	25,5	26,6	29,9	32,2	32,2	34,9	37,3	38,6	39,4	40,7	42,5	44,4	45,8	46,4
N25	1180	46,2	46,5	46,5	46,5	46,4	46,1	44,4	37,9	33,4	29,2	26,3	25,3	26,4	29,7	32,0	32,0	34,7	37,1	38,4	39,2	40,5	42,4	44,2	45,7	46,2

		Hora																								
Nodo	**Cota**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
N26	1186	40,7	41,0	41,0	41,1	41,0	40,7	38,9	32,4	27,9	23,8	20,9	19,9	20,9	24,2	26,5	26,5	29,3	31,6	33,0	33,7	35,1	36,9	38,8	40,2	40,7
N27	1195	32,1	32,3	32,3	32,4	32,3	32,0	30,2	23,7	19,2	15,0	12,1	11,1	12,2	15,5	17,8	17,8	20,6	22,9	24,3	25,0	26,4	28,2	30,1	31,5	32,1
N28	1193	34,0	34,2	34,2	34,3	34,2	33,9	32,1	25,6	21,1	16,9	14,0	13,0	14,1	17,4	19,7	19,7	22,5	24,8	26,2	26,9	28,3	30,1	32,0	33,4	34,0
N29	1208	18,3	18,5	18,5	18,6	18,5	18,2	16,4	9,9	5,4	1,2	-1,7	-2,7	-1,6	1,7	4,0	4,0	6,8	9,1	10,5	11,2	12,6	14,4	16,3	17,7	18,3
N30	1184	43,2	43,4	43,4	43,5	43,4	43,1	41,4	35,1	30,6	26,6	23,8	22,8	23,9	27,1	29,3	29,3	32,0	34,3	35,6	36,3	37,6	39,4	41,2	42,6	43,2
N31	1185	41,4	41,7	41,7	41,7	41,6	41,3	39,6	33,3	28,9	24,9	22,0	21,1	22,1	25,3	27,5	27,5	30,2	32,5	33,8	34,6	35,9	37,7	39,5	40,9	41,4
N32	1182	44,2	44,4	44,5	44,5	44,4	44,1	42,3	35,9	31,3	27,2	24,3	23,3	24,4	27,7	30,0	30,0	32,7	35,1	36,4	37,2	38,5	40,3	42,2	43,6	44,2
N33	1181	45,8	46,1	46,1	46,2	46,1	45,8	44,0	37,7	33,2	29,2	26,3	25,3	26,4	29,6	31,9	31,9	34,6	36,9	38,2	38,9	40,3	42,1	43,9	45,3	45,8
N34	1176	50,7	50,9	50,9	51,0	50,9	50,6	48,8	42,5	38,0	33,9	31,1	30,1	31,2	34,4	36,7	36,7	39,4	41,7	43,0	43,7	45,1	46,9	48,7	50,1	50,7
N35	1171	55,8	56,0	56,1	56,1	56,0	55,7	54,0	47,6	43,2	39,1	36,2	35,3	36,3	39,5	41,8	41,8	44,5	46,8	48,1	48,9	50,2	52,0	53,8	55,2	55,8
N36	1175	51,4	51,7	51,7	51,7	51,6	51,3	49,6	43,3	38,8	34,7	31,9	30,9	31,9	35,2	37,4	37,4	40,1	42,5	43,8	44,5	45,9	47,6	49,5	50,9	51,4
N37	1175	51,3	51,5	51,5	51,6	51,5	51,2	49,5	43,1	38,6	34,6	31,7	30,7	31,8	35,0	37,3	37,3	40,0	42,3	43,6	44,4	45,7	47,5	49,3	50,7	51,3
N38	1175	51,6	51,8	51,8	51,9	51,8	51,5	49,8	43,4	38,9	34,9	32,0	31,0	32,1	35,3	37,6	37,6	40,3	42,6	43,9	44,7	46,0	47,8	49,6	51,0	51,6
N39	1175	51,6	51,9	51,9	51,9	51,8	51,5	49,8	43,5	39,0	34,9	32,1	31,1	32,1	35,4	37,6	37,6	40,3	42,7	44,0	44,7	46,1	47,8	49,7	51,1	51,6
N40	1171	55,4	55,6	55,7	55,7	55,6	55,3	53,6	47,2	42,7	38,7	35,8	34,8	35,9	39,1	41,4	41,4	44,1	46,4	47,7	48,5	49,8	51,6	53,4	54,8	55,4
N41	1164	62,2	62,5	62,5	62,6	62,4	62,1	60,4	53,8	49,2	45,0	42,1	41,1	42,2	45,5	47,8	47,8	50,6	53,0	54,3	55,1	56,5	58,3	60,2	61,7	62,2
N42	1165	62,1	62,4	62,4	62,5	62,3	62,0	60,2	53,7	49,0	44,8	41,9	40,9	42,0	45,3	47,6	47,6	50,5	52,9	54,2	55,0	56,4	58,2	60,1	61,6	62,1
N43	1168	59,1	59,4	59,4	59,4	59,3	59,0	57,2	50,7	46,0	41,8	38,9	37,9	39,0	42,3	44,6	44,6	47,4	49,8	51,2	52,0	53,3	55,2	57,1	58,5	59,1
N44	1165	61,6	61,9	61,9	62,0	61,9	61,5	59,8	53,2	48,6	44,3	41,4	40,4	41,5	44,8	47,1	47,1	50,0	52,4	53,7	54,5	55,9	57,7	59,6	61,1	61,6
N45	1165	61,7	61,9	61,9	62,0	61,9	61,6	59,8	53,2	48,6	44,4	41,4	40,4	41,5	44,8	47,2	47,2	50,0	52,4	53,7	54,5	55,9	57,7	59,6	61,1	61,7
N46	1166	61,0	61,2	61,3	61,3	61,2	60,9	59,1	52,5	47,9	43,7	40,7	39,7	40,8	44,1	46,5	46,5	49,3	51,7	53,1	53,8	55,2	57,0	59,0	60,4	61,0
N47	1164	62,2	62,4	62,5	62,5	62,4	62,1	60,3	53,7	49,1	44,8	41,9	40,9	42,0	45,3	47,6	47,6	50,5	52,9	54,2	55,0	56,4	58,3	60,2	61,6	62,2
N48	1165	62,1	62,4	62,4	62,5	62,3	62,0	60,3	53,7	49,1	44,8	41,9	40,9	42,0	45,3	47,6	47,6	50,5	52,9	54,2	55,0	56,4	58,2	60,1	61,6	62,1
N49	1165	61,8	62,1	62,1	62,2	62,0	61,7	59,8	52,8	47,9	43,4	40,3	39,2	40,4	43,9	46,4	46,4	49,4	52,0	53,4	54,2	55,7	57,6	59,7	61,2	61,8
N50	1166	60,7	61,0	61,0	61,1	61,0	60,6	58,7	51,6	46,7	42,2	39,0	37,9	39,1	42,7	45,2	45,2	48,2	50,8	52,2	53,0	54,5	56,5	58,5	60,1	60,7
N51	1166	60,8	61,1	61,1	61,2	61,1	60,7	58,8	51,7	46,6	42,1	38,9	37,8	38,9	42,6	45,1	45,1	48,2	50,8	52,2	53,1	54,6	56,6	58,6	60,2	60,8
N52	1165	62,0	62,3	62,3	62,4	62,3	61,9	60,0	52,8	47,8	43,2	40,0	38,9	40,1	43,7	46,2	46,2	49,3	51,9	53,4	54,2	55,7	57,7	59,8	61,4	62,0
N53	1164	62,6	62,9	62,9	62,9	62,8	62,5	60,5	53,4	48,3	43,7	40,5	39,4	40,6	44,2	46,8	46,8	49,9	52,5	54,0	54,8	56,3	58,3	60,4	62,0	62,6
N54	1168	59,1	59,3	59,4	59,4	59,3	59,0	57,0	49,8	44,8	40,2	37,0	35,9	37,1	40,7	43,2	43,2	46,3	48,9	50,4	51,3	52,8	54,8	56,9	58,4	59,1

		Hora																							
Nodo	Cota	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N55	1170	56,8	57,1	57,1	57,1	57,0	56,7	54,7	47,6	42,5	37,9	34,7	33,6	34,8	38,4	41,0	41,0	44,0	46,7	48,2	49,0	50,5	52,5	54,6	56,2	56,8
N56	1169	57,8	58,1	58,1	58,2	58,0	57,7	55,7	48,3	43,2	38,4	35,1	34,0	35,2	39,0	41,6	41,6	44,7	47,4	48,9	49,8	51,3	53,4	55,5	57,2	57,8
N57	1175	51,3	51,6	51,6	51,7	51,6	51,2	49,2	41,9	36,7	32,0	28,7	27,5	28,7	32,5	35,1	35,1	38,3	40,9	42,5	43,3	44,9	46,9	49,1	50,7	51,3
N58	1182	44,2	44,4	44,5	44,5	44,4	44,0	42,1	34,7	29,5	24,8	21,5	20,3	21,6	25,3	27,9	27,9	31,1	33,8	35,3	36,1	37,7	39,8	41,9	43,5	44,2
N59	1181	45,8	46,1	46,1	46,2	46,0	45,7	43,7	36,3	31,1	26,4	23,1	22,0	23,2	26,9	29,6	29,6	32,7	35,4	36,9	37,8	39,3	41,4	43,5	45,2	45,8
N60	1170	56,6	56,9	56,9	57,0	56,8	56,5	54,5	47,1	41,9	37,2	33,9	32,7	34,0	37,7	40,3	40,3	43,5	46,2	47,7	48,6	50,1	52,2	54,3	55,9	56,6
N61	1182	44,8	45,1	45,2	45,2	45,1	44,7	42,7	35,4	30,2	25,4	22,1	21,0	22,2	26,0	28,6	28,6	31,7	34,4	36,0	36,8	38,4	40,4	42,6	44,2	44,8
N62	1171	55,8	56,1	56,1	56,1	56,0	55,7	53,7	46,3	41,1	36,3	33,0	31,9	33,1	36,9	39,5	39,5	42,6	45,3	46,9	47,7	49,3	51,4	53,5	55,1	55,8
N63	1172	54,8	55,0	55,1	55,1	55,0	54,7	52,7	45,3	40,1	35,3	32,0	30,9	32,1	35,9	38,5	38,5	41,6	44,3	45,9	46,7	48,3	50,4	52,5	54,1	54,8
N64	1172	54,9	55,1	55,2	55,2	55,1	54,8	52,8	45,3	40,2	35,4	32,1	31,0	32,2	35,9	38,6	38,6	41,7	44,4	46,0	46,8	48,4	50,4	52,6	54,2	54,9
N65	1172	55,0	55,3	55,3	55,4	55,2	54,9	52,9	45,5	40,3	35,5	32,2	31,1	32,3	36,1	38,7	38,7	41,9	44,6	46,1	46,9	48,5	50,6	52,7	54,4	55,0
N66	1182	44,8	45,1	45,1	45,1	45,0	44,7	42,7	35,3	30,1	25,3	22,0	20,9	22,1	25,9	28,5	28,5	31,6	34,3	35,9	36,7	38,3	40,4	42,5	44,1	44,8
N67	1168	58,6	58,8	58,8	58,9	58,8	58,5	57,2	52,0	48,4	45,2	42,9	42,1	42,9	45,5	47,3	47,3	49,5	51,4	52,5	53,1	54,1	55,6	57,0	58,2	58,6
N68	1171	55,6	55,8	55,8	55,9	55,8	55,5	54,1	49,0	45,4	42,1	39,8	39,0	39,9	42,5	44,3	44,3	46,5	48,4	49,4	50,0	51,1	52,5	54,0	55,2	55,6
N69	1177	50,2	50,4	50,5	50,5	50,4	50,2	48,8	43,6	40,0	36,8	34,5	33,7	34,5	37,1	38,9	38,9	41,1	43,0	44,1	44,7	45,7	47,2	48,7	49,8	50,2
N70	1176	51,1	51,3	51,4	51,4	51,3	51,1	49,7	44,5	40,9	37,7	35,4	34,6	35,4	38,0	39,8	39,8	42,0	43,9	45,0	45,6	46,6	48,1	49,6	50,7	51,1
N71	1188	39,2	39,4	39,4	39,4	39,4	39,2	38,0	33,6	30,5	27,7	25,7	25,0	25,7	28,0	29,5	29,5	31,4	33,0	33,9	34,4	35,4	36,6	37,9	38,8	39,2
N72	1178	49,0	49,2	49,2	49,2	49,2	49,0	47,8	43,4	40,3	37,4	35,5	34,8	35,5	37,8	39,3	39,3	41,2	42,8	43,7	44,2	45,2	46,4	47,7	48,6	49,0
N73	1187	39,6	39,7	39,8	39,8	39,7	39,5	38,3	33,7	30,6	27,6	25,6	24,9	25,7	28,0	29,6	29,6	31,5	33,2	34,1	34,6	35,6	36,9	38,2	39,2	39,6
N74	1189	38,0	38,1	38,2	38,2	38,1	37,9	36,7	32,1	28,9	26,0	23,9	23,2	24,0	26,3	27,9	27,9	29,9	31,5	32,5	33,0	34,0	35,3	36,6	37,6	38,0
N75	1184	42,9	43,0	43,1	43,1	43,0	42,8	41,6	37,0	33,8	30,9	28,9	28,2	28,9	31,3	32,9	32,9	34,8	36,5	37,4	37,9	38,9	40,2	41,5	42,5	42,9
N76	1190	36,5	36,7	36,8	36,8	36,7	36,5	35,1	30,1	26,5	23,3	21,0	20,2	21,1	23,6	25,4	25,4	27,6	29,4	30,5	31,1	32,1	33,5	35,0	36,1	36,5
N77	1192	35,1	35,3	35,3	35,4	35,3	35,0	33,7	28,6	25,1	21,8	19,6	18,8	19,6	22,2	24,0	24,0	26,2	28,0	29,0	29,6	30,7	32,1	33,6	34,7	35,1
N78	1187	40,0	40,2	40,2	40,3	40,2	39,9	38,6	33,5	29,9	26,7	24,4	23,6	24,5	27,0	28,8	28,8	31,0	32,9	33,9	34,5	35,6	37,0	38,5	39,6	40,0
N79	1185	42,3	42,5	42,5	42,5	42,4	42,2	40,8	35,6	31,9	28,6	26,3	25,5	26,3	29,0	30,8	30,8	33,0	34,9	36,0	36,6	37,7	39,2	40,7	41,8	42,3
N80	1187	40,0	40,2	40,2	40,2	40,2	39,9	38,5	33,4	29,8	26,5	24,3	23,5	24,3	26,9	28,7	28,7	30,9	32,8	33,8	34,4	35,5	36,9	38,4	39,5	40,0
N81	1183	43,5	43,7	43,7	43,8	43,7	43,4	42,0	36,8	33,1	29,8	27,4	26,6	27,5	30,1	32,0	32,0	34,2	36,1	37,2	37,8	38,9	40,4	41,9	43,1	43,5
N82	1171	55,7	56,0	56,0	56,1	56,0	55,6	53,6	46,2	41,0	36,3	33,0	31,8	33,0	36,8	39,4	39,4	42,6	45,3	46,8	47,7	49,2	51,3	53,4	55,1	55,7
N83	1178	48,5	48,8	48,9	48,9	48,8	48,4	46,4	39,0	33,8	29,1	25,8	24,6	25,9	29,6	32,2	32,2	35,4	38,1	39,6	40,5	42,1	44,1	46,3	47,9	48,5

		Hora																							
Nodo	**Cota**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
N84	1182	44,7	45,0	45,0	45,1	44,9	44,6	42,6	35,2	30,0	25,3	21,9	20,8	22,0	25,8	28,4	28,4	31,6	34,3	35,8	36,7	38,2	40,3	42,4	44,1	44,7
N85	1180	46,5	46,8	46,8	46,9	46,8	46,5	44,7	38,3	33,7	29,6	26,7	25,7	26,8	30,1	32,3	32,3	35,1	37,5	38,8	39,5	40,9	42,7	44,6	46,0	46,5
N86	1168	58,7	58,9	58,9	59,0	58,9	58,6	57,2	52,1	48,5	45,2	43,0	42,2	43,0	45,6	47,4	47,4	49,6	51,5	52,5	53,1	54,2	55,6	57,1	58,3	58,7
N87	1175	51,8	52,0	52,0	52,1	52,0	51,7	50,4	45,2	41,6	38,3	36,1	35,3	36,1	38,7	40,5	40,5	42,7	44,6	45,7	46,2	47,3	48,8	50,2	51,4	51,8
N88	1175	51,1	51,4	51,5	51,5	51,4	51,0	49,0	41,7	36,5	31,8	28,5	27,3	28,6	32,3	34,9	34,9	38,1	40,8	42,3	43,1	44,7	46,8	48,9	50,5	51,1
N89	1178	48,4	48,7	48,7	48,8	48,7	48,3	46,3	38,9	33,8	29,0	25,7	24,6	25,8	29,6	32,2	32,2	35,3	38,0	39,5	40,4	42,0	44,0	46,2	47,8	48,4
N90	1188	39,4	39,6	39,6	39,6	39,6	39,4	38,2	33,8	30,7	27,8	25,9	25,2	25,9	28,2	29,7	29,7	31,6	33,2	34,1	34,6	35,6	36,8	38,1	39,0	39,4
N91	1170	56,3	56,6	56,6	56,6	56,5	56,2	54,2	46,8	41,6	36,9	33,6	32,4	33,6	37,4	40,0	40,0	43,2	45,9	47,4	48,2	49,8	51,9	54,0	55,6	56,3
N92	1194	33,0	33,1	33,1	33,2	33,1	33,0	32,2	29,2	27,1	25,2	23,9	23,4	23,9	25,4	26,4	26,4	27,7	28,8	29,4	29,8	30,4	31,2	32,1	32,7	33,0
N93	1184	43,2	43,3	43,4	43,4	43,3	43,1	41,9	37,4	34,3	31,5	29,5	28,8	29,5	31,8	33,4	33,4	35,3	36,9	37,8	38,3	39,3	40,5	41,8	42,8	43,2
N94	1162	64,6	64,9	64,9	65,0	64,9	64,5	62,8	56,2	51,6	47,3	44,4	43,4	44,5	47,8	50,1	50,1	53,0	55,4	56,7	57,5	58,9	60,7	62,6	64,1	64,6
N95	1162	64,7	64,9	64,9	65,0	64,9	64,6	62,8	56,2	51,6	47,4	44,4	43,4	44,5	47,8	50,2	50,2	53,0	55,4	56,7	57,5	58,9	60,7	62,6	64,1	64,7

Tabla 10

Caudales en Epanet con patrón de consumo

	Hora																								
T	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
T1	2,84	2,44	2,39	2,31	2,49	2,97	4,93	9,33	11,56	13,31	14,42	14,80	14,40	13,12	12,17	12,17	10,92	9,76	9,04	8,62	7,80	6,58	5,06	3,58	2,84
T2	2,81	2,42	2,37	2,29	2,47	2,95	4,89	9,26	11,46	13,20	14,30	14,67	14,28	13,02	12,07	12,07	10,83	9,68	8,97	8,55	7,73	6,52	5,02	3,55	2,81
T3	2,78	2,39	2,34	2,26	2,44	2,91	4,83	9,13	11,31	13,03	14,11	14,48	14,09	12,84	11,91	11,91	10,69	9,55	8,85	8,43	7,63	6,43	4,96	3,50	2,78
T4	2,13	1,83	1,79	1,73	1,87	2,23	3,70	7,00	8,68	9,99	10,82	11,10	10,80	9,85	9,13	9,13	8,20	7,32	6,79	6,47	5,85	4,93	3,80	2,69	2,13
T5	2,09	1,80	1,76	1,70	1,84	2,19	3,64	6,89	8,53	9,83	10,65	10,92	10,63	9,69	8,98	8,98	8,06	7,20	6,67	6,36	5,75	4,85	3,74	2,64	2,09
T6	2,09	1,79	1,75	1,70	1,83	2,18	3,63	6,86	8,50	9,78	10,60	10,88	10,58	9,65	8,95	8,95	8,03	7,17	6,65	6,33	5,73	4,83	3,72	2,63	2,09
T7	0,12	0,10	0,10	0,10	0,11	0,13	0,21	0,40	0,49	0,56	0,61	0,63	0,61	0,56	0,52	0,52	0,46	0,41	0,38	0,36	0,33	0,28	0,21	0,15	0,12
T8	1,96	1,69	1,65	1,60	1,73	2,06	3,41	6,46	8,00	9,21	9,98	10,24	9,96	9,08	8,42	8,42	7,56	6,75	6,26	5,96	5,39	4,55	3,50	2,48	1,96
T9	0,13	0,11	0,11	0,11	0,11	0,14	0,23	0,43	0,53	0,61	0,66	0,68	0,66	0,60	0,56	0,56	0,50	0,45	0,41	0,39	0,36	0,30	0,23	0,16	0,13
T10	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,06	0,11	0,14	0,16	0,18	0,18	0,18	0,16	0,15	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,06	0,04	0,03
T11	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01
T12	1,80	1,54	1,51	1,46	1,58	1,88	3,12	5,91	7,32	8,42	9,13	9,36	9,11	8,30	7,70	7,70	6,91	6,17	5,72	5,45	4,93	4,16	3,20	2,26	1,80
T13	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,14	0,26	0,33	0,38	0,41	0,42	0,41	0,37	0,34	0,34	0,31	0,28	0,26	0,24	0,22	0,19	0,14	0,10	0,08
T14	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06	0,08	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
T15	0,46	0,40	0,39	0,38	0,41	0,48	0,80	1,52	1,88	2,17	2,35	2,41	2,34	2,14	1,98	1,98	1,78	1,59	1,47	1,40	1,27	1,07	0,82	0,58	0,46
T16	1,14	0,98	0,96	0,92	1,00	1,19	1,98	3,74	4,63	5,34	5,78	5,93	5,77	5,26	4,88	4,88	4,38	3,91	3,62	3,45	3,12	2,64	2,03	1,43	1,14
T17	0,38	0,32	0,32	0,31	0,33	0,39	0,65	1,24	1,53	1,76	1,91	1,96	1,91	1,74	1,61	1,61	1,45	1,29	1,20	1,14	1,03	0,87	0,67	0,47	0,38
T18	0,35	0,30	0,29	0,28	0,31	0,37	0,61	1,15	1,42	1,64	1,77	1,82	1,77	1,61	1,50	1,50	1,34	1,20	1,11	1,06	0,96	0,81	0,62	0,44	0,35
T19	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,10	0,13	0,15	0,16	0,16	0,16	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,09	0,07	0,06	0,04	0,03
T20	0,27	0,23	0,23	0,22	0,24	0,28	0,47	0,88	1,09	1,26	1,36	1,40	1,36	1,24	1,15	1,15	1,03	0,92	0,85	0,81	0,74	0,62	0,48	0,34	0,27
T21	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,08	0,14	0,18	0,21	0,22	0,23	0,22	0,20	0,19	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04
T22	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
T23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
T24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

	Hora																								
T	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
T25	0,18	0,16	0,15	0,15	0,16	0,19	0,32	0,60	0,75	0,86	0,93	0,96	0,93	0,85	0,79	0,79	0,71	0,63	0,59	0,56	0,50	0,43	0,33	0,23	0,18
T26	0,16	0,14	0,14	0,13	0,14	0,17	0,28	0,54	0,66	0,76	0,83	0,85	0,83	0,75	0,70	0,70	0,63	0,56	0,52	0,49	0,45	0,38	0,29	0,21	0,16
T27	0,15	0,13	0,13	0,12	0,13	0,16	0,27	0,50	0,62	0,72	0,78	0,80	0,78	0,71	0,66	0,66	0,59	0,53	0,49	0,46	0,42	0,35	0,27	0,19	0,15
T28	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,09	0,14	0,27	0,33	0,38	0,41	0,42	0,41	0,38	0,35	0,35	0,31	0,28	0,26	0,25	0,22	0,19	0,15	0,10	0,08
T29	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,06	0,11	0,14	0,16	0,17	0,17	0,17	0,15	0,14	0,14	0,13	0,11	0,11	0,10	0,09	0,08	0,06	0,04	0,03
T30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T31	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02
T32	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07	0,12	0,15	0,18	0,19	0,20	0,19	0,17	0,16	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,07	0,05	0,04
T33	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01
T34	0,31	0,27	0,26	0,25	0,27	0,32	0,54	1,02	1,26	1,46	1,58	1,62	1,58	1,44	1,33	1,33	1,20	1,07	0,99	0,94	0,85	0,72	0,55	0,39	0,31
T35	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,08	0,16	0,19	0,22	0,24	0,25	0,24	0,22	0,20	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,11	0,08	0,06	0,05
T36	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,06	0,07	0,08	0,09	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
T37	0,17	0,15	0,15	0,14	0,15	0,18	0,30	0,57	0,71	0,82	0,89	0,91	0,88	0,81	0,75	0,75	0,67	0,60	0,56	0,53	0,48	0,40	0,31	0,22	0,17
T38	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,11	0,21	0,26	0,30	0,32	0,33	0,32	0,29	0,27	0,27	0,24	0,22	0,20	0,19	0,17	0,15	0,11	0,08	0,06
T39	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,11	0,20	0,25	0,29	0,32	0,32	0,32	0,29	0,27	0,27	0,24	0,21	0,20	0,19	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06
T40	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
T41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
T42	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,07	0,09	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02
T43	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,09	0,12	0,13	0,15	0,15	0,15	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07	0,05	0,04	0,03
T44	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,08	0,09	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02
T45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
T46	0,36	0,31	0,30	0,29	0,32	0,38	0,63	1,19	1,48	1,70	1,84	1,89	1,84	1,68	1,55	1,55	1,40	1,25	1,15	1,10	1,00	0,84	0,65	0,46	0,36
T47	-0,16	-0,14	-0,13	-0,13	-0,14	-0,17	-0,28	-0,52	-0,65	-0,75	-0,81	-0,83	-0,81	-0,74	-0,68	-0,68	-0,61	-0,55	-0,51	-0,48	-0,44	-0,37	-0,28	-0,20	-0,16
T48	0,11	0,09	0,09	0,09	0,10	0,11	0,19	0,36	0,44	0,51	0,55	0,57	0,55	0,50	0,47	0,47	0,42	0,37	0,35	0,33	0,30	0,25	0,19	0,14	0,11
T49	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
T50	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,08	0,14	0,18	0,20	0,22	0,23	0,22	0,20	0,19	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,10	0,08	0,05	0,04
T51	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06	0,11	0,13	0,15	0,16	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,07	0,06	0,04	0,03

	Hora																								
T	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
T52	0,04	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,10	0,12	0,14	0,15	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,05	0,04	0,03
T53	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06	0,11	0,13	0,15	0,16	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,07	0,06	0,04	0,03
T54	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
T55	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
T56	0,54	0,46	0,45	0,44	0,47	0,56	0,93	1,76	2,18	2,51	2,72	2,79	2,72	2,48	2,30	2,30	2,06	1,84	1,71	1,63	1,47	1,24	0,96	0,68	0,54
T57	0,51	0,44	0,43	0,41	0,45	0,53	0,88	1,67	2,07	2,39	2,59	2,65	2,58	2,35	2,18	2,18	1,96	1,75	1,62	1,54	1,40	1,18	0,91	0,64	0,51
T58	0,50	0,43	0,42	0,41	0,44	0,52	0,87	1,64	2,04	2,34	2,54	2,61	2,54	2,31	2,14	2,14	1,92	1,72	1,59	1,52	1,37	1,16	0,89	0,63	0,50
T59	0,17	0,14	0,14	0,14	0,15	0,18	0,29	0,55	0,69	0,79	0,86	0,88	0,85	0,78	0,72	0,72	0,65	0,58	0,54	0,51	0,46	0,39	0,30	0,21	0,17
T60	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,08	0,16	0,20	0,23	0,24	0,25	0,24	0,22	0,21	0,21	0,19	0,17	0,15	0,15	0,13	0,11	0,09	0,06	0,05
T61	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,09	0,17	0,21	0,24	0,26	0,27	0,26	0,24	0,22	0,22	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,12	0,09	0,06	0,05
T62	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
T63	0,29	0,25	0,24	0,23	0,25	0,30	0,50	0,94	1,17	1,34	1,45	1,49	1,45	1,32	1,23	1,23	1,10	0,98	0,91	0,87	0,79	0,66	0,51	0,36	0,29
T64	0,15	0,13	0,12	0,12	0,13	0,15	0,25	0,48	0,59	0,68	0,74	0,76	0,74	0,67	0,62	0,62	0,56	0,50	0,46	0,44	0,40	0,34	0,26	0,18	0,15
T65	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,09	0,14	0,27	0,34	0,39	0,42	0,43	0,42	0,38	0,36	0,36	0,32	0,29	0,26	0,25	0,23	0,19	0,15	0,10	0,08
T66	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02
T67	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07	0,12	0,15	0,18	0,19	0,20	0,19	0,17	0,16	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,07	0,05	0,04
T68	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06	0,10	0,13	0,15	0,16	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,07	0,06	0,04	0,03
T69	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01
T70	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,08	0,10	0,12	0,13	0,13	0,13	0,11	0,11	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02
T71	0,08	0,07	0,07	0,06	0,07	0,08	0,14	0,26	0,32	0,37	0,40	0,41	0,40	0,37	0,34	0,34	0,30	0,27	0,25	0,24	0,22	0,18	0,14	0,10	0,08
T72	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,11	0,21	0,26	0,30	0,32	0,33	0,32	0,30	0,27	0,27	0,25	0,22	0,20	0,19	0,18	0,15	0,11	0,08	0,06
T73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
T74	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,07	0,13	0,16	0,19	0,21	0,21	0,21	0,19	0,17	0,17	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04
T75	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
T76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
T77	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06	0,08	0,09	0,09	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
T78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
T79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

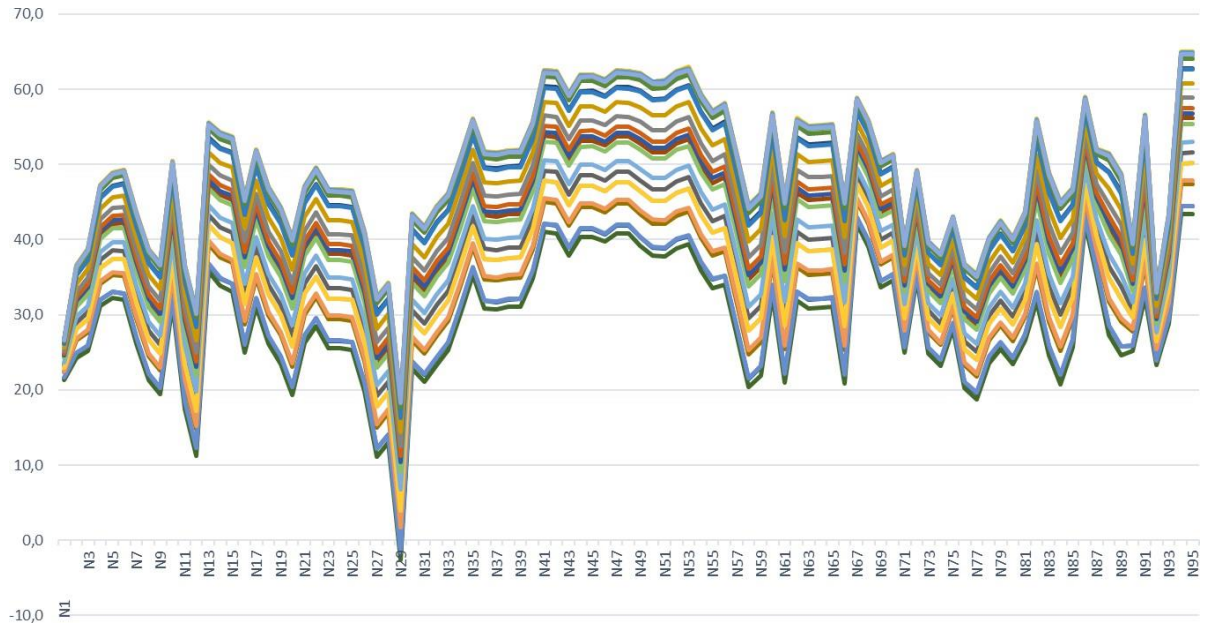
	Hora																								
T	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
T80	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,09	0,14	0,27	0,34	0,39	0,42	0,43	0,42	0,38	0,35	0,35	0,32	0,28	0,26	0,25	0,23	0,19	0,15	0,10	0,08
T81	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,09	0,16	0,20	0,24	0,25	0,26	0,25	0,23	0,22	0,22	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14	0,12	0,09	0,06	0,05
T82	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06	0,08	0,09	0,09	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
T83	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
T84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T85	0,59	0,50	0,49	0,48	0,51	0,61	1,02	1,93	2,39	2,75	2,98	3,05	2,97	2,71	2,51	2,51	2,26	2,01	1,87	1,78	1,61	1,36	1,05	0,74	0,59
T86	0,56	0,48	0,47	0,46	0,49	0,59	0,98	1,85	2,29	2,64	2,86	2,93	2,85	2,60	2,41	2,41	2,17	1,93	1,79	1,71	1,55	1,30	1,00	0,71	0,56
T87	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,08	0,16	0,20	0,22	0,24	0,25	0,24	0,22	0,21	0,21	0,18	0,16	0,15	0,15	0,13	0,11	0,09	0,06	0,05
T88	0,51	0,44	0,43	0,42	0,45	0,54	0,89	1,69	2,10	2,41	2,62	2,68	2,61	2,38	2,21	2,21	1,98	1,77	1,64	1,56	1,41	1,19	0,92	0,65	0,51
T89	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,08	0,10	0,12	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	0,11	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02
T90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
T91	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,08	0,10	0,11	0,12	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02
T92	0,38	0,33	0,32	0,31	0,34	0,40	0,67	1,26	1,56	1,80	1,95	2,00	1,94	1,77	1,64	1,64	1,48	1,32	1,22	1,16	1,05	0,89	0,68	0,48	0,38
T93	0,17	0,14	0,14	0,14	0,15	0,17	0,29	0,55	0,68	0,78	0,85	0,87	0,85	0,77	0,71	0,71	0,64	0,57	0,53	0,51	0,46	0,39	0,30	0,21	0,17
T94	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,09	0,14	0,27	0,33	0,38	0,41	0,42	0,41	0,38	0,35	0,35	0,31	0,28	0,26	0,25	0,22	0,19	0,15	0,10	0,08
T95	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,07	0,13	0,17	0,19	0,21	0,21	0,21	0,19	0,17	0,17	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04
T96	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,07	0,14	0,17	0,20	0,21	0,22	0,21	0,19	0,18	0,18	0,16	0,14	0,13	0,13	0,12	0,10	0,07	0,05	0,04
T97	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,12	0,23	0,29	0,33	0,36	0,36	0,35	0,32	0,30	0,30	0,27	0,24	0,22	0,21	0,19	0,16	0,12	0,09	0,07
T98	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00

Continuando con el análisis de información según la modelación del patrón de consumo, ver *Tabla 9*, podemos observar las presiones máximas en la hora de las 3:00 a.m. con una presión de 64.99 m.c.a. ver *Figura 43* y mínimas en la hora de las 12:00 p.m. con una presión de -1.59 m.c.a. ver *Figura 44*.

En la *Figura 42* se puede observar gráficamente el comportamiento de las presiones.

Figura 42

Gráfica de presiones máximas y mínimas



Según, la *Resolución 799 de 2021* (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021) La presión estática máxima debe ser de 50 m.c.a. Para cumplir con esta condición, la red de distribución debe estar subdividida en tantas zonas de presión como se requieran y la presión dinámica mínima en la red de distribución debe ser de 10 m.c.a. en sistemas con poblaciones de diseño de hasta 12.500 habitantes. Para poblaciones de diseño de más de 12.500 habitantes la presión dinámica mínima debe ser de 15 m.c.a. *Resolución 0330 de 2017* (Ministerio de

Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017). En base en lo anterior se realiza un análisis de la red para evaluar la solución más eficaz.

Figura 43

Presiones máximas 3:00 a.m.

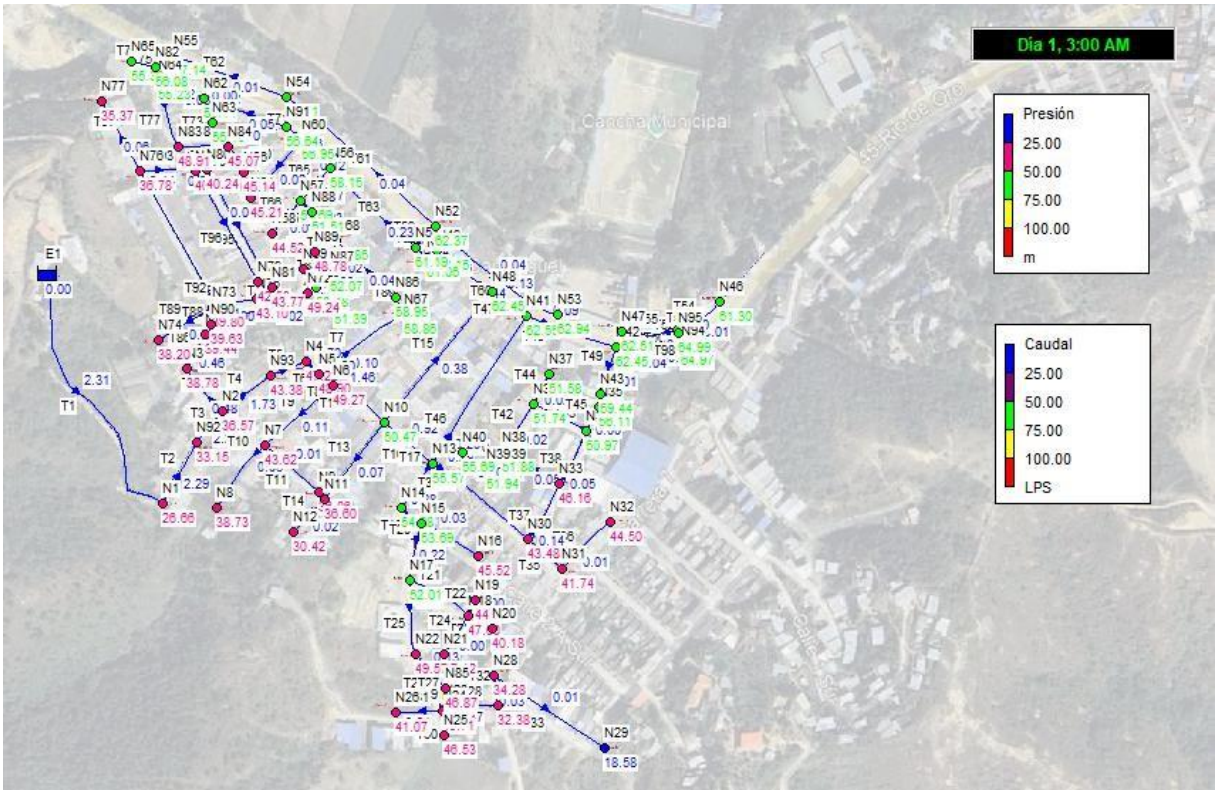
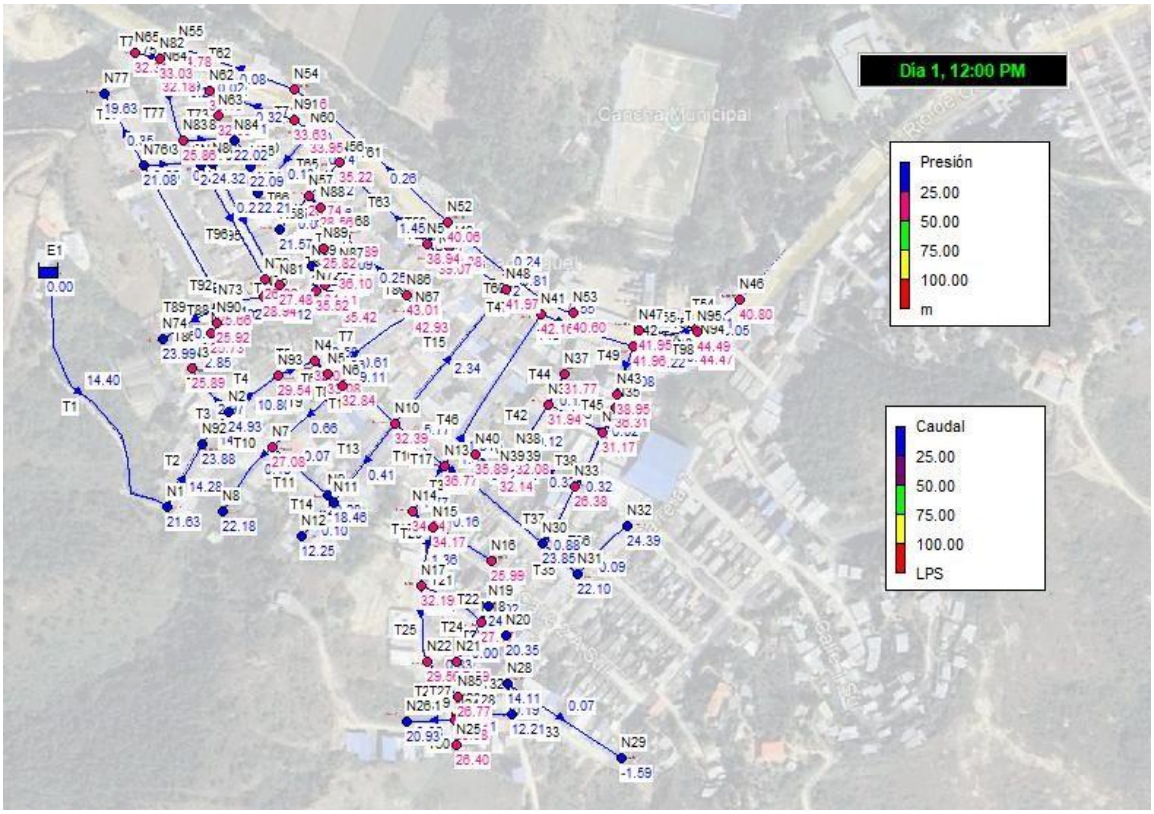


Figura 44

Presiones mínimas 12:00 p.m.

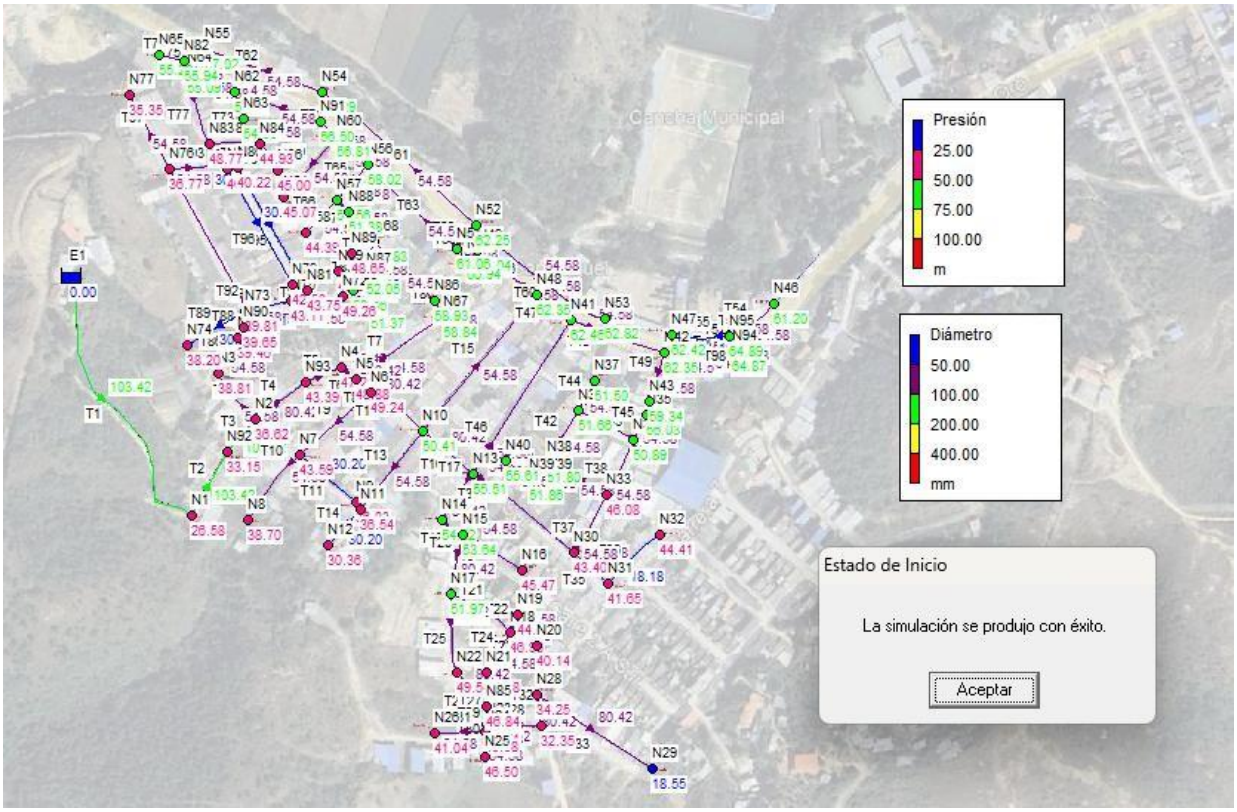


5.3.1. Análisis y soluciones de presiones

Luego de jugar con el programa y buscar la solución más conveniente se procede a cambiar las tuberías de los nodos N1-N92-N2 por tubería de 4 pulgadas y los nodos N13-N14-N15-N17-N22-N85-N23-N27-N28-29 por tubería de 3 pulgadas, lo cual nos arroja una simulación con éxito, ver *Figura 45*.

Figura 45

Modelación en Epanet con propuesta de cambio de diámetros



Las presiones mostradas en la *Tabla 11*, indica que ya no hay presiones negativas en la hora crítica de las 11:00 a.m ver *Figura 46* y aun se presentan presiones máximas en la hora 3:00 a.m ver *Figura 47.*

En la *Figura 48* se puede observar gráficamente el comportamiento de las presiones.

Se propone ubicar dos válvulas reguladoras de presión, una en el tramo N10-N48 y otra en el tramo N13-N41, para que controle los picos de presión que se presentan en los sectores S13, S14, S15, S8 y S16 y se tengan presiones menores a 50 m.c.a.

Además, se plantea la sectorización de la red de distribución, mediante la instalación de nueve válvulas adicionales a las existentes. Exclusivamente para intervenciones de mantenimiento o reparación de la red de distribución, ya sea por daños o fallos. Para ello, se elaboraron: plano de sectorización existente, ver *Figura 49* y para más detalle *Apéndice L* y propuesta de sectorización optimizada, ver *Figura 50* y para más detalle *Apéndice N*.

Figura 46

Presión mínima nueva simulación en Epanet hora 11:00 a.m

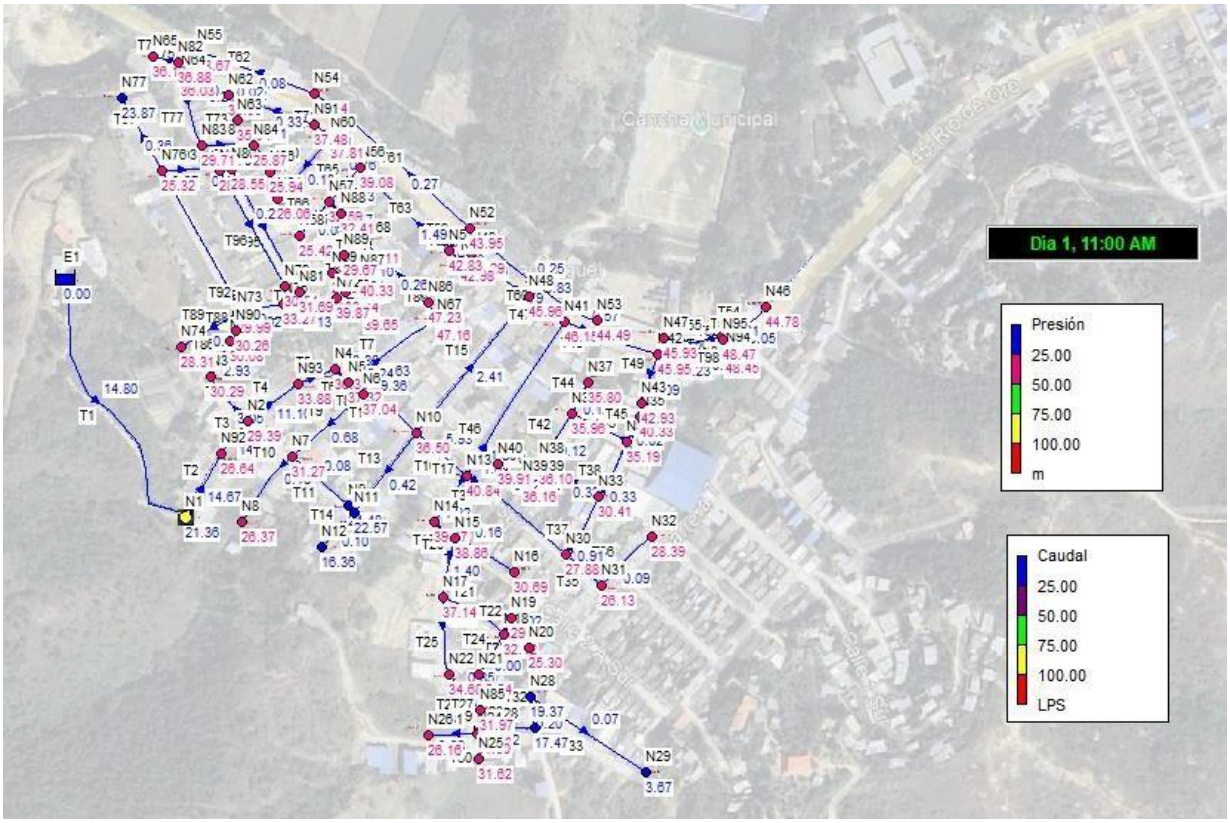


Figura 47

Presión máxima nueva simulación en Epanet hora 3:00 a.m.

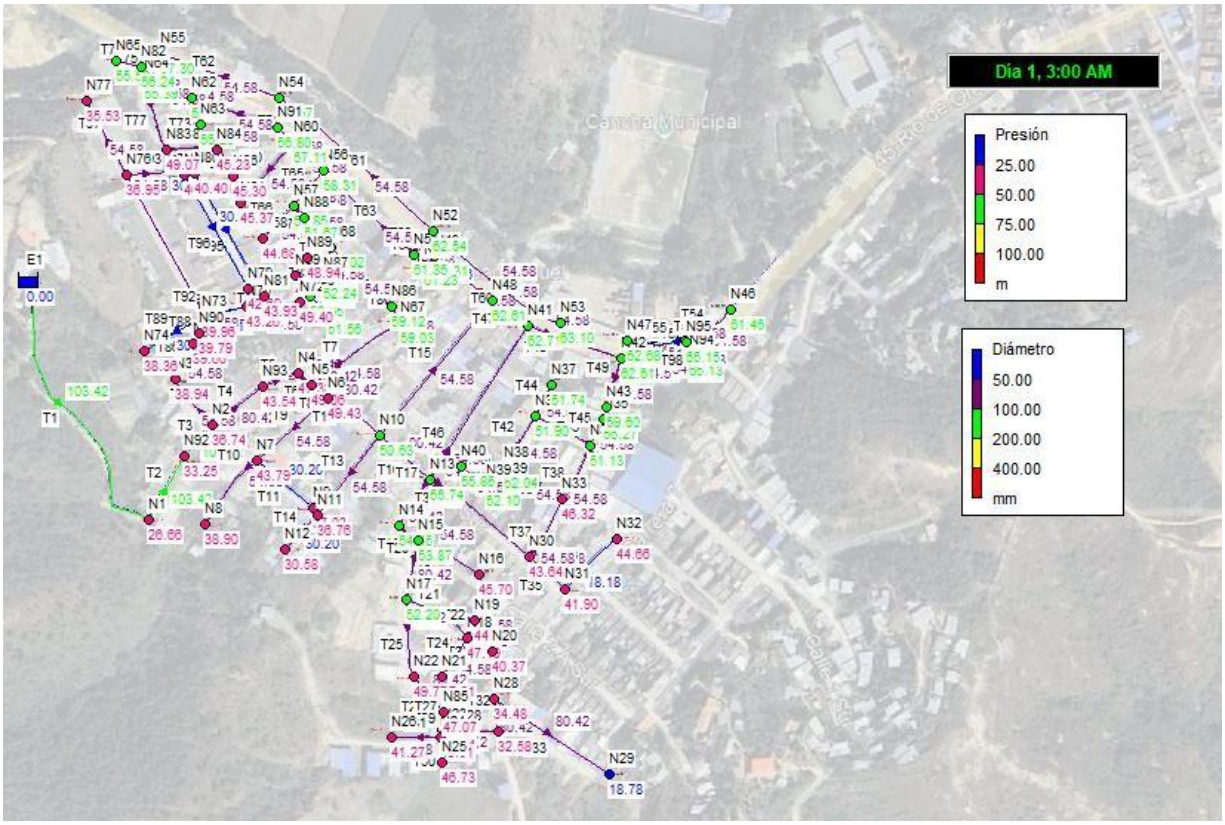


Figura 48

Gráfica de presiones máximas y mínimas

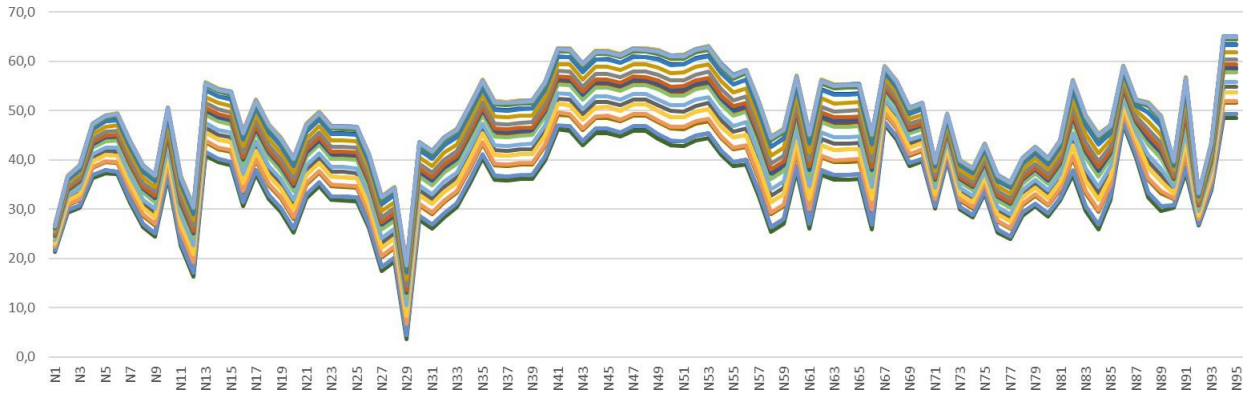


Figura 49

Plano de sectorización existente

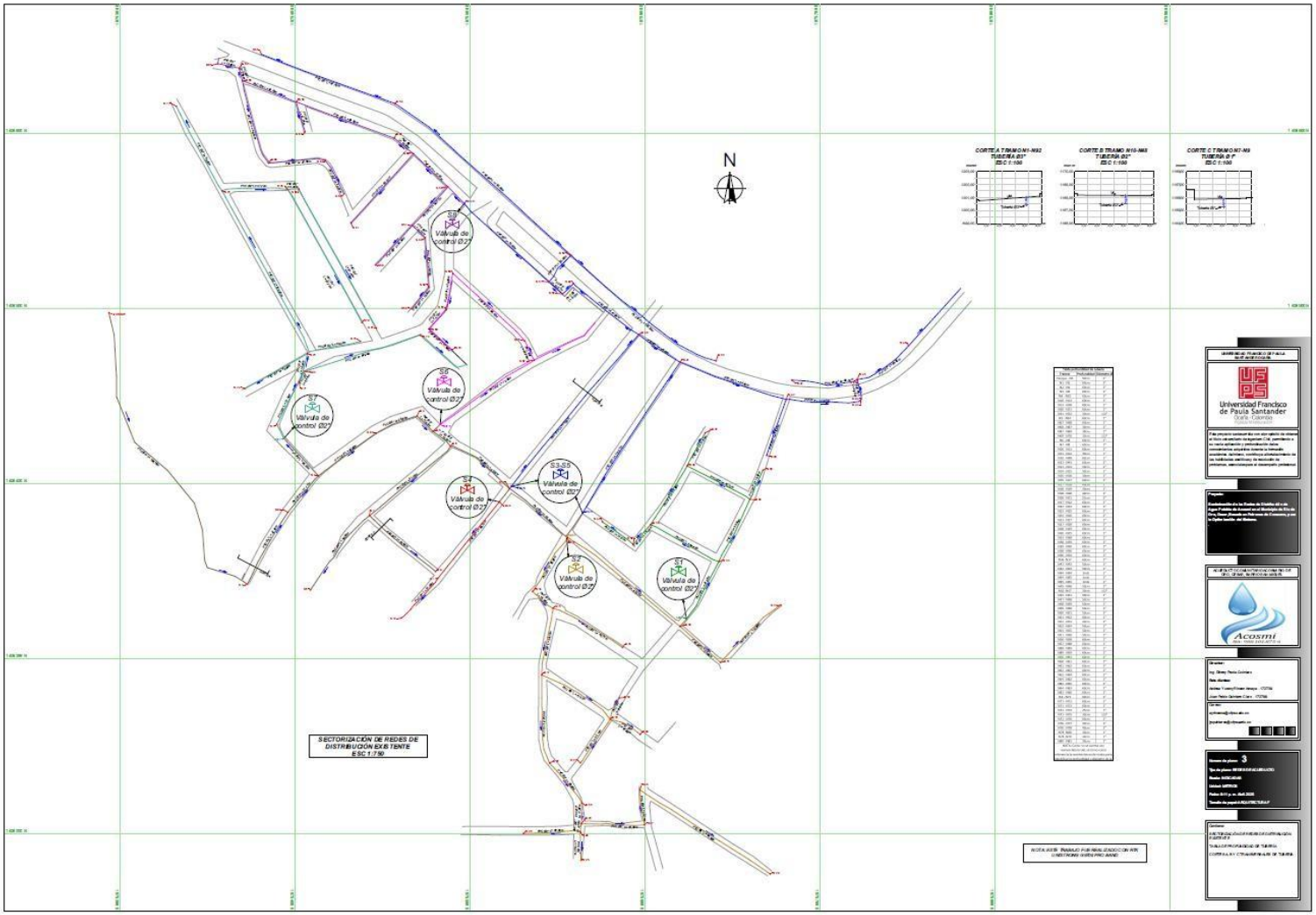


Figura 50

Plano de propuesta de sectorización

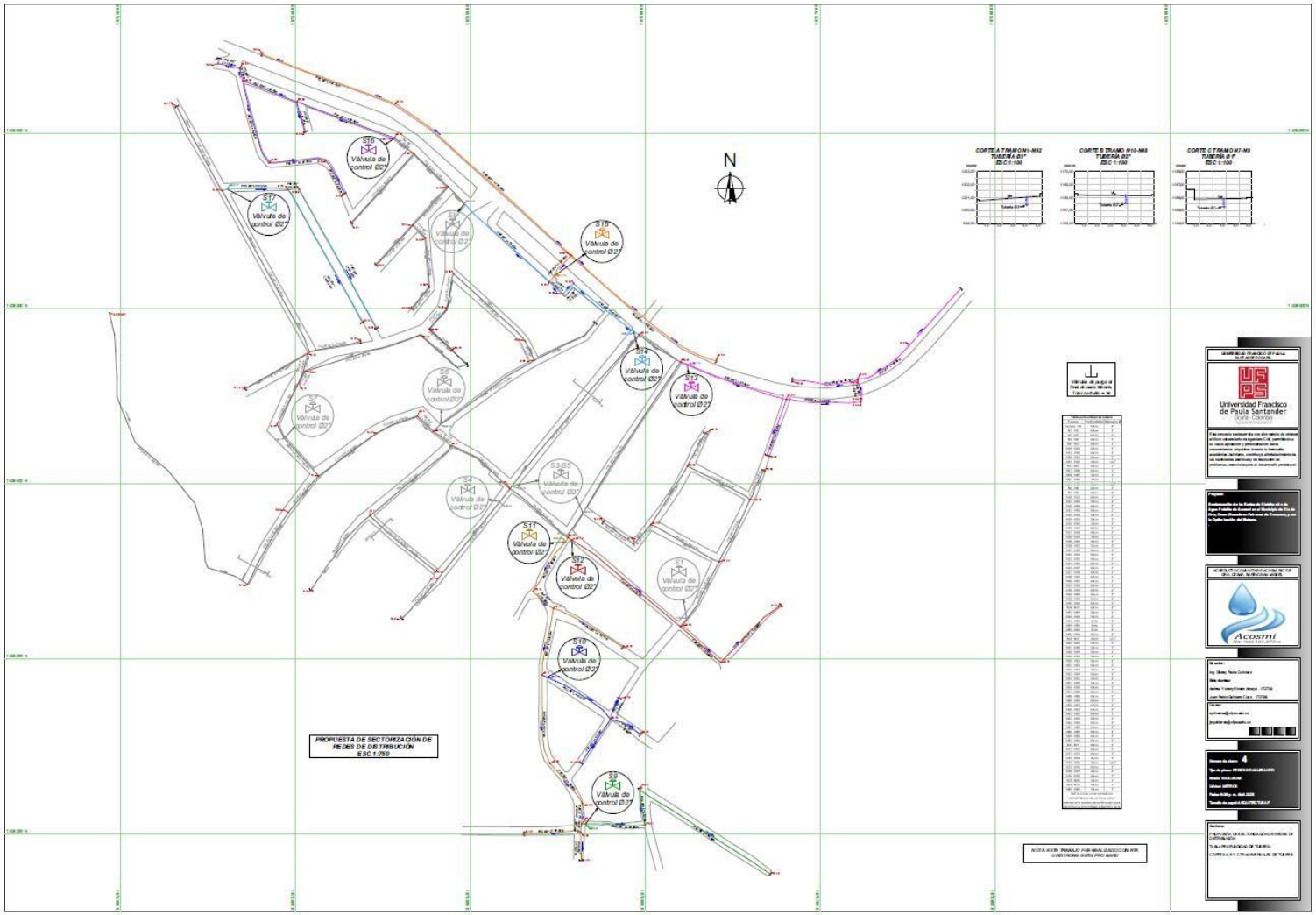


Tabla 11

Presiones nueva modelación Epanet

		Hora																								
Nodo	**Cota**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
N1	1201	26,6	26,7	26,7	26,7	26,6	26,6	26,1	24,5	23,4	22,3	21,6	21,4	21,6	22,5	23,0	23,0	23,7	24,3	24,6	24,8	25,2	25,6	26,1	26,4	26,6
N2	1191	36,6	36,7	36,7	36,7	36,7	36,6	36,0	33,7	32,2	30,7	29,7	29,4	29,8	30,9	31,7	31,7	32,7	33,5	33,9	34,2	34,7	35,3	35,9	36,4	36,6
N3	1188	38,8	38,9	38,9	38,9	38,9	38,8	38,1	35,4	33,6	31,9	30,7	30,3	30,7	32,1	33,0	33,0	34,1	35,1	35,6	35,9	36,5	37,2	38,0	38,6	38,8
N4	1180	47,2	47,3	47,4	47,4	47,3	47,2	46,3	42,9	40,5	38,4	36,9	36,3	36,9	38,6	39,8	39,8	41,2	42,5	43,2	43,6	44,3	45,2	46,2	46,9	47,2
N5	1178	48,9	49,0	49,0	49,1	49,0	48,8	47,9	44,3	41,8	39,5	37,9	37,3	37,9	39,7	41,0	41,0	42,5	43,8	44,6	45,0	45,8	46,8	47,8	48,6	48,9
N6	1178	49,2	49,4	49,4	49,4	49,4	49,2	48,2	44,4	41,7	39,3	37,6	37,0	37,7	39,6	40,9	40,9	42,5	43,9	44,7	45,1	45,9	47,0	48,1	48,9	49,2
N7	1183	43,6	43,7	43,8	43,8	43,7	43,5	42,5	38,7	36,0	33,6	31,9	31,3	31,9	33,8	35,2	35,2	36,8	38,2	39,0	39,5	40,3	41,3	42,4	43,3	43,6
N8	1188	38,7	38,9	38,9	38,9	38,8	38,7	37,6	33,8	31,1	28,7	27,0	26,4	27,0	29,0	30,3	30,3	31,9	33,3	34,1	34,6	35,4	36,4	37,5	38,4	38,7
N9	1190	36,8	37,0	37,0	37,0	37,0	36,8	35,8	31,9	29,2	26,8	25,1	24,5	25,1	27,1	28,4	28,4	30,1	31,4	32,2	32,7	33,5	34,6	35,7	36,5	36,8
N10	1177	50,4	50,6	50,6	50,6	50,6	50,4	49,2	44,9	41,9	39,1	37,2	36,5	37,2	39,4	40,9	40,9	42,8	44,4	45,2	45,7	46,6	47,9	49,1	50,1	50,4
N11	1190	36,5	36,7	36,7	36,8	36,7	36,5	35,3	31,0	28,0	25,2	23,3	22,6	23,3	25,5	27,0	27,0	28,9	30,5	31,3	31,8	32,8	34,0	35,2	36,2	36,5
N12	1197	30,4	30,5	30,6	30,6	30,5	30,3	29,1	24,8	21,8	19,0	17,0	16,4	17,1	19,3	20,8	20,8	22,7	24,3	25,2	25,7	26,6	27,8	29,0	30,0	30,4
N13	1171	55,5	55,7	55,7	55,7	55,7	55,4	54,2	49,7	46,5	43,6	41,6	40,8	41,6	43,9	45,5	45,5	47,5	49,1	50,1	50,6	51,5	52,8	54,1	55,1	55,5
N14	1173	54,2	54,4	54,4	54,5	54,4	54,2	52,9	48,4	45,2	42,2	40,2	39,5	40,2	42,6	44,2	44,2	46,1	47,8	48,7	49,3	50,2	51,5	52,8	53,8	54,2
N15	1173	53,6	53,8	53,8	53,9	53,8	53,6	52,3	47,8	44,6	41,6	39,6	38,9	39,6	42,0	43,6	43,6	45,5	47,2	48,1	48,7	49,6	50,9	52,2	53,3	53,6
N16	1181	45,5	45,7	45,7	45,7	45,6	45,4	44,2	39,6	36,4	33,5	31,4	30,7	31,5	33,8	35,4	35,4	37,4	39,0	40,0	40,5	41,5	42,7	44,1	45,1	45,5
N17	1175	52,0	52,2	52,2	52,2	52,1	51,9	50,7	46,1	42,9	39,9	37,9	37,1	37,9	40,2	41,9	41,9	43,8	45,5	46,5	47,0	48,0	49,2	50,6	51,6	52,0
N18	1180	47,0	47,1	47,2	47,2	47,1	46,9	45,7	41,1	37,8	34,9	32,8	32,1	32,9	35,2	36,9	36,9	38,8	40,5	41,4	42,0	42,9	44,2	45,6	46,6	47,0
N19	1183	44,3	44,5	44,5	44,5	44,4	44,2	43,0	38,4	35,2	32,2	30,2	29,4	30,2	32,5	34,2	34,2	36,1	37,8	38,8	39,3	40,3	41,5	42,9	43,9	44,3
N20	1187	40,1	40,3	40,3	40,4	40,3	40,1	38,8	34,2	31,0	28,1	26,0	25,3	26,1	28,4	30,0	30,0	32,0	33,7	34,6	35,2	36,1	37,4	38,7	39,8	40,1
N21	1180	47,1	47,3	47,3	47,3	47,2	47,0	45,8	41,2	38,0	35,0	33,0	32,2	33,0	35,3	37,0	37,0	38,9	40,6	41,6	42,1	43,1	44,3	45,7	46,7	47,1
N22	1177	49,5	49,7	49,7	49,8	49,7	49,5	48,2	43,6	40,4	37,5	35,4	34,7	35,5	37,8	39,4	39,4	41,4	43,1	44,0	44,5	45,5	46,8	48,1	49,1	49,5
N23	1180	46,7	46,9	46,9	46,9	46,9	46,6	45,4	40,8	37,6	34,6	32,6	31,8	32,6	34,9	36,6	36,6	38,5	40,2	41,2	41,7	42,7	44,0	45,3	46,3	46,7
N24	1180	46,7	46,9	46,9	46,9	46,8	46,6	45,4	40,8	37,5	34,6	32,5	31,8	32,6	34,9	36,5	36,5	38,5	40,2	41,1	41,7	42,7	43,9	45,3	46,3	46,7
N25	1180	46,5	46,7	46,7	46,7	46,7	46,4	45,2	40,6	37,4	34,4	32,3	31,6	32,4	34,7	36,4	36,4	38,3	40,0	41,0	41,5	42,5	43,8	45,1	46,1	46,5

		Hora																								
Nodo	**Cota**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
N26	1186	41,0	41,2	41,2	41,3	41,2	41,0	39,7	35,1	31,9	28,9	26,9	26,2	26,9	29,3	30,9	30,9	32,9	34,6	35,5	36,0	37,0	38,3	39,6	40,6	41,0
N27	1195	32,4	32,5	32,6	32,6	32,5	32,3	31,0	26,4	23,2	20,3	18,2	17,5	18,2	20,6	22,2	22,2	24,2	25,9	26,8	27,3	28,3	29,6	30,9	32,0	32,4
N28	1193	34,3	34,4	34,5	34,5	34,4	34,2	32,9	28,3	25,1	22,1	20,1	19,4	20,1	22,5	24,1	24,1	26,1	27,8	28,7	29,2	30,2	31,5	32,8	33,9	34,3
N29	1208	18,6	18,7	18,8	18,8	18,7	18,5	17,2	12,6	9,4	6,4	4,4	3,7	4,4	6,8	8,4	8,4	10,4	12,1	13,0	13,5	14,5	15,8	17,1	18,2	18,6
N30	1184	43,4	43,6	43,6	43,6	43,6	43,3	42,0	37,2	33,9	30,8	28,6	27,9	28,7	31,1	32,8	32,8	34,9	36,6	37,6	38,2	39,2	40,5	41,9	43,0	43,4
N31	1185	41,7	41,8	41,9	41,9	41,8	41,6	40,3	35,5	32,1	29,0	26,9	26,1	26,9	29,4	31,1	31,1	33,1	34,9	35,9	36,4	37,5	38,8	40,2	41,2	41,7
N32	1182	44,4	44,6	44,6	44,7	44,6	44,3	43,0	38,0	34,6	31,4	29,2	28,4	29,2	31,7	33,5	33,5	35,6	37,4	38,5	39,0	40,1	41,5	42,9	44,0	44,4
N33	1181	46,1	46,3	46,3	46,3	46,2	46,0	44,7	39,8	36,4	33,3	31,2	30,4	31,2	33,7	35,4	35,4	37,5	39,2	40,2	40,8	41,8	43,2	44,6	45,7	46,1
N34	1176	50,9	51,1	51,1	51,1	51,1	50,8	49,5	44,7	41,2	38,1	36,0	35,2	36,0	38,5	40,2	40,2	42,3	44,0	45,1	45,6	46,6	48,0	49,4	50,5	50,9
N35	1171	56,0	56,2	56,2	56,3	56,2	56,0	54,7	49,8	46,4	43,3	41,1	40,3	41,1	43,6	45,3	45,3	47,4	49,2	50,2	50,8	51,8	53,1	54,5	55,6	56,0
N36	1175	51,7	51,9	51,9	51,9	51,8	51,6	50,3	45,4	42,0	38,9	36,7	36,0	36,8	39,2	41,0	41,0	43,0	44,8	45,8	46,4	47,4	48,8	50,2	51,2	51,7
N37	1175	51,5	51,7	51,7	51,7	51,7	51,4	50,1	45,3	41,8	38,7	36,6	35,8	36,6	39,1	40,8	40,8	42,9	44,7	45,7	46,2	47,2	48,6	50,0	51,1	51,5
N38	1175	51,8	52,0	52,0	52,0	52,0	51,7	50,4	45,6	42,1	39,0	36,9	36,1	36,9	39,4	41,1	41,1	43,2	45,0	46,0	46,5	47,5	48,9	50,3	51,4	51,8
N39	1175	51,9	52,1	52,1	52,1	52,0	51,8	50,5	45,6	42,2	39,1	36,9	36,2	37,0	39,4	41,2	41,2	43,2	45,0	46,0	46,6	47,6	49,0	50,4	51,4	51,9
N40	1171	55,6	55,8	55,8	55,9	55,8	55,5	54,2	49,4	46,0	42,8	40,7	39,9	40,7	43,2	44,9	44,9	47,0	48,8	49,8	50,3	51,4	52,7	54,1	55,2	55,6
N41	1164	62,5	62,7	62,7	62,7	62,6	62,4	61,0	56,0	52,4	49,2	46,9	46,2	47,0	49,6	51,3	51,3	53,5	55,3	56,4	57,0	58,0	59,5	60,9	62,0	62,5
N42	1165	62,4	62,6	62,6	62,6	62,5	62,3	60,9	55,8	52,3	49,0	46,7	46,0	46,8	49,4	51,2	51,2	53,3	55,2	56,3	56,8	57,9	59,3	60,8	61,9	62,4
N43	1168	59,3	59,5	59,6	59,6	59,5	59,3	57,9	52,8	49,3	46,0	43,7	42,9	43,8	46,4	48,2	48,2	50,3	52,2	53,2	53,8	54,9	56,3	57,8	58,9	59,3
N44	1165	61,9	62,1	62,1	62,1	62,0	61,8	60,4	55,3	51,8	48,5	46,3	45,5	46,3	48,9	50,7	50,7	52,9	54,7	55,8	56,4	57,4	58,8	60,3	61,4	61,9
N45	1165	61,9	62,1	62,1	62,2	62,1	61,8	60,5	55,4	51,8	48,5	46,3	45,5	46,3	48,9	50,7	50,7	52,9	54,7	55,8	56,4	57,4	58,9	60,3	61,5	61,9
N46	1166	61,2	61,4	61,4	61,5	61,4	61,1	59,8	54,7	51,1	47,9	45,6	44,8	45,6	48,2	50,0	50,0	52,2	54,0	55,1	55,7	56,8	58,2	59,6	60,8	61,2
N47	1164	62,4	62,6	62,6	62,7	62,6	62,4	61,0	55,9	52,3	49,0	46,7	45,9	46,8	49,4	51,2	51,2	53,4	55,2	56,3	56,9	58,0	59,4	60,9	62,0	62,4
N48	1165	62,4	62,6	62,6	62,6	62,5	62,3	60,9	55,8	52,3	49,0	46,8	46,0	46,8	49,4	51,2	51,2	53,4	55,2	56,3	56,8	57,9	59,3	60,8	61,9	62,4
N49	1165	62,0	62,3	62,3	62,3	62,2	62,0	60,5	55,0	51,1	47,6	45,2	44,3	45,2	48,0	49,9	49,9	52,3	54,3	55,4	56,1	57,2	58,8	60,4	61,6	62,0
N50	1166	60,9	61,2	61,2	61,2	61,1	60,9	59,4	53,8	49,9	46,3	43,8	43,0	43,9	46,7	48,7	48,7	51,1	53,1	54,3	54,9	56,1	57,6	59,2	60,5	60,9
N51	1166	61,1	61,3	61,3	61,4	61,3	61,0	59,5	53,8	49,9	46,2	43,7	42,8	43,8	46,6	48,6	48,6	51,1	53,1	54,3	54,9	56,1	57,7	59,3	60,6	61,1
N52	1165	62,3	62,5	62,5	62,5	62,4	62,2	60,6	55,0	51,0	47,4	44,8	44,0	44,9	47,8	49,8	49,8	52,2	54,3	55,4	56,1	57,3	58,9	60,5	61,8	62,3
N53	1164	62,8	63,0	63,1	63,1	63,0	62,7	61,2	55,5	51,5	47,9	45,4	44,5	45,4	48,3	50,3	50,3	52,8	54,8	56,0	56,7	57,9	59,4	61,1	62,3	62,8
N54	1168	59,3	59,5	59,5	59,6	59,5	59,2	57,7	52,0	48,0	44,4	41,8	40,9	41,9	44,8	46,8	46,8	49,2	51,3	52,5	53,1	54,3	55,9	57,6	58,8	59,3

		Hora																								
Nodo	**Cota**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
N55	1170	57,0	57,2	57,3	57,3	57,2	56,9	55,4	49,7	45,7	42,1	39,6	38,7	39,6	42,5	44,5	44,5	46,9	49,0	50,2	50,9	52,0	53,6	55,3	56,5	57,0
N56	1169	58,0	58,2	58,3	58,3	58,2	57,9	56,4	50,5	46,4	42,6	40,0	39,1	40,1	43,0	45,1	45,1	47,6	49,8	51,0	51,7	52,9	54,5	56,2	57,5	58,0
N57	1175	51,6	51,8	51,8	51,9	51,8	51,5	49,9	44,0	39,9	36,1	33,5	32,6	33,6	36,6	38,6	38,6	41,1	43,3	44,5	45,2	46,4	48,1	49,8	51,1	51,6
N58	1182	44,4	44,6	44,6	44,7	44,6	44,3	42,7	36,8	32,7	29,0	26,3	25,4	26,4	29,4	31,5	31,5	34,0	36,1	37,3	38,0	39,3	40,9	42,6	43,9	44,4
N59	1181	46,0	46,3	46,3	46,3	46,2	45,9	44,4	38,5	34,4	30,6	28,0	27,1	28,0	31,0	33,1	33,1	35,6	37,8	39,0	39,6	40,9	42,5	44,2	45,5	46,0
N60	1170	56,8	57,0	57,1	57,1	57,0	56,7	55,1	49,3	45,1	41,4	38,7	37,8	38,8	41,8	43,9	43,9	46,4	48,5	49,7	50,4	51,7	53,3	55,0	56,3	56,8
N61	1182	45,1	45,3	45,3	45,4	45,3	45,0	43,4	37,5	33,4	29,6	27,0	26,1	27,0	30,0	32,1	32,1	34,6	36,8	38,0	38,7	39,9	41,6	43,3	44,6	45,1
N62	1171	56,0	56,2	56,3	56,3	56,2	55,9	54,3	48,4	44,3	40,5	37,9	37,0	37,9	40,9	43,0	43,0	45,5	47,7	48,9	49,6	50,8	52,5	54,2	55,5	56,0
N63	1172	55,0	55,2	55,3	55,3	55,2	54,9	53,3	47,4	43,3	39,5	36,9	35,9	36,9	39,9	42,0	42,0	44,5	46,7	47,9	48,6	49,8	51,5	53,2	54,5	55,0
N64	1172	55,1	55,3	55,4	55,4	55,3	55,0	53,4	47,5	43,4	39,6	37,0	36,0	37,0	40,0	42,1	42,1	44,6	46,8	48,0	48,7	49,9	51,6	53,3	54,6	55,1
N65	1172	55,2	55,5	55,5	55,5	55,4	55,1	53,6	47,6	43,5	39,7	37,1	36,2	37,2	40,1	42,2	42,2	44,8	46,9	48,1	48,8	50,1	51,7	53,4	54,7	55,2
N66	1182	45,0	45,2	45,3	45,3	45,2	44,9	43,3	37,4	33,3	29,5	26,9	25,9	26,9	29,9	32,0	32,0	34,5	36,7	37,9	38,6	39,8	41,5	43,2	44,5	45,0
N67	1168	58,8	59,0	59,0	59,0	59,0	58,8	57,8	54,2	51,7	49,3	47,7	47,2	47,8	49,6	50,9	50,9	52,4	53,8	54,5	54,9	55,7	56,7	57,7	58,5	58,8
N68	1171	55,8	56,0	56,0	56,0	56,0	55,8	54,8	51,2	48,6	46,3	44,7	44,1	44,7	46,6	47,9	47,9	49,4	50,7	51,5	51,9	52,7	53,7	54,7	55,5	55,8
N69	1177	50,5	50,6	50,6	50,7	50,6	50,4	49,4	45,8	43,3	40,9	39,3	38,7	39,3	41,2	42,5	42,5	44,0	45,4	46,1	46,5	47,3	48,3	49,4	50,2	50,5
N70	1176	51,4	51,5	51,5	51,6	51,5	51,3	50,3	46,7	44,2	41,8	40,2	39,7	40,3	42,1	43,4	43,4	44,9	46,3	47,0	47,4	48,2	49,2	50,3	51,1	51,4
N71	1188	39,5	39,6	39,6	39,6	39,6	39,4	38,6	35,7	33,7	31,8	30,5	30,1	30,6	32,0	33,1	33,1	34,3	35,4	36,0	36,3	36,9	37,7	38,6	39,2	39,5
N72	1178	49,3	49,4	49,4	49,4	49,4	49,2	48,4	45,5	43,5	41,6	40,3	39,9	40,4	41,8	42,9	42,9	44,1	45,2	45,8	46,1	46,7	47,5	48,4	49,0	49,3
N73	1187	39,8	39,9	39,9	40,0	39,9	39,8	38,9	35,9	33,8	31,8	30,5	30,0	30,5	32,0	33,1	33,1	34,4	35,5	36,2	36,5	37,2	38,0	38,9	39,6	39,8
N74	1189	38,2	38,3	38,3	38,4	38,3	38,2	37,3	34,3	32,1	30,2	28,8	28,3	28,8	30,4	31,5	31,5	32,8	33,9	34,5	34,9	35,5	36,4	37,3	37,9	38,2
N75	1184	43,1	43,2	43,2	43,3	43,2	43,1	42,2	39,2	37,1	35,1	33,7	33,3	33,8	35,3	36,4	36,4	37,7	38,8	39,4	39,8	40,4	41,3	42,2	42,8	43,1
N76	1190	36,8	36,9	36,9	37,0	36,9	36,7	35,8	32,2	29,7	27,5	25,9	25,3	25,9	27,7	29,0	29,0	30,5	31,8	32,5	32,9	33,7	34,7	35,7	36,5	36,8
N77	1192	35,4	35,5	35,5	35,5	35,5	35,3	34,3	30,8	28,3	26,0	24,4	23,9	24,5	26,3	27,5	27,5	29,1	30,4	31,1	31,5	32,2	33,2	34,3	35,1	35,4
N78	1187	40,3	40,4	40,4	40,4	40,4	40,2	39,2	35,7	33,1	30,8	29,2	28,7	29,3	31,1	32,4	32,4	33,9	35,2	35,9	36,4	37,1	38,1	39,2	39,9	40,3
N79	1185	42,5	42,6	42,7	42,7	42,6	42,5	41,5	37,7	35,1	32,8	31,1	30,5	31,2	33,0	34,4	34,4	35,9	37,3	38,1	38,5	39,3	40,3	41,4	42,2	42,5
N80	1187	40,2	40,4	40,4	40,4	40,3	40,2	39,2	35,6	33,0	30,7	29,1	28,6	29,2	31,0	32,3	32,3	33,8	35,1	35,9	36,3	37,1	38,1	39,1	39,9	40,2
N81	1183	43,8	43,9	43,9	43,9	43,9	43,7	42,7	39,0	36,3	33,9	32,3	31,7	32,3	34,2	35,5	35,5	37,1	38,5	39,3	39,7	40,5	41,5	42,6	43,4	43,8
N82	1171	55,9	56,2	56,2	56,2	56,1	55,9	54,3	48,4	44,2	40,4	37,8	36,9	37,9	40,9	43,0	43,0	45,5	47,6	48,9	49,5	50,8	52,4	54,1	55,4	55,9
N83	1178	48,8	49,0	49,0	49,1	49,0	48,7	47,1	41,2	37,0	33,3	30,6	29,7	30,7	33,7	35,8	35,8	38,3	40,5	41,7	42,4	43,6	45,3	47,0	48,3	48,8

		Hora																								
Nodo	**Cota**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
N84	1182	44,9	45,2	45,2	45,2	45,1	44,9	43,3	37,4	33,2	29,4	26,8	25,9	26,9	29,9	31,9	31,9	34,5	36,6	37,8	38,5	39,8	41,4	43,1	44,4	44,9
N85	1180	46,8	47,0	47,0	47,1	47,0	46,8	45,5	40,9	37,7	34,7	32,7	32,0	32,7	35,1	36,7	36,7	38,7	40,4	41,3	41,8	42,8	44,1	45,4	46,4	46,8
N86	1168	58,9	59,1	59,1	59,1	59,1	58,9	57,9	54,3	51,7	49,4	47,8	47,2	47,8	49,7	51,0	51,0	52,5	53,8	54,6	55,0	55,8	56,8	57,8	58,6	58,9
N87	1175	52,1	52,2	52,2	52,2	52,2	52,0	51,0	47,4	44,8	42,5	40,9	40,3	40,9	42,8	44,1	44,1	45,6	46,9	47,7	48,1	48,9	49,9	50,9	51,7	52,1
N88	1175	51,4	51,6	51,6	51,7	51,6	51,3	49,7	43,8	39,7	36,0	33,3	32,4	33,4	36,4	38,5	38,5	41,0	43,1	44,3	45,0	46,2	47,9	49,6	50,9	51,4
N89	1178	48,7	48,9	48,9	48,9	48,8	48,6	47,0	41,1	37,0	33,2	30,6	29,7	30,7	33,6	35,7	35,7	38,2	40,4	41,6	42,3	43,5	45,2	46,9	48,1	48,7
N90	1188	39,7	39,8	39,8	39,8	39,8	39,6	38,8	35,9	33,9	32,0	30,7	30,3	30,8	32,2	33,3	33,3	34,5	35,6	36,2	36,5	37,1	37,9	38,8	39,4	39,7
N91	1170	56,5	56,7	56,8	56,8	56,7	56,4	54,8	48,9	44,8	41,0	38,4	37,5	38,5	41,5	43,5	43,5	46,1	48,2	49,4	50,1	51,4	53,0	54,7	56,0	56,5
N92	1194	33,2	33,2	33,2	33,3	33,2	33,1	32,6	30,6	29,1	27,9	27,0	26,6	27,0	28,0	28,7	28,7	29,6	30,3	30,7	31,0	31,4	32,0	32,5	33,0	33,2
N93	1184	43,4	43,5	43,5	43,5	43,5	43,4	42,6	39,6	37,5	35,7	34,3	33,9	34,4	35,9	36,9	36,9	38,2	39,3	39,9	40,2	40,8	41,6	42,5	43,1	43,4
N94	1162	64,9	65,1	65,1	65,1	65,0	64,8	63,4	58,3	54,8	51,5	49,2	48,5	49,3	51,9	53,7	53,7	55,9	57,7	58,8	59,4	60,4	61,8	63,3	64,4	64,9
N95	1162	64,9	65,1	65,1	65,2	65,1	64,8	63,5	58,4	54,8	51,5	49,3	48,5	49,3	51,9	53,7	53,7	55,9	57,7	58,8	59,4	60,4	61,9	63,3	64,5	64,9

Tabla 12

Caudales nueva modelación Epanet

	Hora																								
T	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
T1	2,84	2,44	2,39	2,31	2,49	2,97	4,93	9,33	11,56	13,31	14,42	14,80	14,40	13,12	12,17	12,17	10,92	9,76	9,04	8,62	7,80	6,58	5,06	3,58	2,84
T2	2,81	2,42	2,37	2,29	2,47	2,95	4,89	9,26	11,46	13,20	14,30	14,67	14,28	13,02	12,07	12,07	10,83	9,68	8,97	8,55	7,73	6,52	5,02	3,55	2,81
T3	2,78	2,39	2,34	2,26	2,44	2,91	4,83	9,13	11,31	13,03	14,11	14,48	14,09	12,84	11,91	11,91	10,69	9,55	8,85	8,43	7,63	6,43	4,96	3,50	2,78
T4	2,13	1,83	1,79	1,73	1,87	2,23	3,70	7,00	8,68	9,99	10,82	11,10	10,80	9,85	9,13	9,13	8,20	7,32	6,79	6,47	5,85	4,93	3,80	2,69	2,13
T5	2,09	1,80	1,76	1,70	1,84	2,19	3,64	6,89	8,53	9,83	10,65	10,92	10,63	9,69	8,98	8,98	8,06	7,20	6,67	6,36	5,75	4,85	3,74	2,64	2,09
T6	2,09	1,79	1,75	1,70	1,83	2,18	3,63	6,86	8,50	9,78	10,60	10,88	10,58	9,65	8,95	8,95	8,03	7,17	6,65	6,33	5,73	4,83	3,72	2,63	2,09
T7	0,12	0,10	0,10	0,10	0,11	0,13	0,21	0,40	0,49	0,56	0,61	0,63	0,61	0,56	0,52	0,52	0,46	0,41	0,38	0,36	0,33	0,28	0,21	0,15	0,12
T8	1,96	1,69	1,65	1,60	1,73	2,06	3,41	6,46	8,00	9,21	9,98	10,24	9,96	9,08	8,42	8,42	7,56	6,75	6,26	5,96	5,39	4,55	3,50	2,48	1,96
T9	0,13	0,11	0,11	0,11	0,11	0,14	0,23	0,43	0,53	0,61	0,66	0,68	0,66	0,60	0,56	0,56	0,50	0,45	0,41	0,39	0,36	0,30	0,23	0,16	0,13
T10	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,06	0,11	0,14	0,16	0,18	0,18	0,18	0,16	0,15	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,06	0,04	0,03
T11	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01
T12	1,80	1,54	1,51	1,46	1,58	1,88	3,12	5,91	7,32	8,42	9,13	9,36	9,11	8,31	7,70	7,70	6,91	6,17	5,72	5,45	4,93	4,16	3,20	2,26	1,80
T13	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,14	0,26	0,33	0,38	0,41	0,42	0,41	0,37	0,34	0,34	0,31	0,28	0,26	0,24	0,22	0,19	0,14	0,10	0,08
T14	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06	0,08	0,09	0,10	0,10	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
T15	0,46	0,40	0,39	0,38	0,41	0,48	0,80	1,52	1,88	2,17	2,35	2,41	2,34	2,14	1,98	1,98	1,78	1,59	1,47	1,40	1,27	1,07	0,82	0,58	0,46
T16	1,14	0,98	0,96	0,92	1,00	1,19	1,98	3,74	4,63	5,34	5,78	5,93	5,77	5,26	4,88	4,88	4,38	3,91	3,62	3,45	3,12	2,64	2,03	1,43	1,14
T17	0,38	0,32	0,32	0,31	0,33	0,39	0,65	1,24	1,53	1,76	1,91	1,96	1,91	1,74	1,61	1,61	1,45	1,29	1,20	1,14	1,03	0,87	0,67	0,47	0,38
T18	0,35	0,30	0,29	0,28	0,31	0,36	0,61	1,15	1,42	1,64	1,77	1,82	1,77	1,61	1,50	1,50	1,34	1,20	1,11	1,06	0,96	0,81	0,62	0,44	0,35
T19	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,10	0,13	0,15	0,16	0,16	0,16	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,09	0,07	0,06	0,04	0,03
T20	0,27	0,23	0,23	0,22	0,24	0,28	0,47	0,88	1,09	1,26	1,36	1,40	1,36	1,24	1,15	1,15	1,03	0,92	0,85	0,81	0,74	0,62	0,48	0,34	0,27
T21	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,08	0,14	0,18	0,21	0,22	0,23	0,22	0,20	0,19	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04
T22	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
T23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00

	Hora																								
T	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
T24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T25	0,18	0,16	0,15	0,15	0,16	0,19	0,32	0,60	0,75	0,86	0,93	0,96	0,93	0,85	0,79	0,79	0,71	0,63	0,59	0,56	0,50	0,43	0,33	0,23	0,18
T26	0,16	0,14	0,14	0,13	0,14	0,17	0,28	0,54	0,66	0,76	0,83	0,85	0,83	0,75	0,70	0,70	0,63	0,56	0,52	0,49	0,45	0,38	0,29	0,21	0,16
T27	0,15	0,13	0,13	0,12	0,13	0,16	0,27	0,50	0,62	0,72	0,78	0,80	0,78	0,71	0,66	0,66	0,59	0,53	0,49	0,46	0,42	0,35	0,27	0,19	0,15
T28	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,09	0,14	0,27	0,33	0,38	0,41	0,42	0,41	0,38	0,35	0,35	0,31	0,28	0,26	0,25	0,22	0,19	0,15	0,10	0,08
T29	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06	0,11	0,14	0,16	0,17	0,17	0,17	0,15	0,14	0,14	0,13	0,11	0,11	0,10	0,09	0,08	0,06	0,04	0,03
T30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T31	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02
T32	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07	0,12	0,15	0,18	0,19	0,20	0,19	0,17	0,16	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,07	0,05	0,04
T33	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01
T34	0,31	0,27	0,26	0,25	0,27	0,32	0,54	1,02	1,26	1,46	1,58	1,62	1,58	1,44	1,33	1,33	1,20	1,07	0,99	0,94	0,85	0,72	0,55	0,39	0,31
T35	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,08	0,16	0,19	0,22	0,24	0,25	0,24	0,22	0,20	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,11	0,08	0,06	0,05
T36	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,06	0,07	0,08	0,09	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
T37	0,17	0,15	0,15	0,14	0,15	0,18	0,30	0,57	0,71	0,82	0,89	0,91	0,88	0,81	0,75	0,75	0,67	0,60	0,56	0,53	0,48	0,40	0,31	0,22	0,17
T38	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,11	0,21	0,26	0,30	0,32	0,33	0,32	0,29	0,27	0,27	0,24	0,22	0,20	0,19	0,17	0,15	0,11	0,08	0,06
T39	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,11	0,20	0,25	0,29	0,32	0,32	0,32	0,29	0,27	0,27	0,24	0,21	0,20	0,19	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06
T40	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
T41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
T42	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,07	0,09	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02
T43	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,09	0,12	0,13	0,15	0,15	0,15	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07	0,05	0,04	0,03
T44	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,08	0,09	0,11	0,12	0,12	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02
T45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
T46	0,36	0,31	0,30	0,29	0,32	0,38	0,63	1,19	1,48	1,70	1,84	1,89	1,84	1,68	1,55	1,55	1,40	1,25	1,15	1,10	1,00	0,84	0,65	0,46	0,36
T47	-0,16	-0,14	-0,13	-0,13	-0,14	-0,17	-0,28	-0,52	-0,65	-0,75	-0,81	-0,83	-0,81	-0,74	-0,68	-0,68	-0,61	-0,55	-0,51	-0,48	-0,44	-0,37	-0,28	-0,20	-0,16
T48	0,11	0,09	0,09	0,09	0,10	0,11	0,19	0,36	0,44	0,51	0,55	0,57	0,55	0,50	0,47	0,47	0,42	0,37	0,35	0,33	0,30	0,25	0,19	0,14	0,11
T49	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
T50	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,08	0,14	0,18	0,20	0,22	0,23	0,22	0,20	0,19	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,10	0,08	0,05	0,04
T51	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06	0,11	0,13	0,15	0,16	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,07	0,06	0,04	0,03
T52	0,04	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,10	0,12	0,14	0,15	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,05	0,04	0,03

	Hora																								
T	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
T53	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06	0,11	0,13	0,15	0,16	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,07	0,06	0,04	0,03
T54	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
T55	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
T56	0,54	0,46	0,45	0,44	0,47	0,56	0,93	1,76	2,18	2,51	2,72	2,79	2,72	2,48	2,30	2,30	2,06	1,84	1,71	1,63	1,47	1,24	0,96	0,68	0,54
T57	0,51	0,44	0,43	0,41	0,45	0,53	0,88	1,67	2,07	2,39	2,59	2,65	2,58	2,35	2,18	2,18	1,96	1,75	1,62	1,54	1,40	1,18	0,91	0,64	0,51
T58	0,50	0,43	0,42	0,41	0,44	0,52	0,87	1,64	2,04	2,34	2,54	2,61	2,54	2,31	2,14	2,14	1,92	1,72	1,59	1,52	1,37	1,16	0,89	0,63	0,50
T59	0,17	0,14	0,14	0,14	0,15	0,18	0,29	0,55	0,69	0,79	0,86	0,88	0,85	0,78	0,72	0,72	0,65	0,58	0,54	0,51	0,46	0,39	0,30	0,21	0,17
T60	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,08	0,16	0,20	0,23	0,24	0,25	0,24	0,22	0,21	0,21	0,19	0,17	0,15	0,15	0,13	0,11	0,09	0,06	0,05
T61	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,09	0,17	0,21	0,24	0,26	0,27	0,26	0,24	0,22	0,22	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,12	0,09	0,06	0,05
T62	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
T63	0,29	0,25	0,24	0,23	0,25	0,30	0,50	0,94	1,17	1,34	1,45	1,49	1,45	1,32	1,23	1,23	1,10	0,98	0,91	0,87	0,79	0,66	0,51	0,36	0,29
T64	0,15	0,13	0,12	0,12	0,13	0,15	0,25	0,48	0,59	0,68	0,74	0,76	0,74	0,67	0,62	0,62	0,56	0,50	0,46	0,44	0,40	0,34	0,26	0,18	0,15
T65	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,09	0,14	0,27	0,34	0,39	0,42	0,43	0,42	0,38	0,36	0,36	0,32	0,29	0,26	0,25	0,23	0,19	0,15	0,10	0,08
T66	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02
T67	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07	0,12	0,15	0,18	0,19	0,20	0,19	0,17	0,16	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,07	0,05	0,04
T68	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06	0,10	0,13	0,15	0,16	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,07	0,06	0,04	0,03
T69	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01
T70	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,08	0,10	0,12	0,13	0,13	0,13	0,11	0,11	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02
T71	0,08	0,07	0,07	0,06	0,07	0,08	0,14	0,26	0,32	0,37	0,40	0,41	0,40	0,37	0,34	0,34	0,30	0,27	0,25	0,24	0,22	0,18	0,14	0,10	0,08
T72	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,11	0,21	0,26	0,30	0,32	0,33	0,32	0,30	0,27	0,27	0,25	0,22	0,20	0,19	0,18	0,15	0,11	0,08	0,06
T73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
T74	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,07	0,13	0,16	0,19	0,21	0,21	0,21	0,19	0,17	0,17	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04
T75	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
T76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
T77	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06	0,08	0,09	0,09	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
T78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
T79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
T80	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,09	0,14	0,27	0,34	0,39	0,42	0,43	0,42	0,38	0,35	0,35	0,32	0,28	0,26	0,25	0,23	0,19	0,15	0,10	0,08
T81	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,09	0,16	0,20	0,24	0,25	0,26	0,25	0,23	0,22	0,22	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14	0,12	0,09	0,06	0,05

	Hora																								
T	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
T82	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06	0,08	0,09	0,09	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
T83	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
T84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T85	0,59	0,50	0,49	0,48	0,51	0,61	1,02	1,93	2,39	2,75	2,98	3,05	2,97	2,71	2,51	2,51	2,26	2,01	1,87	1,78	1,61	1,36	1,05	0,74	0,59
T86	0,56	0,48	0,47	0,46	0,49	0,59	0,98	1,85	2,29	2,64	2,86	2,93	2,85	2,60	2,41	2,41	2,17	1,93	1,79	1,71	1,55	1,30	1,00	0,71	0,56
T87	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,08	0,16	0,20	0,22	0,24	0,25	0,24	0,22	0,21	0,21	0,18	0,16	0,15	0,15	0,13	0,11	0,09	0,06	0,05
T88	0,51	0,44	0,43	0,42	0,45	0,54	0,89	1,69	2,10	2,41	2,62	2,68	2,61	2,38	2,21	2,21	1,98	1,77	1,64	1,56	1,41	1,19	0,92	0,65	0,51
T89	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,08	0,10	0,12	0,13	0,13	0,12	0,11	0,11	0,11	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02
T90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
T91	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,08	0,10	0,11	0,12	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,04	0,03	0,02
T92	0,38	0,33	0,32	0,31	0,34	0,40	0,67	1,26	1,56	1,80	1,95	2,00	1,94	1,77	1,64	1,64	1,48	1,32	1,22	1,16	1,05	0,89	0,68	0,48	0,38
T93	0,17	0,14	0,14	0,14	0,15	0,17	0,29	0,55	0,68	0,78	0,85	0,87	0,85	0,77	0,71	0,71	0,64	0,57	0,53	0,51	0,46	0,39	0,30	0,21	0,17
T94	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,09	0,14	0,27	0,33	0,38	0,41	0,42	0,41	0,38	0,35	0,35	0,31	0,28	0,26	0,25	0,22	0,19	0,15	0,10	0,08
T95	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,07	0,13	0,17	0,19	0,21	0,21	0,21	0,19	0,17	0,17	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04
T96	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,07	0,14	0,17	0,20	0,21	0,22	0,21	0,19	0,18	0,18	0,16	0,14	0,13	0,13	0,12	0,10	0,07	0,05	0,04
T97	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,12	0,23	0,29	0,33	0,36	0,36	0,35	0,32	0,30	0,30	0,27	0,24	0,22	0,21	0,19	0,16	0,12	0,09	0,07
T98	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00

El balance de caudales, ver *Figura 51*, nos muestra la fluidez del comportamiento horario y el patrón de consumo, ver *Figura 52*, muestra los valores absolutos durante el mismo tiempo a 24 horas, aunque representadas de forma distinta, una enfatizando la tendencia y la otra los datos absolutos, ambas gráficas capturan el mismo fenómeno: la variación horaria del caudal en la red. Estas versiones permiten entender tanto la fluidez del sistema como su desempeño numérico en tiempo real.

Figura 51

Gráfica de balance de caudales

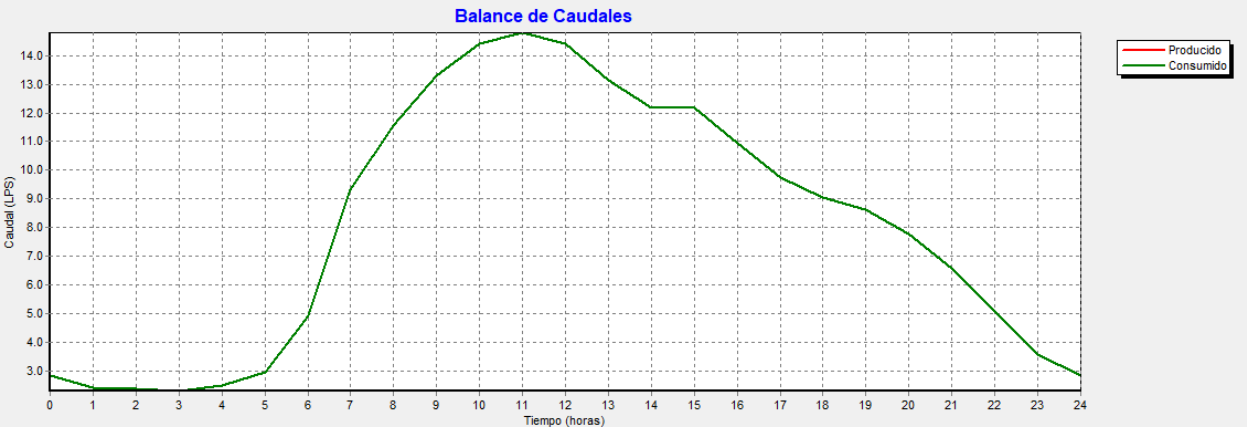
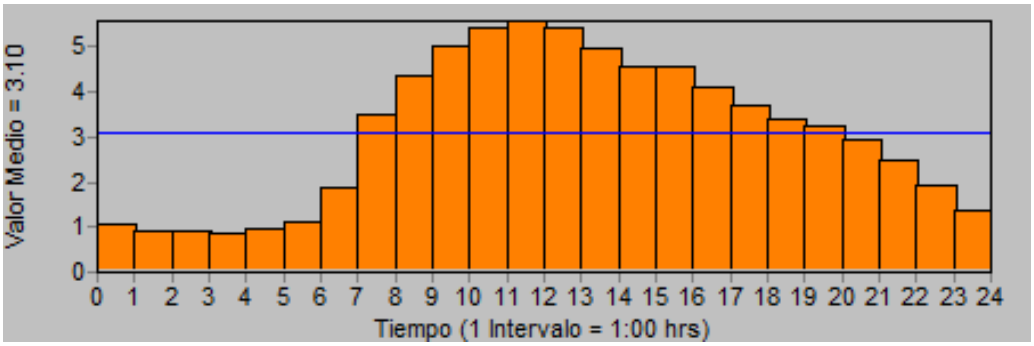


Figura 52

Patrón de Consumo Epanet



El análisis hidráulico de la red confirma que el sistema opera correctamente en términos de capacidad. Los diámetros actuales son adecuados para transportar el caudal requerido por la población, garantizando el suministro de agua sin restricciones.

Como se mencionó en el planteamiento del problema, la obstrucción de la bocatoma por sedimentos interrumpe el suministro de agua. Cuando esto ocurre, la capacidad del tanque de almacenamiento resulta insuficiente para cubrir la demanda de los usuarios, lo que genera suspensiones del servicio. Esta situación afecta directamente el comportamiento hidráulico de la red, provocando fluctuaciones de presión que no pueden ser evaluadas con precisión debido a factores clave: la falta de datos minuto a minuto sobre las presiones reales en el sistema, rugosidad real del sistema. Para resolver este desafío, es fundamental implementar un sistema de monitoreo continuo con equipos especializados. Solo así se podrá contrastar los valores teóricos con los reales y calibrar correctamente el modelo de la red, asegurando un diagnóstico preciso y soluciones efectivas.

Capítulo 6. Conclusiones

Mediante el levantamiento topográfico realizado al inicio de esta investigación, se logró elaborar para la empresa Acosmi un catastro de sus redes de distribución, incorporando información esencial para su gestión. Asimismo, se actualizó el catastro de usuarios, registrando a los suscriptores vigentes hasta el año 2023. Esta información resulta fundamental para la empresa, ya que facilitará la planificación de mantenimientos, futuras expansiones y otras acciones estratégicas que Acosmi considere necesarias.

El análisis de macro medición permitió comprender los hábitos de consumo de agua de la comunidad en distintos momentos del día, identificando picos máximos entre las 10:00 a.m. y 12:00 p.m., y mínimos entre la 1:00 a.m. y 4:00 a.m. Este comportamiento fue analizado durante el periodo 2019-2023, evidenciando un patrón repetitivo en el consumo diario de los usuarios a lo largo de los años. Además, al evaluar el caudal en litros por segundo durante un ciclo de 24 horas para cada año, se observó en la mayoría de los casos un incremento progresivo y significativo en el consumo promedio anual, lo que refleja una tendencia creciente en la demanda del recurso.

La micro medición permitió obtener los consumos reales de la red de distribución mes a mes durante el año 2023, evidenciando variaciones en la demanda de agua a lo largo del año. Se determinó que el consumo promedio per cápita anual fue de 128 litros por persona por día (L/hab/día), un valor que indica un uso adecuado del recurso por parte de la comunidad. Sin embargo, en ciertos meses se registraron incrementos significativos en el consumo. Se identificó que abril presentó un consumo elevado debido a la afluencia de visitantes durante la Semana Santa, mientras que en agosto el incremento estuvo relacionado con intensas olas de calor.

Además, se observó que, en general, el consumo se mantiene elevado en todos los meses, lo que resalta la importancia de una gestión eficiente del recurso hídrico.

El análisis de las pérdidas indica que el tanque tiene la capacidad suficiente para abastecer a la comunidad durante un período prolongado, ya que se observa un excedente de agua que no es utilizado por los usuarios, lo que genera un desperdicio significativo. Las pérdidas registradas alcanzan un promedio del 20.5%, un valor considerablemente elevado en comparación con el 7% máximo permitido por la normativa. Esto confirma que el suministro podría mantenerse por más tiempo si se reducen dichas pérdidas. Por ello, es fundamental identificar el origen de estas fugas y aplicar una solución efectiva que optimice el uso del recurso.

Los resultados de la simulación hidráulica de 24 horas, basada en patrones de consumo reales, confirman que la red actual opera bajo condiciones técnicamente autosostenibles, garantizando el suministro continuo y equitativo a todos los usuarios dentro de los parámetros de presión y caudal establecidos por la RAS 2000.

Capítulo 7. Recomendaciones

En primer lugar, se recomienda que la empresa encargada del servicio mantenga actualizado el catastro de redes de distribución. Esto permitirá contar con un registro preciso de la infraestructura, facilitando la planificación del mantenimiento, la detección de fallas y la optimización del sistema. Asimismo, se sugiere digitalizar la base de datos de macro medición y micro medición para mejorar la gestión de la información y permitir un acceso más rápido y eficiente a los datos relevantes.

Para reducir las pérdidas en la red de distribución, se recomienda implementar un plan de control urgente que incluya la auditoría de medidores y la instalación de sistemas de monitoreo en tiempo real. Estas acciones permitirán detectar fugas de manera oportuna y optimizar la eficiencia del sistema, especialmente en los meses de alta demanda. Además, es fundamental desarrollar campañas dirigidas a la comunidad para promover el uso eficiente del agua, mediante estrategias de sensibilización que fomenten prácticas responsables en el consumo del recurso hídrico.

Otra acción clave es la instalación de válvulas de purga al final de cada tubería, para lo cual se ha calculado un total de 34 válvulas. Estas deberán estar protegidas dentro de una caja de válvulas para facilitar su mantenimiento, operadas por funcionarios capacitados para garantizar su correcto funcionamiento. De manera complementaria, se recomienda migrar el plano de catastro a un software geoespacial, como un sistema de información geográfica (SIG), que facilite la gestión y análisis de la infraestructura de distribución.

En cuanto a la regulación de la presión en la red, se recomienda la instalación de dos válvulas reguladoras una entre el nodo N10-N48 y otra entre el nodo N13-N41, con el propósito

de controlar los picos de presión en los sectores S13, S14, S15, S8 y S16. Esta medida permitirá mantener las presiones por debajo de 50 m.c.a, en cumplimiento de lo establecido en la Resolución 799 de 2021 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021).

Adicionalmente, se sugiere realizar un trabajo de campo para verificar las presiones simuladas mediante mediciones directas en puntos estratégicos de la red (nodos críticos, zonas altas y finales de línea), utilizando manómetros calibrados o registradores de presión, con el fin de contrastar los datos modelados con condiciones reales. La actividad deberá ejecutarse en horarios de demanda máxima y mínima, preferiblemente con participación de operadores locales que identifiquen anomalías no consideradas en la simulación.

Se recomienda la sectorización de la red de distribución, mediante la instalación de nueve válvulas adicionales a las existentes. Esta medida permitirá facilitar el mantenimiento y la reparación de daños, permitiendo intervenir áreas específicas sin afectar el suministro en toda la red. Esto optimizará la eficiencia operativa, reducirá pérdidas de agua y mejorará la continuidad del servicio para los usuarios.

Finalmente, se sugiere la sustitución de tuberías en puntos estratégicos para mejorar la presión en horas de mayor demanda, específicamente en los siguientes tramos:

- Nodos N1-N92-N2: Reemplazo por tubería de 4 pulgadas.
- Nodos N13-N14-N15-N17-N22-N85-N23-N27-N28-N29: Reemplazo por tubería de 3 pulgadas.

La implementación de estas medidas contribuirá significativamente a la eficiencia del sistema de distribución, garantizando una mejor calidad del servicio y una gestión sostenible del recurso hídrico.

Referencias

Abril Orellana, O. A. (2018). *Sectorización óptima de la red de distribución de agua potable de la ciudad de Santa Marta, Colombia utilizando los algoritmos METIS.* [Trabajo Fin de Máster, Intensificación en Hidráulica Urbana, Universidad Politécnica de valencia].

Agudelo Pabón y Bayona Coronel. (2020). *Propuesta para la optimización de las redes de distribución del sistema de acueducto del casco urbano del municipio de Pelaya, en el departamento del Cesar.* [Tesis de grado, Universidad Francisco de Paula Santander]. Ocaña.

Arenas Rojas y Cartagena. (2017). *Simulación atraves del software libre Epanet versión 2.0, de la red de distribución de agua potable en la vereda Alejandria, municpio Garzón-Huila.* [Proyecto de profundización, Universidad Coperativa de Colombia]. Neiva.

Arreguín, F. (2000). *Gestión del agua en México: Retos y estrategias.* Fondo de Cultura Económica.

Bastidas Delgado, D. C. (2009). *Caracterización y estimación de consumos de agua de usuarios residensiales. Caso de estudio: Bogotá.* [Tesis de grado, Universidad de los Andes]. Bogotá.

Campbell González, E. O. (2017). *Sectorización de Redes de Abastecimiento de Agua Potable basada en detección de comunidades en redes sociales y optimización heurística.* [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente].

Castro Sánchez, C. J., Hernández Sánchez, V. D., & Moreno Vanegas, A. J. (2021). *Optimización de la red de distribución de agua potable del municipio de Villeta – Cundinamarca.* [Trabajo de grado, Universidad Piloto de Colombia, Programa de Ingeniería Civil].

Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (DANE 2018). *Censo nacional de población y vivienda 2018: Resultados generales.* Obtenido de https://www.dane.gov.co

Fabra Arbona, L. (2016). *Análisis y proyecto de sectorización de la red de abastecimiento de agua potable de las urbanizaciones del Plantío y La Cañada.* Sector Sur [Trabajo Fin de Máster, Intensificación en Hidráulica Urbana, Universidad Politécnica de valencia].

Falkenmark y Widstrand. (1992). En *Population and water resources: A delicate balance.* (págs. Population Bulletin, 47(3), 1–36.).

Farley, M., y Trow, S. (2003). *Pérdidas en redes de distribución de agua: guía práctica para evaluación, monitoreo y control.* IWA Publishing.

Flórez, S., Bonilla, G., & Molina, C. (2023). Análisis de sectorización hidráulica en redes de distribución de agua implementando Epanet e iDistritos. *BISTUA. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, 21 (2), 61-67.* Universidad de Pamplona.

García, J., & López, A. (2020). La importancia de los desastres en la gestión de redes de distribución de agua potable en comunidades rurales. *Revista Ingeniería y Gestión del Agua, 12 (3),* 45-59.

Garzón Orduña, A. J. (2014). *Evaluación patrones de consumo y caudales máximos Instantaneos de usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá.* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia]. Bogotá.

Gleick, P. (1998). *El agua en el mundo: Informe bienal sobre los recursos de agua dulce.* Island Press.

González, F. (2018). *Medición y control en sistemas de distribución de agua potable.* Ingeniería y Tecnología, 35(1), 45-58.

Hernández, A. (2021). *Optimización de redes de distribución de agua potable en zonas urbanas.* Editorial Técnica.

Hernández, J. (2018). *Catastro y gestión de redes de agua potable.* Editorial Universidad de Sevilla.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (2023). *Boletín climatológico*. Obtenido de IDEAM: http://archivo.ideam.gov.co/web/guest

Jiménez, R., & Martínez, P. (2019). *Análisis de patrones de consumo de agua en áreas urbanas.* Revista de Hidráulica, 24(2), 112-125.

Liou, Y. T., & Hunt, W. A. (2018). *Hydraulic analysis of water distribution systems using EPANET.* Obtenido de Journal of Water Resources Planning and Management, 144(3), 04018006.: https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000912

Llamuca Iza, T. N. (2018). *Caracterización de la curva de consumo diario de la red de agua potable de los sectores Atahualpa 1, Constantino Fernández 1 y Augusto Martínez 1, del Cantón Ambato.* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Ambato, Ecuador.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS TÍTULO B: Sistemas de Acueducto.* Obtenido de https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). *Resolución 0330 de 2017*. Obtenido de https://www.minvivienda.gov.co

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021). *Resolución 0799 de 2021*. Obtenido de https://www.minvivienda.gov.co

Ochoa Alejo, L., & Bourguett Ortiz, V. (2021). *Reducción integral de pérdidas de agua potable.* Mexico.

Organización Mundial de la Salud. (2021). *Informe sobre el estado del agua y el saneamiento en el mundo.* Obtenido de https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water

Ortiz, L. (2020). *Modelado digital de redes de distribución de agua potable.* Editorial Universitaria.

Pérez, L., Martínez, P., & Salazar, R. (2015). Implementación de sistemas de sectorización hidráulica en acueductos rurales: Un estudio de caso en Colombia. *Ingeniería Hidráulica en América Latina, 10 (2)*, 125-135.

Posit Software, PBC. (2025). *RStudio (Versión 2024.12.1+563) [Software]*. Obtenido de https://posit.co/download/rstudio-desktop/

Ramírez, M., & Pérez, J. (2017). *El catastro de redes hidráulicas: importancia para la gestión eficiente del agua potable.* Revista de Infraestructura y Redes, 19(3), 77-90.

Rossman, L. A. . (2000). *EPANET 2 user manual.* Obtenido de Environmental Protection Agency (EPA).: https://www.epa.gov/

Sánchez, L. (2020). *Sistemas de micro medición para la gestión de redes de agua potable.* Editorial Tecnológica.

Sarmiento Huertas, L. S., & Silva Diaz, R. (2017). *Modelación y optimización de la red de acueducto urbano del municipio de Tibana-Boyacá.* [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil].

Socarrás Ordaz, Ramos Joseph y León Méndez. (2015). *Determinación de las curvas de consumos clasificados en clientes residenciales de un sector de la empresa Aguas de La Habana.* [Tesis de grado, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría]. La Habana.

Souza, R. G., Meirelles, G., Brentan, B., & Izquierdo, J. (2022). *Rehabilitación en Redes de Distribución de Agua Intermitente para su Óptima Operación.*

Surita Gil, L. E. (2020). *Análisis del sistema de la red de distribución de agua, usando EPANET en áreas rurales.* [Trabajo de grado, Universidad Peruana Unión]. Lima.

Torres, F., & Martínez, J. (2016). *Gestión eficiente del agua: Estrategias y tecnologías para el ahorro y la optimización del consumo. McGraw-Hill.*

UNESCO & PHI-LAC. (2000). *Diagnóstico del agua en las Américas.* Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

Vector de la Ingeniería Civil. (Junio de 2013). *Revista 54: Especial Agua.* Obtenido de https://issuu.com/revistavectordelaing.civil/docs/revista_54_junio_2013

Walski, T. C. (2003). *Modelado y gestión avanzados de la distribución del agua.* Bentley Institute Press.

Apéndices

Apéndice A. Compilación de Macro Mediciones

El presente anexo contiene la compilación de macro mediciones en archivo *PDF*, donde se registran los datos de mediciones horarias realizadas entre los años 2019 y 2023. Estos registros fueron inicialmente documentados en manuscritos y posteriormente organizados en formato digital para su análisis y consulta.

Apéndice B. Compilación de Micro Mediciones

El presente anexo contiene la compilación de micro mediciones en archivo *PDF*, donde se registran los datos de consumo mensual para el año 2023.

Apéndice C. Cálculo del Patrón de Consumo

El presente apéndice incluye el archivo *Excel.xlsx*, en el cual se realiza el cálculo del patrón de consumo basado en las macro mediciones registradas entre los años 2019 y 2023. Dicho cálculo permite analizar tendencias y variaciones en el consumo a lo largo del período estudiado.

Apéndice D. Cálculo de Caudales Reales en la Red de Distribución (2023)

El presente apéndice contiene el archivo *Excel.xlsx*, en el cual se realiza el cálculo de los caudales reales en la red de distribución a partir de las micro mediciones registradas durante el año 2023. Este análisis permite evaluar el comportamiento del flujo en la red y su relación con el consumo registrado.

Apéndice E. Cálculo de Pérdidas y Dotación Neta

El presente apéndice incluye el archivo *Excel.xlsx*, en el cual se realiza el cálculo de las pérdidas en la red de distribución y la dotación neta para el año 2023. Este análisis permite evaluar la eficiencia del sistema de suministro y determinar el volumen real de agua utilizada por la población.

Apéndice F. Presiones y Caudales en la Red de Distribución según Modelación en EPANET

El presente apéndice contiene el archivo *Excel.xlsx*, en el cual se presentan las presiones y caudales de la red de distribución, obtenidos a través de la modelación realizada en EPANET. Los datos muestran las condiciones hidráulicas antes y después de las modificaciones en la tubería implementadas para cumplir con las presiones mínimas requeridas.

Apéndice G. Modelación Hidráulica en EPANET en Tiempo Cero con Demanda Base de Nodos

El presente apéndice contiene el archivo de EPANET, en el cual se muestra la modelación hidráulica de la red de distribución en *tiempo cero*, considerando la demanda base asignada a los nodos. Este análisis permite evaluar las condiciones iniciales del sistema y servir como referencia para estudios y modificaciones posteriores.

Apéndice H. Modelación Hidráulica en EPANET con Patrón de Consumo en 24 Horas

El presente apéndice contiene el archivo de EPANET, en el cual se muestra la modelación de la red de distribución considerando el patrón de consumo a lo largo de un período de 24 horas. Este análisis permite evaluar el comportamiento hidráulico del sistema en función de la variabilidad de la demanda durante el día.

Apéndice I. Modelación Hidráulica en EPANET con Patrón de Consumo en 24 Horas y Diámetros de Tubería Corregidos

El presente apéndice contiene el archivo de EPANET, en el cual se muestra la modelación de la red de distribución considerando el patrón de consumo durante un período de 24 horas. En esta simulación, se han corregido los diámetros de tubería en ciertos sectores con el objetivo de garantizar el cumplimiento de las presiones mínimas en horarios específicos.

Apéndice J. Plano 1 Localización del Proyecto en AutoCAD

El presente apéndice contiene un archivo en *AutoCAD,* en el cual se muestra el plano de localización del proyecto. Este plano proporciona una representación geográfica detallada de la zona de estudio

Apéndice K. Plano 1 Localización del Proyecto en PDF

El presente apéndice contiene un archivo en *PDF,* en el cual se muestra el plano de localización del proyecto.

Apéndice L. Plano 2 Catastro de Usuarios y Redes de Distribución en AutoCAD

El presente apéndice contiene un archivo en *AutoCAD,* en el cual se muestra el plano de catastro de usuarios y redes de distribución elaborado por los autores del proyecto. Este plano permite visualizar la ubicación de los usuarios y la infraestructura de la red de distribución, proporcionando información clave para el análisis y planificación del sistema de abastecimiento.

Apéndice M. Plano 2 Catastro de Usuarios y Redes de Distribución en PDF

El presente apéndice contiene un archivo en *PDF*, en el cual se muestra el plano de catastro de usuarios y redes de distribución elaborado por los autores del proyecto.

Apéndice N. Plano 3 Sectorización Existente en AutoCAD

El presente apéndice contiene un archivo en *AutoCAD*, en el cual se muestra el plano de la sectorización existente en la red de distribución. Este plano proporciona una representación detallada de la delimitación de sectores dentro del sistema de abastecimiento

Apéndice O. Plano 3 Sectorización Existente en PDF

El presente apéndice contiene un archivo en *PDF*, en el cual se muestra el plano de la sectorización existente en la red de distribución.

Apéndice P. Plano 4 Propuesta de Sectorización en AutoCAD

El presente apéndice contiene un archivo en *AutoCAD*, en el cual se muestra el plano con la propuesta de sectorización de la red de distribución. Esta propuesta ha sido diseñada con el objetivo de facilitar la realización de mantenimientos y la reparación de daños, permitiendo una gestión más eficiente del sistema de abastecimiento.

Apéndice Q. Plano 4 Propuesta de Sectorización en PDF

El presente apéndice contiene un archivo en *PDF*, en el cual se muestra el plano con la propuesta de sectorización de la red de distribución.