



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA**

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**REFORZAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE  
AGUA POTABLE DEL SECTOR CRUZ VERDE 4B1 SUR, DE LA  
CIUDAD DE CUENCA.**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO CIVIL**

**Autor:**

**DANIEL SEBASTIÁN CÓRDOVA CARRIÓN**

**Director:**

**ING. JOSUÉ BERNARDO LARRIVA VÁZQUEZ**

**CUENCA-ECUADOR**

**2025**

## DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico principalmente a Dios que ha sabido estar en mis momentos más difíciles consolándome y sacándome adelante.

A mi mamá Mercy que ha luchado incansablemente por mí, y ha sabido educarme de manera correcta brindándome su amor y entrega total, enseñándome que la fortaleza depende uno mismo siempre siendo directa así forjando un hombre fuerte. A mi papá Daniel que desde niño me enseñó a ser un hombre de verdad, y que no hay nada que no se pueda hacer con mucho trabajo y esfuerzo, porque A PESAR DE todo siempre estaba ahí. A mi hermano Esteban que me ha sido mi compañero de vida y me ha brindado todo su apoyo en todo lo que ha podido siempre. A mi segunda mamá Paola que llego a mi vida para enseñarme muchas cosas y ha sacado la cara por mi como una madre misma; ha sido durante todos estos años una persona que me ha brindado su apoyo incondicional. A mi abuela Isabel que desde muy pequeño me demostró su amor incondicional y formó parte de toda mi niñez, enseñándome que el amor se demuestra con acciones.

A mi gran amigo Pablo que fue pieza clave en la formación de quien soy ahora, al escucharme y acogerme como un hijo en una de las etapas más difíciles de mi vida. A mi padrino Santiago, que siempre fue una inspiración para mí; si no fuera por el no sabría con certeza en donde estaría ahora, que me enseñó que siempre debo pensar en grande. A mi pareja Nicolle que es actualmente un pilar fundamental en mi vida, demostrando con creces su amor incondicional. Por último, pero no menos importante a mi mejor amigo Paul, un hermano que me regalo la vida y ha formado parte de ella ganándose mi lealtad y respeto.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi agradecimiento:

Primero a Dios que me ha permitido llegar hasta este punto de mi carrera con buena salud, de igual manera a mi familia que han sabido brindarme su apoyo a lo largo de mi vida estudiantil.

A mis compañeros que han formado parte de esta etapa y han podido sumar experiencias a mi vida. Al Ing. Josué Bernardo Larriva que gracias a sus conocimientos y paciencia me supo guiar y apoyar durante el proceso de realización de este proyecto, además, a la Ing. Patricia Alejandra Palacios miembro del tribunal por sus recomendaciones durante las primeras etapas del proyecto.

Por último, pero no menos importante a la Universidad del Azuay, sus autoridades y su director de carrera de la escuela de Ingeniería Civil, Ing. José Fernando Vázquez, por el apoyo brindado durante toda la carrera.

**REFORZAMIENTO DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE  
SECTOR CRUZ VERDE 4B1 SUR, DE LA CIUDAD DE CUENCA.**

**RESUMEN**

La red de distribución de agua potable del sector Cruz Verde 4B1 Sur, en la ciudad de Cuenca, enfrenta importantes problemas operativos debido al envejecimiento de sus infraestructuras, que incluyen tuberías de PVC y asbesto cemento. Estos problemas, como pérdidas de carga, baja presión y velocidades de flujo inadecuadas, afectan la eficiencia del sistema. Además, el crecimiento poblacional y la expansión urbana han incrementado la demanda, sobrepasando la capacidad de la red. En este trabajo se utilizó un modelo hidráulico para analizar el estado actual del sistema y simular distintos escenarios operativos, con datos proporcionados por ETAPA EP. Los resultados permitieron identificar zonas críticas y áreas de mejora. Como solución, se proponen acciones de optimización como el redimensionamiento de tuberías, la instalación de válvulas de presión. Estas medidas buscan mejorar la eficiencia, reducir las pérdidas y asegurar un suministro continuo y adecuado de agua potable.

Palabras clave: Red de distribución, agua potable, modelación hidráulica, optimización, pérdidas de carga, presión, Cuenca.

# **REINFORCEMENT OF THE DRINKING WATER DISTRIBUTION NETWORK IN THE CRUZ VERDE 4B1 SUR SECTOR, IN THE CITY OF CUENCA.**

## **ABSTRACT**

The drinking water distribution network in the Cruz Verde 4B1 Sur sector, Cuenca, faces significant operational issues due to aging infrastructure, including PVC and asbestos cement pipes. Problems such as head losses, low pressure, and inadequate flow velocities affect system efficiency. Additionally, population growth and urban expansion have increased demand, surpassing the network's capacity. This study used a hydraulic model to analyze the system's current state and simulate different operational scenarios with data provided by ETAPA EP. The results identified critical areas and improvement opportunities. Proposed solutions include resizing pipes, installing pressure valves. These measures aim to improve efficiency, reduce losses, and ensure a continuous, adequate water supply.

**Keywords:** Distribution network, drinking water, hydraulic modeling, optimization, head losses, pressure, Cuenca.

# ÍNDICE

INDICE DE ILUSTRACIONES .....	x
INDICE DE TABLAS.....	xii
INDICE DE ECUACIONES .....	xiv
INDICE DE ANEXO.....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1
Problemática .....	2
Justificación: .....	3
Objetivo General:.....	4
Objetivos Específicos:.....	5
Metodología: .....	5
Desarrollo del estudio. ....	9
1. MARCO TEORICO .....	11
1.1    Conceptos preliminares.....	11
1.1.1 Agua potable .....	11
1.1.2 Agua cruda.....	11
1.1.3 Consumidor.....	12
1.1.4 Dotación.....	12
1.1.5 Captación. ....	12
1.1.6 Conducción. ....	12

1.1.7 Caudal de diseño.....	12
1.1.8 Caudal medio diario.....	13
1.1.9 Red de distribución.....	13
1.1.10 Sistema de distribución de una red de agua potable .....	13
1.1.11 Planta potabilizadora de agua .....	14
1.2 Modelación hidráulica .....	14
1.3 Perdidas de carga .....	16
1.4 Evaluación de fugas en la red.....	17
1.4.1 Causas que originan una fuga .....	17
1.4.2 Evaluación de fugas en la red.....	18
1.5 Abastecimiento de agua potable .....	18
1.6 Componentes de una red de distribución .....	18
1.7 Evaluación del desempeño hidráulico .....	19
1.8 Sectorización hidráulica y control operativo .....	19
1.9 Simulación de escenarios críticos .....	20
1.10 Gestión de presiones y pérdidas por fugas.....	20
1.11 Indicadores de evaluación técnica.....	21
1.12 Planificación para mejora futura.....	21
2. RECOLECCIÓN DE DATOS.....	22
2.1 Descripción del área de estudio.....	22

2.2 Descripción de la red de distribución.....	23
2.3 Población de diseño .....	24
2.4 Dotación de agua.....	26
2.5 Caudales de diseño.....	27
2.5.1 Caudal medio diario.....	27
2.5.2 Caudal máximo diario.....	29
2.6 Periodo de Diseño.....	31
2.6.1 Vida útil.....	31
2.6.2 Crecimiento de la población. ....	32
2.6.3 Periodo de diseño según los materiales.....	32
2.7 Velocidades de la red .....	33
3. MODELADO CON LOS DATOS ACTUALES .....	34
3.1 Selección y validación de datos.....	34
3.2 Ingreso de los datos al modelo hidráulico.....	35
3.2.1 Modificación de la demanda.....	35
3.2.1.1 Ubicación del editor.....	35
3.2.1.2 Edición global.....	36
3.2.2 Comparación de demanda.....	38
3.3 Análisis de datos. ....	40
3.3.1 Análisis presión en los nodos.....	40

3.3.2 Delimitación de zonas.....	44
3.3.2.1 Zona 1.....	44
3.3.2.2 Zona 2.....	46
3.3.2.3 Zona 3.....	47
4. ANÁLISIS DE VULNERABILIDADES Y PROPUESTAS DE OPTIMIZACIÓN.....	49
4.1 Análisis de Vulnerabilidades.....	49
4.1.1 Análisis visual.....	49
4.1.2 Análisis de pérdida de cargas.....	50
4.1.3 Análisis de pérdidas de presión.....	55
4.2 Propuestas de optimización.....	57
4.2.1 Cambios zona 1.....	57
4.2.2 Cambios zona 2.....	63
4.2.3 Cambios zona 3.....	65
4.2.3.1 Tuberías.....	65
4.2.3.2 Válvulas reductoras de presión.....	67
4.3 Análisis general de mejoras.....	71
4.3.1 Análisis general de pérdidas de carga.....	71
4.3.2 Análisis general de presiones.....	73
4.3.3 Tubería necesaria.....	74
RESULTADOS.....	76

CONCLUSIONES .....	79
RECOMENDACIONES.....	80
BIBLIOGRAFÍA .....	82
ANEXOS.....	84

## **INDICE DE ILUSTRACIONES.**

Ilustración 1. Localización y delimitación de la zona de estudio. ....	23
Ilustración 2. Proyección de Población 2022.....	25
Ilustración 3. Proyección 2023-2025.....	25
Ilustración 4. Proyección de Población 2025-2050 .....	26
Ilustración 5. Ubicación del Editor de Demanda.....	36
Ilustración 6. Mensaje de aviso.....	36
Ilustración 7. Pestaña de Control de Demanda.....	37
Ilustración 8. Pestaña de Edición Global.....	38
Ilustración 9. Análisis Demanda Final 2025.....	39
Ilustración 10. Análisis Demanda Final 2050.....	40
Ilustración 11. Zona 1. ....	45
Ilustración 12. Zona 1 Mapa.....	45
Ilustración 13. Zona 2. ....	46
Ilustración 14. Zona 2 Mapa.....	47
Ilustración 15. Zona 3.....	48
Ilustración 16. Zona 3 Mapa.....	48
Ilustración 17. Límites de Pérdida de Carga.....	49
Ilustración 18. Límites de Presión. ....	50

Ilustración 19. Zona de Presiones Bajas en Watergems.....	56
Ilustración 20. Zona de Bajas Presiones en Mapa .....	56
Ilustración 21. Zona 1 Mejorada.....	61
Ilustración 22. Zona 2 post mejoras Zona 1.....	62
Ilustración 23. Zona 3 post mejoras Zona 1.....	62
Ilustración 24. Zona 3 Mejora de Tuberías.....	66
Ilustración 25. Propiedades válvula de presión.....	68
Ilustración 26. Zona 3 post mejoras finales. ....	69
Ilustración 27. Zona 2 mejora final.....	70
Ilustración 28. Zona Cruz Verde 4B1 Sur.....	71

## **INDICE DE TABLAS.**

Tabla 1. Tubería de la red de distribución. ....	24
Tabla 2. Dotación y perdidas. ....	27
Tabla 3. Caudales medios diarios.....	28
Tabla 4. Caudales medios diarios ETAPA EP.....	29
Tabla 5. Caudal Máximo de Diseño.....	30
Tabla 6. Caudal Máximo de Diseño ETAPA EP.....	31
Tabla 7. Vida útil de elementos de la red de agua potable .....	32
Tabla 8. Periodo de diseño según materiales. ....	33
Tabla 9. Caudales Máximos Horarios. ....	35
Tabla 10. Nodos y Presiones Bajas 2025. ....	41
Tabla 11. Nodos y Presiones Bajas 2050. ....	42
Tabla 12. Continuación Tabla 11. ....	43
Tabla 13. Tuberías con Pérdidas de Carga .....	51
Tabla 14. Continuación Tabla 13. ....	52
Tabla 15. Continuación Tabla 13. ....	53
Tabla 16. Continuación Tabla 13. ....	54
Tabla 17. Mejoras Zona 1. ....	57
Tabla 18. Continuación Tabla 16. ....	58

Tabla 19. Continuación Tabla 17. ....	59
Tabla 20. Continuación Tabla 17. ....	60
Tabla 21. Tuberías zona 1. ....	63
Tabla 22. Mejoras Zona 2. ....	64
Tabla 23. Tuberías Zona 2.....	64
Tabla 24. Mejoras Zona 3 Tuberías. ....	65
Tabla 25. Presiones Excesivas. ....	67
Tabla 26. Presiones válvulas reductoras de presión. ....	68
Tabla 27. Presiones mayores post mejoras.....	69
Tabla 28. Tuberías zona 3. ....	70
Tabla 29. Tuberías con pérdida de carga limite. ....	72
Tabla 30. Nodos con presión limite zona 4B1 Sur.....	73
Tabla 31. Tuberías zona 4B1 Sur .....	74

## **INDICE DE ECUACIONES.**

Ecuación 1.....	13
Ecuación 2.....	16
Ecuación 3.....	29

## **INDICE DE ANEXO.**

Anexo 1. Catalogo comercial de tuberías. ....	84
Anexo 2. Datos generales de tuberías WaterGEMS .....	85
Anexo 3. Datos generales de tuberías WaterGEMS .....	86
Anexo 4. Datos generales de tuberías WaterGEMS .....	87
Anexo 5. Datos generales de tuberías WaterGEMS .....	88
Anexo 6. Datos generales de tuberías WaterGEMS .....	89
Anexo 7. Datos generales de tuberías WaterGEMS .....	90
Anexo 8. Datos generales de tuberías WaterGEMS .....	91
Anexo 9. Datos generales de tuberías WaterGEMS .....	92
Anexo 10. Datos generales de tuberías WaterGEMS .....	93
Anexo 11. Datos generales de tuberías WaterGEMS .....	94
Anexo 12. Datos generales de tuberías WaterGEMS .....	95
Anexo 13. Datos generales de tuberías WaterGEMS .....	96
Anexo 14. Datos generales de tuberías WaterGEMS .....	97
Anexo 15. Datos generales de tuberías WaterGEMS .....	98
Anexo 16. Datos generales de tuberías WaterGEMS .....	99
Anexo 17. Datos generales de tuberías WaterGEMS .....	100

Anexo 18. Datos generales de tuberías WaterGEMS .....	101
Anexo 19. Datos generales de tuberías WaterGEMS .....	102
Anexo 20. Datos generales de tuberías WaterGEMS .....	103
Anexo 21. Datos generales de tuberías WaterGEMS .....	104
Anexo 22. Datos generales de tuberías WaterGEMS .....	105
Anexo 23. Datos generales de nodos WaterGEMS .....	105
Anexo 24. Datos generales de nodos WaterGEMS .....	106
Anexo 25. Datos generales de nodos WaterGEMS .....	107
Anexo 26. Datos generales de nodos WaterGEMS .....	108
Anexo 27. Datos generales de nodos WaterGEMS .....	109
Anexo 28. Datos generales de nodos WaterGEMS .....	110
Anexo 29. Datos generales de nodos WaterGEMS .....	111
Anexo 30. Datos generales de nodos WaterGEMS .....	112
Anexo 31. Datos generales de nodos WaterGEMS .....	113
Anexo 32. Datos generales de nodos WaterGEMS .....	114
Anexo 33. Datos generales de nodos WaterGEMS .....	115
Anexo 34. Datos generales de nodos WaterGEMS .....	116
Anexo 35. Datos generales de nodos WaterGEMS .....	117
Anexo 36. Datos generales de nodos WaterGEMS .....	118

Anexo 37. Datos generales de nodos WaterGEMS .....	119
Anexo 38. Datos generales de nodos WaterGEMS .....	120
Anexo 39. Datos generales de nodos WaterGEMS .....	121

# INTRODUCCIÓN

La Ingeniería Civil, y en particular su rama hidráulica, desempeña un papel fundamental en la planificación, diseño y gestión de sistemas que garantizan el abastecimiento seguro y continuo de agua potable a la población. Estas soluciones abarcan desde grandes infraestructuras, como represas e hidroeléctricas, hasta redes de distribución urbanas que, aunque de menor escala, resultan esenciales para el desarrollo sostenible y el bienestar de las comunidades.

Uno de los principales retos en el ámbito urbano es la modernización y optimización de los sistemas de distribución de agua potable. El crecimiento demográfico, la expansión territorial y el envejecimiento de las redes generan múltiples desafíos técnicos y operativos que deben abordarse con criterios de eficiencia, sostenibilidad y resiliencia. En este contexto, el uso de herramientas de modelación hidráulica se consolida como una metodología eficaz para evaluar el comportamiento de estos sistemas y proponer soluciones sustentadas en datos reales.

En la ciudad de Cuenca según Jaramillo (2022), el sector Cruz Verde 4B1 Sur, perteneciente al sistema de distribución Tomebamba, presenta condiciones hidráulicas deficientes que comprometen la calidad del servicio. La infraestructura actual, conformada principalmente por tuberías de PVC y asbesto cemento con más de 15 años de antigüedad, evidencia pérdidas por fugas, velocidades de flujo fuera de los rangos normativos y aumento de la rugosidad interna. Estas deficiencias, combinadas con el incremento de la demanda y la presión poblacional en la zona, reflejan la necesidad de evaluar técnica y operativamente la red de distribución existente.

Si bien se han realizado estudios previos en el área, estos se han enfocado principalmente en la modelación y calibración hidráulica, sin profundizar en el análisis de vulnerabilidades operativas ni en la evaluación de soluciones prácticas que integren criterios de crecimiento y sostenibilidad. En este sentido, la presente investigación busca cubrir ese vacío, aportando un enfoque integral que no solo evalúe el estado actual del sistema, sino que también identifique sus puntos críticos y proponga estrategias técnicas viables para su mejora.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar un modelo hidráulico del sector mencionado, que permita simular el comportamiento de la red en condiciones actuales y en escenarios proyectados. A partir de esta simulación, se identifican los puntos críticos de operación y se proponen soluciones técnicas que mejoren la eficiencia del sistema, reduzcan las pérdidas y aseguren la continuidad y calidad del servicio en el mediano y largo plazo. La importancia de este estudio radica en su aplicación directa en la toma de decisiones técnicas y de planificación en uno de los sectores más representativos de la ciudad, contribuyendo al fortalecimiento de la gestión hídrica urbana.

### **Problemática:**

El sector Cruz Verde 4B1 Sur, ubicado en la parte sur de la ciudad de Cuenca, presenta vulnerabilidades operativas en su red de distribución de agua potable, administrada por la empresa pública ETAPA EP. Esta red, conformada por tuberías instaladas hace aproximadamente 15 años, incluye un 9.77% de conductos de asbesto cemento y un 90.23% de PVC, con diámetros que oscilan entre 50 mm y 200 mm (Jaramillo, 2022).

Aunque originalmente estas tuberías cumplían con los requisitos operativos establecidos, su deterioro progresivo ha derivado en la aparición de fugas, pérdidas de caudal y una notable ineficiencia en la distribución del recurso. A medida que la infraestructura se degrada, las condiciones hidráulicas empeoran. El modelo hidráulico desarrollado por Jaramillo (2022), indica que más del 77% de las tuberías no cumple con las velocidades mínimas de flujo requeridas por la normativa, lo cual afecta directamente la capacidad de la red para operar de manera eficiente. Además, el aumento en la rugosidad interna reduce significativamente el caudal disponible y eleva los costos de mantenimiento.

A esta situación se suma el proceso de gentrificación que experimenta el sector, con un incremento de construcciones residenciales y comerciales que ha intensificado la demanda de agua potable. Esta presión adicional compromete aún más la infraestructura existente, que no fue diseñada para soportar los niveles actuales de consumo. La expansión urbana y el crecimiento poblacional ejercen una carga que supera la capacidad original del sistema.

Aunque el modelo hidráulico existente resulta útil, su potencial puede ser aprovechado de manera más eficiente mediante un análisis detallado que permita identificar con precisión los puntos críticos de la red. Dicho análisis facilitaría la formulación de soluciones técnicas orientadas a resolver los problemas actuales y anticipar escenarios futuros, garantizando así un funcionamiento adecuado del sistema en términos de presión, eficiencia y sostenibilidad.

### **Justificación:**

El análisis del modelo hidráulico es fundamental para abordar las vulnerabilidades actuales de la red, especialmente en un contexto donde el crecimiento urbano genera un

aumento constante en la demanda del servicio. El modelo previamente elaborado por Jaramillo (2022), permitió identificar problemas estructurales como velocidades de flujo por debajo de los niveles normativos y un incremento en la rugosidad de las tuberías, lo cual afecta negativamente el desempeño hidráulico del sistema. Sin embargo, este modelo puede ser utilizado con mayor profundidad para diagnosticar zonas críticas y proponer soluciones basadas en escenarios proyectados.

Este estudio tiene como finalidad evaluar el comportamiento del sistema en condiciones futuras, considerando datos actualizados sobre la densidad poblacional y la expansión de edificaciones en el sector. La red existente fue diseñada para una demanda menor a la actual, por lo que su capacidad hidráulica resulta insuficiente en ciertos tramos.

Identificar las zonas con mayor vulnerabilidad permitirá proponer intervenciones técnicas orientadas a garantizar la sostenibilidad operativa del sistema a largo plazo. Además, el modelo facilitará el análisis de escenarios operativos alternativos, contribuyendo a la toma de decisiones que anticipen cambios en la demanda y eviten costos elevados de mantenimiento.

### **Objetivo General:**

Evaluar la red de distribución de agua potable de la zona, mediante el uso de un modelo hidráulico de la misma, esto con el fin de mejorar la eficiencia hidráulica y garantizar un suministro de agua adecuado.

### **Objetivos Específicos:**

- Revisar el modelo hidráulico creado con anterioridad, mediante la utilización de un software con la finalidad de simular escenarios actuales y de esta manera evaluar el comportamiento del sistema bajo varias condiciones de demanda y operación.
- Evaluar las condiciones actuales de la red, identificando vulnerabilidades.
- Realizar una propuesta para la optimización de la operación de la red, implementando mejoras, ya sea en infraestructura o tratando proveer la mejor solución para los problemas que se presenten en las simulaciones.

### **Metodología:**

La presente investigación adoptará una metodología de tipo aplicado, enfocada en la simulación y análisis hidráulico de la red de distribución de agua potable del sector Cruz Verde 4B1 Sur. El objetivo será evaluar el comportamiento de la red bajo distintos escenarios operativos, utilizando datos actuales y herramientas de modelación computacional.

Comprender el funcionamiento de un modelo hidráulico será fundamental para su correcta interpretación y análisis. La simulación computacional mediante software especializado permitirá evaluar el comportamiento del sistema a partir de datos operativos reales, como caudales y presiones. A través del análisis del modelo, se buscará identificar zonas de la red con deficiencias hidráulicas que requieran intervención, con el fin de plantear soluciones técnicas orientadas a mejorar el servicio y generar un impacto positivo en la comunidad.

Para el método de investigación podemos deducir los siguientes pasos a tomar en cuenta:

## **Recolección de datos.**

Se recopilará información proporcionada por la empresa pública ETAPA EP, que incluirá:

- Caudales promedio diarios y picos de demanda en distintos puntos de la red.
- Caudales mínimos nocturnos, útiles para detectar fugas.
- Datos operativos sobre presiones de servicio y niveles en tanques de almacenamiento.

## **Equipos y herramientas.**

Para la realización del proyecto será necesario el uso de dos softwares los mismos que podremos ver a continuación:

- **Software dedicado al análisis del modelo hidráulico:** Para realizar simulaciones hidráulicas con los datos de caudal actualizados.
- **Microsoft Excel:** Para procesar los datos de caudal y generar gráficos comparativos entre los escenarios simulados y los datos reales.

## **Procedimiento.**

- 1. Introducción de los nuevos datos al modelo:** Los caudales actualizados serán incorporados en el modelo hidráulico preexistente, reemplazando la información anterior. Los puntos de entrada corresponderán a los nodos que representen las conexiones principales de la red en el sector Cruz Verde 4B1 Sur.
- 2. Simulaciones bajo diferentes escenarios:** Se desarrollarán diferentes escenarios con el fin de evaluar el comportamiento del sistema en diversas condiciones:

- **Escenario de demanda máxima:** Para evaluar la capacidad de la red en períodos de alta demanda.
  - **Escenario de demanda mínima nocturna:** Para identificar posibles fugas en la red.
  - **Escenario de fallo en estaciones de bombeo:** Para determinar la vulnerabilidad de la red ante fallas en puntos críticos de la operación.
- 3. Análisis del comportamiento hidráulico:** Luego de las simulaciones, se evaluará la distribución de presiones en la red, con el fin de identificar tramos que presenten presiones fuera de los rangos normativos.
- 4. Propuesta de optimización:** Con base en los resultados obtenidos, se propondrán soluciones técnicas como el redimensionamiento de tuberías, ajustes operativos o intervenciones específicas orientadas a optimizar el funcionamiento de la red y reducir los costos de operación y mantenimiento.

### **Evaluación del sistema.**

Con el fin de analizar el comportamiento hidráulico de la red de distribución del sector Cruz Verde 4B1 Sur, se evaluará el modelo hidráulico bajo diferentes escenarios operativos. La evaluación se fundamentará en los parámetros técnicos establecidos por la normativa ecuatoriana y literatura especializada, considerando principalmente: presiones mínimas y máximas aceptables, velocidades de flujo, pérdidas de carga y continuidad del servicio.

Los principales parámetros utilizados en la simulación y análisis del sistema fueron los siguientes:

- **Presión mínima en nodos:** 10 metros de columna de agua (m.c.a.)

- **Presión máxima recomendada:** 50 m.c.a.
- **Presión máxima establecida por la norma:** 70 m.c.a.
- **Velocidad mínima de flujo en tuberías:** 0.6 m/s
- **Velocidad máxima de flujo en tuberías:** 2.5 m/s
- **Coefficiente de rugosidad:** 130 para tuberías de PVC, 100 para asbesto cemento

### **Escenarios simulados.**

Se desarrollará tres escenarios de simulación con el fin de evaluar el sistema en distintas condiciones de operación:

#### **1. Escenario actual (base).**

Se simulará con la demanda actual y futura, según los datos proporcionados por ETAPA EP. Este escenario representará las condiciones reales de operación del sistema.

#### **2. Escenario de demanda futura.**

Se proyectará un incremento en la demanda, considerando el crecimiento poblacional y urbanístico estimado en la zona, con los datos que proporcionará ETPA EP. Este escenario permitirá analizar la capacidad de la red ante un aumento sostenido del consumo.

#### **3. Escenario post-mejoras.**

Se analizará el estado de la red de distribución de agua potable una vez realizados los cambios dentro de la misma para poder establecer si las alternativas propuestas solucionarán los problemas presentados.

## **Evaluación del comportamiento**

Cada escenario fue analizado considerando los siguientes aspectos:

- Porcentaje de nodos con presión inferior a 10 m.c.a.
- Tramos de tubería con pérdidas de carga menores a la norma.
- Identificación de zonas críticas con riesgo de desabastecimiento o sobrepresión

Los resultados obtenidos permitieron determinar los sectores que no cumplen con los estándares establecidos, así como establecer criterios técnicos para proponer mejoras orientadas a optimizar el rendimiento del sistema en el corto y mediano plazo.

## **Desarrollo del estudio.**

En el capítulo I se abordan los fundamentos conceptuales y técnicos relacionados con el sistema de abastecimiento de agua potable, las redes de distribución hidráulica, la modelación mediante software especializado y las normativas aplicables. Este capítulo proporciona el sustento teórico necesario para el desarrollo de la investigación.

En el capítulo II se presenta la caracterización del sector Cruz Verde 4B1 Sur, la recopilación de información técnica y operativa proporcionada por la empresa pública ETAPA EP, así como los datos complementarios obtenidos en campo. Esta información constituye la base para el modelado hidráulico.

En el capítulo III se describe el proceso de modificación del modelo hidráulico utilizando los datos recolectados. Se incluyen las condiciones operativas del sistema, las simulaciones bajo diferentes escenarios y el análisis de resultados que reflejan el comportamiento real de la red.

En el capítulo IV a partir de los resultados del modelo, se identifican los puntos críticos del sistema y se plantean propuestas de mejora que incluyen recomendaciones técnicas y operativas orientadas a optimizar el funcionamiento de la red de distribución.

Este trabajo de titulación se realiza con el propósito de diagnosticar las condiciones actuales de la red de distribución de agua potable del sector Cruz Verde 4B1 Sur y proponer soluciones técnicas que contribuyan a su mejora. Su importancia radica en la necesidad de contar con información precisa y herramientas de análisis que permitan optimizar el funcionamiento de un sistema clave para el bienestar de la población y la sostenibilidad urbana.

# CAPITULO I

## 1. MARCO TEORICO

Antes de abordar el desarrollo técnico de la presente investigación, es fundamental establecer una base conceptual clara sobre los términos y definiciones clave relacionados con el diseño y operación de redes de distribución de agua potable. Estos conceptos permiten una mejor comprensión de los principios que rigen el comportamiento hidráulico de los sistemas y son esenciales para interpretar los resultados de modelación y análisis posterior. A continuación, se presentan las definiciones más relevantes, extraídas de fuentes técnicas y normativas reconocidas, que servirán como referencia a lo largo del estudio.

### 1.1 Conceptos preliminares

Según Secretaria Nacional del Agua (1992) en “Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes” tenemos los siguientes conceptos definidos:

#### 1.1.1 Agua potable.

“Es el agua destinada para el consumo humano, debe estar exenta de organismos capaces de provocar enfermedades y de elementos o sustancias que puedan producir efectos fisiológicos perjudiciales, y debe cumplir con los requisitos de estas normas” (p.40).

#### 1.1.2 Agua cruda.

Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características físicas, químicas, radiológicas, biológicas o microbiológicas. Para efectos de estas normas el agua proveniente de sistemas de

alcantarillado o cualquier otro sistema que altere sus propiedades físicas, químicas, radiológicas, biológicas y microbiológicas y que requiera tratamientos especiales para hacerla potable, no se considera como agua cruda. La contaminación encontrada en el agua cruda debe ser de origen natural causada por fenómenos propios de la cuenca o acuífero (p.40).

### **1.1.3 Consumidor.**

“Es el usuario de un sistema de agua potable para cubrir usos domésticos, comerciales, industriales, incendios y otros” (p.40).

### **1.1.4 Dotación.**

“Caudal de agua potable consumido diariamente, en promedio, por cada habitante. Incluye los consumos doméstico, comercial, industrial y público” (p.55).

### **1.1.5 Captación.**

“Estructura que permite incorporar la cantidad necesaria de agua desde la fuente de abastecimiento hacia el sistema de agua potable” (p.55).

### **1.1.6 Conducción.**

“Conjunto de conductos, obras de arte y accesorios destinados a transportar el agua procedente de la fuente de abastecimiento, desde el lugar de la captación hasta los tanques de almacenamiento o la planta de tratamiento” (p.55).

### **1.1.7 Caudal de diseño.**

“Caudal necesario para atender la demanda al final del período de diseño” (p.59).

### **1.1.8 Caudal medio diario.**

Caudal medio diario Caudal medio diario o  $qmd$ , es el consumo diario de una población, que se registra en un año de consumos diarios. Se calcula en base a la población obtenida al final del periodo de diseño, así como la dotación (Jaramillo, 2022).

Podemos observar los parámetros ocupados en su cálculo en la ecuación (1).

*Ecuación 1.*

$$qmd = \frac{Pd * D}{86400}$$

Donde:

$qmd$ : Es el caudal medio (l/s)

$Pd$ : Población de diseño (futura) (habitantes)

$D$ : Dotación bruta (considerando pérdidas)

### **1.1.9 Red de distribución.**

“Conjunto de tuberías y accesorios que permitían entregar el agua a los usuarios del servicio” (p.259).

### **1.1.10 Sistema de distribución de una red de agua potable.**

Una red de distribución es un conjunto de tuberías y accesorios el cual permite entregar principalmente agua potable a los usuarios del servicio como: viviendas, comercios y la pequeña industria, si el servicio posee buenas condiciones podría llegar a abastecer a las grandes industrias. Un propósito secundario es la distribución de agua en condiciones apropiadas para extinguir incendios (Secretaría Nacional del Agua, 1992).

### **1.1.11 Planta potabilizadora de agua.**

Son estructuras que efectúan procesos y operaciones unitarias mediante equipos y materiales necesarios para remover contaminantes microbiológicos, físicos y químicos, para de esta manera poder obtener agua potable a partir de agua cruda (Secretaría Nacional del Agua, 1992).

### **1.2 Modelación hidráulica.**

“La modelación hidráulica es la reproducción, a escala reducida, de fenómenos, estados o procesos relevantes del flujo del agua.” (Castro, Hidalgo & Poveda, 2003). Teniendo claro el concepto de modelación podemos ir al siguiente paso que nos permite entender la modelación hidráulica en específico. Mediante estas modelaciones podremos interpretar datos de campo, de esta manera se podrá predecir el comportamiento evitando futuros fallos dentro del sistema, además de observar comportamientos, y predecirlo

Un modelo hidráulico debe satisfacer requerimientos como similitudes geométricas, cinemáticas y dinámicas. Además de la selección de magnitudes relevantes más conocidas como escalas. Si se selecciona de manera adecuada estos ítems permitirá una aplicación inmediata de los resultados en la solución de problemas que presente el modelo. (Castro et al., 2003).

La modelación hidráulica es una herramienta clave para representar el comportamiento de una red de distribución bajo condiciones de operación reales o hipotéticas. Su utilidad radica en la posibilidad de simular escenarios diversos, detectar deficiencias estructurales o hidráulicas, y evaluar el impacto de intervenciones futuras.

En la tesis previa desarrollada por Jaramillo (2022) se construyó un modelo hidráulico del sector Cruz Verde 4B1 Sur, utilizando información topográfica, datos de consumo proporcionados por ETAPA EP, y características de los materiales existentes. Este modelo fue calibrado a partir de mediciones de presión en puntos críticos, permitiendo un análisis inicial del estado operativo del sistema.

Al diseñar una red de abastecimiento de agua, es fundamental considerar los parámetros de consumo y demanda, ya que estos definen la dotación, es decir, la cantidad de agua que debe distribuirse en un área específica. De acuerdo con Secretaria Nacional del Agua (1992) la presión debe calcularse utilizando una línea piezométrica, asegurando que el sistema se diseñe para enfrentar las condiciones más exigentes de flujo. Para lograr esto, es esencial incorporar dispositivos como reguladores de flujo, mecanismos de interrupción automática y válvulas de admisión en los puntos de captación (Loyola & Morales, 2023). Este enfoque asegura que la red de abastecimiento cumpla con la dotación requerida, además, que mantenga la estabilidad y confiabilidad del sistema ante variaciones de presión y flujo. Implementar estos dispositivos ayuda a minimizar interrupciones del servicio y a la optimización en el funcionamiento de la infraestructura hidráulica, esto es clave para satisfacer necesidades de la comunidad en diferentes escenarios y garantizar una distribución eficiente del recurso.

El código mencionado anteriormente rige y norma la construcción de obras hídricas, las mismas que pueden ser el abastecimiento de agua potable y saneamiento, la misma nos servirá como guía al momento de considerar parámetros de análisis y diseño.

Estos son unos de los varios softwares que tenemos a disposición para poder realizar el modelado, posteriormente tomaremos la decisión de utilizar uno según las ventajas que nos ofrezca.

### 1.3 Perdidas de carga.

La fórmula de Hazen-Williams, esta se utiliza para calcular la pérdida de carga por fricción en tuberías por las que fluye agua a presión. Esta pérdida de carga se refiere a la disminución de presión o energía en el sistema de tuberías debido a la fricción entre el agua y las paredes de la tubería. Dentro de los usos de la formula tenemos:

- Diseño de sistemas de tuberías: Nos permite determinar el diámetro de las tuberías para poder transportar un caudal determinado, manteniéndose en una pérdida de presión dentro de los límites de trabajabilidad.
- Sistemas de riego: esto utilizado en sistemas agrícolas, con el mismo propósito de que fluya el caudal adecuado.
- Alcantarillado: Es una de las ocupaciones menos utilizadas debido a que la formula esta optimizada para agua fría y limpia, sin embargo, podríamos ajustar el coeficiente según el material y condiciones de las tuberías.

**La fórmula es:**

*Ecuación 2.*

$$hf = 10.667 * \frac{Q^{1.852} * L}{C^{1.852} * D^{4.871}}$$

**donde:**

- **hf:** Pérdida de carga por fricción (m)
- **Q:** Caudal (m<sup>3</sup>/s o L/s)
- **C:** Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams (sin unidades), depende del material de la tubería. Valores típicos: PVC (150), acero (120), hierro fundido (100).
- **L:** Longitud de la tubería (m)
- **D:** Diámetro interno de la tubería (m)

Una forma efectiva de conservar el recurso y ahorrar dinero es mediante la reducción de pérdidas de agua potable a través de la reparación de fugas en conducciones, tanques de almacenamiento, redes de distribución, conexiones domiciliarias, en casas habitación y en el cuadro del medidor (Bourguett & Ochoa, 2001).

#### **1.4 Evaluación de fugas en la red.**

##### **1.4.1 Causas que originan una fuga.**

Todos los materiales que se someten al uso están destinados a sufrir un desgaste natural, este desgaste varía según las condiciones, como describe Hurtado (2006) tenemos los siguientes factores directos:

- Características y calidad del material.
- Condiciones de operación.
- Tipo de terreno.
- Material utilizado.

#### **1.4.2 Evaluación de fugas en la red.**

La evaluación de fugas se obtiene a partir de mediciones globales de consumo en sectores aislados de la red; a los caudales se les denomina Distritos Pitometricos según la metodología del IMTA (Hurtado, 2006).

#### **1.5 Abastecimiento de agua potable.**

El abastecimiento de agua potable constituye una de las prioridades en el desarrollo urbano y rural, al ser un elemento esencial para garantizar condiciones adecuadas de salud, productividad y sostenibilidad ambiental. En el contexto ecuatoriano, este servicio es regulado por normativas específicas como las "Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes", emitidas por Secretaria Nacional del Agua (1992), que establecen criterios técnicos obligatorios para el diseño, operación y evaluación de estos sistemas.

Estas normas especifican parámetros fundamentales como los caudales de diseño, las velocidades mínimas y máximas en las tuberías, las presiones aceptables en los puntos de consumo, y los materiales permitidos en las redes de conducción y distribución. Además, contemplan consideraciones sobre el crecimiento poblacional, la vida útil de los materiales y la necesidad de mantenimiento planificado para garantizar la continuidad del servicio.

#### **1.6 Componentes de una red de distribución**

Una red de distribución de agua potable está conformada por una serie de elementos hidráulicos que permiten transportar el recurso desde los centros de almacenamiento hasta los usuarios. Entre estos componentes se encuentran: tuberías principales y secundarias, válvulas de seccionamiento, válvulas de control de presión, dispositivos de medición,

acometidas domiciliarias, tanques de regulación, entre otros (Secretaría Nacional del Agua, 1992).

El correcto dimensionamiento y configuración de estos elementos es fundamental para el buen funcionamiento del sistema. En la práctica, la eficiencia de la red depende tanto del diseño inicial como de su operación y mantenimiento. Por ejemplo, redes construidas con tuberías de asbesto cemento o PVC con más de 15 años de antigüedad, como ocurre en el sector Cruz Verde 4B1 Sur, suelen presentar problemas de rugosidad interna elevada, aumento de pérdidas por fricción, y mayor probabilidad de roturas (Jaramillo, 2022).

### **1.7 Evaluación del desempeño hidráulico**

El análisis del desempeño hidráulico de una red parte del cumplimiento de los parámetros normativos establecidos en el diseño. Entre estos se destacan: presiones mínimas de 10 m.c.a. en los puntos más desfavorables, velocidades mínimas de 0.6 m/s para evitar sedimentación, y velocidades máximas que no generen sobrepresión ni cavitación (Secretaría Nacional del Agua, 1992).

En el caso del modelo evaluado, se identificaron tramos con velocidades inferiores a las recomendadas, presiones por debajo del mínimo normativo, y zonas con flujo estancado, lo que evidencia vulnerabilidades operativas que requieren atención técnica (Jaramillo, 2022).

### **1.8 Sectorización hidráulica y control operativo**

Una estrategia recomendada para mejorar el control del sistema es la sectorización hidráulica. Esta consiste en dividir la red en zonas de presión independientes, lo que facilita

el monitoreo del comportamiento del sistema, la localización de fugas, y la planificación de mantenimientos.

En los documentos técnicos revisados, se propone la implementación de válvulas de seccionamiento y macromedidores en puntos estratégicos de la red, lo que permitiría establecer sectores hidráulicos definidos. Esta medida no solo optimiza la gestión operativa, sino que permite reducir el impacto de fallas localizadas (Hurtado, 2006).

### **1.9 Simulación de escenarios críticos**

El uso del modelo hidráulico calibrado permite simular escenarios críticos como: aumento de la demanda, cierre de válvulas por mantenimiento, fallos en tuberías principales o disminución de niveles en los tanques de abastecimiento. Estas simulaciones ayudan a determinar la capacidad de respuesta del sistema, identificar puntos vulnerables y evaluar alternativas de solución técnica (Salazar & Intriago, 2019).

Este tipo de análisis es especialmente útil en zonas como Cruz Verde 4B1 Sur, donde la antigüedad de las tuberías y la presión deficiente en algunos nodos suponen un riesgo constante para la eficiencia del servicio.

### **1.10 Gestión de presiones y pérdidas por fugas.**

La presión excesiva en ciertas zonas de la red puede causar rupturas, fugas invisibles y desgaste prematuro de los materiales. Por ello, el control de presiones mediante válvulas reguladoras o válvulas de presión diferencial es una técnica recomendada para proteger la infraestructura.

En redes con tuberías envejecidas, como se observa en el área de estudio, las fugas representan una fuente importante de pérdidas. Estas no solo afectan el rendimiento

hidráulico, sino también la sostenibilidad económica del sistema. La identificación de zonas con alta pérdida aparente es una de las metas del presente análisis (Maurad, 2020).

### **1.11 Indicadores de evaluación técnica.**

Para cuantificar el desempeño de un sistema de distribución, se utilizan indicadores como:

- Índice de agua no contabilizada.
- Continuidad del servicio (horas de suministro diario).
- Caudal suministrado vs. caudal consumido.
- Número de roturas por kilómetro de red.

Estos indicadores permiten establecer un diagnóstico más certero del sistema, priorizar inversiones y definir estrategias de intervención. En el marco de esta investigación, se utilizarán los resultados del modelo hidráulico para estimar algunos de estos indicadores y proponer acciones de mejora concretas (Palacios, 2015).

### **1.12 Planificación para mejora futura.**

La planificación de redes debe considerar el crecimiento demográfico y urbano de la zona. Según el análisis realizado por Jaramillo (2022) en la tesis B1, el sector Cruz Verde 4B1 Sur ha experimentado una densificación importante en los últimos años, lo que incrementa la demanda y presiona al sistema actual. El modelo hidráulico permite proyectar escenarios a futuro, ajustando las demandas nodales y evaluando si la infraestructura existente puede soportar el aumento poblacional.

## **CAPITULO II.**

### **2. RECOLECCIÓN DE DATOS.**

#### **2.1 Descripción del área de estudio.**

El sector Cruz Verde 4B1 Sur se encuentra ubicado en la ciudad de Cuenca, Ecuador, y forma parte del sistema de distribución de agua potable operado por ETAPA EP. La topografía del área es moderadamente irregular, lo que influye directamente en las presiones registradas dentro de la red.

El sistema pertenece al subsistema Tomebamba y está diseñado completamente a gravedad. Según Jaramillo (2022), los límites geográficos del sector son:

- Norte: Río Yanuncay.
- Sur: Autopista Troncal de la Sierra E35.
- Este: Av. Gapal.
- Oeste: Av. 12 de octubre.

La superficie del área de estudio es de aproximadamente 255 hectáreas, con un perímetro de 10.279,64 metros. La red cuenta con una capacidad de almacenamiento de 3.000 m<sup>3</sup> y es abastecida por la planta potabilizadora El Cebollar, que posee una capacidad de 1.000 l/s (Jaramillo, 2022).



*Ilustración 1. Localización y delimitación de la zona de estudio.*

**Fuente:** Jaramillo (2022)

## **2.2 Descripción de la red de distribución.**

La red de distribución pertenece al sistema alimentado por los ríos Tomebamba y Culebrillas, y según estudios previos, su caudal cubrirá la demanda hasta el año 2050. La red cuenta con 5.868 conexiones activas y un consumo mensual de 103.924 m<sup>3</sup>. Está compuesta por 44,64 km de tuberías con diámetros que oscilan entre 50 mm y 200 mm. Los materiales predominantes son PVC (90,23 %) y asbesto cemento (9,77 %) (Jaramillo, 2022).

*Tabla 1. Tubería de la red de distribución.*

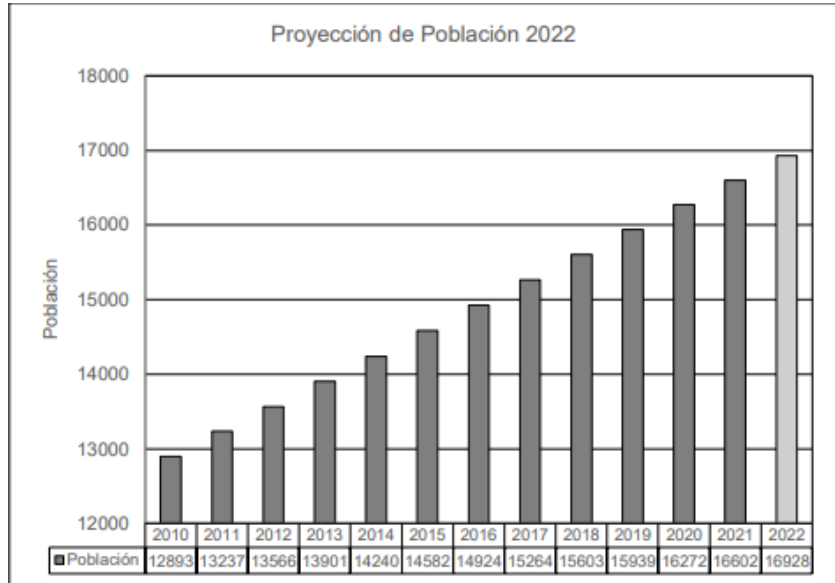
<b>DIAMETRO</b>	<b>MATERIAL</b>		<b>LONGITUD TOTAL</b>
<b>(mm)</b>	<b>ASBESTO CEMENTO</b>	<b>PVC</b>	<b>(m)</b>
50	319.11	6808.36	7127.47
63	0	23799.17	23799.17
110	0	5984.19	5984.19
160	0	2466.43	2466.43
200	3539.2	1156.28	4695.48
250	504.74	62.45	567.19
<b>TOTAL (m)</b>	<b>4363.05</b>	<b>40276.88</b>	<b>44639.93</b>

**Fuente:** Jaramillo (2022)

### **2.3 Población de diseño**

“Es el número de habitantes que se servían del proyecto para el final del período determinado de diseño, el cual debe ser establecido con base en la población inicial.” (Jaramillo, 2022)

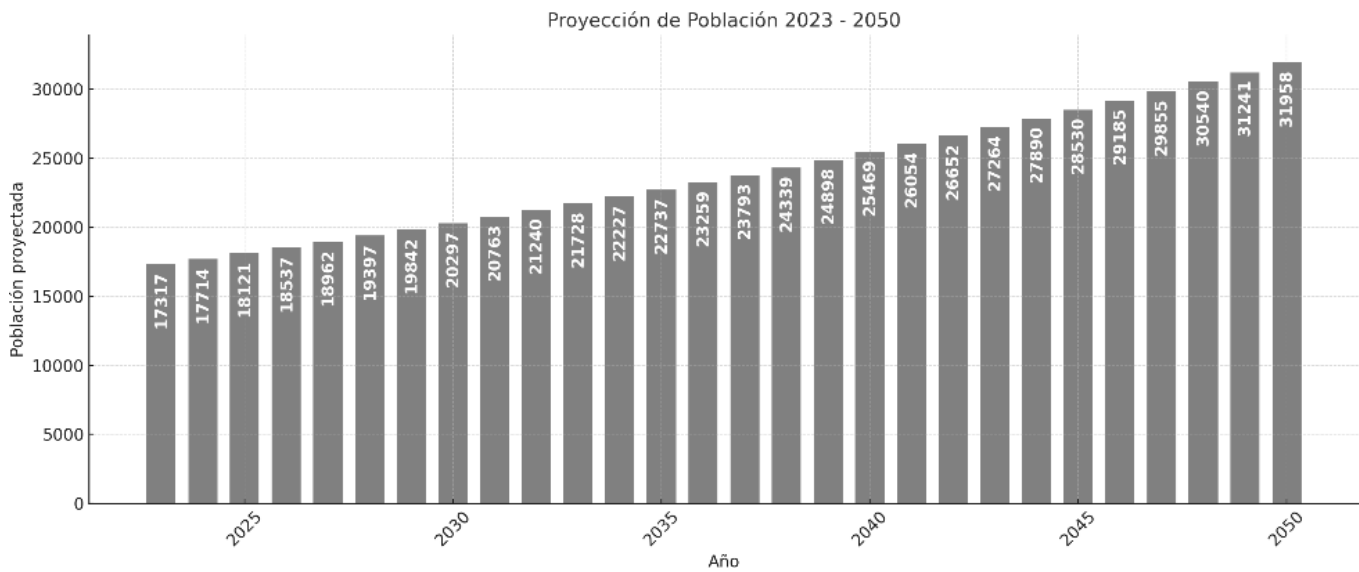
Jaramillo (2022) proyectó la población a partir de información georreferenciada proporcionada por ETAPA EP, obteniendo una cifra de 16.928 habitantes en 2022. Por otro lado, con base en la información de medidores activos (excluyendo comerciales e industriales), se calculará una población de 18.022 habitantes.



*Ilustración 2. Proyección de Población 2022.*

**Fuente:** (Jaramillo, 2022).

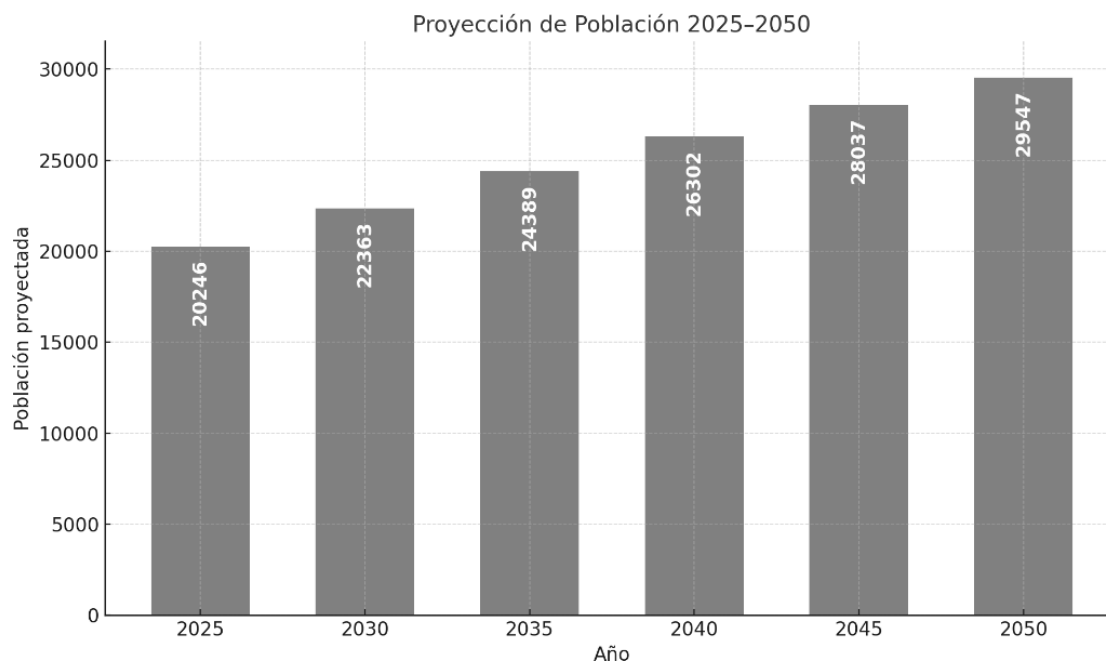
Se aplicará una proyección geométrica desde el año 2010 hasta el 2050. Esta se contrastará con datos proyectados por ETAPA EP (2025), permitiendo analizar diferentes escenarios poblacionales a futuro.



*Ilustración 3. Proyección 2023-2025.*

**Fuente:** Autor (2025).

Por otro lado, se utilizarán los datos proporcionados por ETAPA EP (2025), los cuales incluyen la proyección poblacional hasta el año 2050, como se ilustrará en la Ilustración 4.



**Ilustración 4.** *Proyección de Población 2025-2050.*

**Fuente:** ETAPA EP (2025).

## **2.4 Dotación de agua.**

De acuerdo con (ETAPA EP, 2025), la dotación de agua potable actual para el sector es de 200 litros por habitante por día. Las pérdidas estimadas de agua decrecerán progresivamente desde un 35 % en 2025 hasta un 30 % en 2050.

**Tabla 2. Dotación y pérdidas.**

<b>Dotación</b>	200					
<b>Pérdidas</b>	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	35%	34%	33%	32%	31%	30%

**Fuente:** (ETAPA EP, 2025)

## **2.5 Caudales de diseño.**

Los caudales de diseño se calcularán tomando como base una dotación de 200 litros por habitante por día, valor proporcionado por (ETAPA EP, 2025).

### **2.5.1 Caudal medio diario.**

La estimación del caudal medio se realizará mediante la aplicación de la Ecuación (1), la cual empleará los porcentajes de pérdida reportados en la información técnica proporcionada por ETAPA EP (2025). Los cálculos de los caudales medios, con base en las proyecciones desarrolladas en este estudio, permitirán obtener los siguientes resultados

**Tabla 3. Caudales medios diarios.**

<b>Año</b>	<b>Población</b>	<b>Pérdida (%)</b>	<b>Qmd bruta (l/s)</b>	<b>Qmd corregida (l/s)</b>
<b>2025</b>	18121	34.63	41.95	64.17
<b>2030</b>	20297	33.7	46.98	70.87
<b>2035</b>	22737	32.78	52.63	78.3
<b>2040</b>	25469	31.85	58.96	86.51
<b>2045</b>	28530	30.93	66.04	95.61
<b>2050</b>	31958	30	73.98	105.68

**Fuente:** Autor (2025).

Por otro lado, los datos de los caudales medios calculados a partir de las proyecciones entregadas en la documentación técnica de (ETAPA EP, 2025), los cuales presentan una concordancia general con los valores obtenidos en este estudio. Esta comparación se detallará en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Caudales medios diarios ETAPA EP.

<b>Año</b>	<b>Población</b>	<b>Pérdida (%)</b>	<b>Qmd bruta (l/s)</b>	<b>Qmd corregida (l/s)</b>
<b>2025</b>	20246	35	46.87	72.1
<b>2030</b>	22363	34	51.77	78.43
<b>2035</b>	24389	33	56.46	84.26
<b>2040</b>	26302	32	60.88	89.54
<b>2045</b>	28037	31	64.9	94.06
<b>2050</b>	29547	30	68.4	97.71

**Fuente:** Autor (2025)

Al comparar ambas tablas, se podrá observar que los valores calculados presentan similitudes generales, aunque con variaciones que podrían influir en los resultados del análisis a realizar en el software. Posteriormente, se evaluará cuál de los dos conjuntos de datos será el más adecuado para ser implementado en el modelo hidráulico.

### **2.5.2 Caudal máximo diario.**

“Consumo máximo registrado durante 24 horas a lo largo de un periodo de un año, mayorado por un coeficiente de consumo máximo diario.” (Jaramillo, 2022)

Se calculará multiplicando el caudal medio diario por un coeficiente conocido como K1, cuyo valor varía entre 1,2 y 1,3. Esta relación se presentará en detalle en la Ecuación (3).

**Ecuación 3.**

$$QMD = K1 * qmd$$

Donde:

QMD: Caudal Máximo Diario.

K1: Coeficiente (1.2-1.3).

qmd: Caudal Medio Diario.

El cálculo de este caudal, utilizando las proyecciones desarrolladas en el presente estudio, permitirá obtener los resultados que se detallarán en la Tabla 5.

**Tabla 5. Caudal Máximo de Diseño.**

<b>Año</b>	<b>Población</b>	<b>QMD (l/s)</b>
<b>2025</b>	18121	83.42
<b>2030</b>	20297	92.13
<b>2035</b>	22737	101.79
<b>2040</b>	25469	112.46
<b>2045</b>	28530	124.29
<b>2050</b>	31958	137.38

**Fuente:** Autor (2025).

Y por otro lado tenemos los datos suministrados en el documento mencionado anteriormente suministrado con datos obtenidos de (ETAPA EP, 2025); los datos se muestran en la Tabla 6:

**Tabla 6. Caudal Máximo de Diseño ETAPA EP.**

Año	Población	QMD (l/s)
2025	20246	93.73
2030	22363	101.96
2035	24389	109.54
2040	26302	116.4
2045	28037	122.28
2050	29547	127.02

**Fuente:** Autor (2025).

En este punto podemos observar diferencias significativas entre los dos datos, posteriormente se procederá a escoger los datos que se tomarán para el análisis del modelo hidráulico.

## **2.6 Periodo de Diseño.**

El periodo de diseño es un factor clave al momento de realizar un análisis de posibles mejoras en una red de agua potable debido a la importancia de saber si los componentes de esta cumplieron o están por cumplir su vida útil. “El periodo de diseño se define como el tiempo para el cual el sistema es eficiente ya sea por su capacidad o por la resistencia física de sus materiales.” (Jaramillo, 2022).

### **2.6.1 Vida útil**

La vida útil de la red dependerá de la resistencia física de los materiales utilizados a factores de desgaste, tales como corrosión, erosión y fragilidad.

Esta vida útil se visualiza en la Tabla 7, en donde nos detalla la durabilidad de cada material:

**Tabla 7. Vida útil de elementos de la red de agua potable.**

<b>Componente</b>	<b>Vida Útil (años)</b>
Diques grandes y túneles	50 a 100
Obras de captación	25 a 50
Pozos	10 a 25
Conducciones HD	40 a 50
Conducciones de AC o PVC	20 a 30
Planta de tratamiento	30 a 40
Tanques de almacenamiento	30 a 40
Tuberías principales y secundarias de la red:	
*De Hierro Dúctil	40 a 50
*De AC o PVC	20 a 25
Otros materiales	Variable

**Fuente:** (Secretaría Nacional del Agua, 1992)

### **2.6.2 Crecimiento de la población.**

Los factores económicos, sociales y de desarrollo industrial influyen de manera sustancial en la red de abastecimiento, la misma deberá ser capaz de absorber estas condiciones de tal manera que estas no afecten a su funcionamiento futuro.

### **2.6.3 Periodo de diseño según los materiales.**

Como menciona Jaramillo (2022), para definir el periodo de diseño para el análisis del comportamiento de la red se procederá a realizar un contraste con Criterios y Parámetros de Diseño para Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado de los Estudios y Diseños Finales de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento para la ciudad de Cuenca II ETAPA (TYPSA – ETAPA EP). Utilizando esta sección se obtiene un periodo de diseño de 25 años

para la evaluación del modelo hidráulico del sector estudiado como se muestra a continuación:

*Tabla 8. Periodo de diseño según materiales.*

<b>Componente</b>	<b>Periodo de Diseño</b>
Captaciones	30 años
Conducciones de Agua Tratada	30 años
Plantas de tratamiento AP	30 años
Reservas	30 años
Redes de distribución PVC	25 años
Equipo electromecánico y Bombeo	10 años
Plantas de depuración de AR	20 años

**Fuente:** TYPESA – ETAPA EP (2013).

## **2.7 Velocidades de la red**

Las velocidades de la red están establecidas según (Secretaria Nacional del Agua, 1992) en “Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes”, están establecidas entre 0,3 m/s (velocidad mínima para autolimpieza) y 2 m/s (límite superior), se recomienda mantener las velocidades cercanas a 1,5 m/s para optimizar el desempeño del sistema.

## CAPITULO III

### 3. MODELADO CON LOS DATOS ACTUALES.

#### 3.1 Selección y validación de datos.

En el presente trabajo de titulación se plantea utilizar estimaciones teóricas de caudales mediante proyecciones geométricas de la población y coeficientes de dotación estándar, siguiendo metodologías propuestas por la Secretaria Nacional del Agua (1992) y otras fuentes técnicas. Sin embargo, para el análisis hidráulico que se desarrollará, se considerarán los caudales máximos de diseño proporcionados por la empresa pública ETAPA EP, entidad responsable del sistema de agua potable de Cuenca.

Esta decisión se fundamenta en que los datos entregados por (ETAPA EP, 2025) representan valores oficiales y operativos, calculados con base en registros históricos de consumo, características específicas de la red del sector Cruz Verde 4B1, y la aplicación de coeficientes de demanda adecuados a las condiciones locales. Además, estos caudales consideran aspectos técnicos como las pérdidas reales, variaciones diarias y horarias, el estado actual de la infraestructura y los patrones de consumo observados, lo que garantizará una mayor precisión y confiabilidad en las simulaciones hidráulicas.

El uso de esta información institucional evitará posibles errores asociados a la sobrestimación o subestimación de caudales que podría derivarse de una proyección puramente teórica. Asimismo, reforzará la validez técnica del estudio, al alinearse con criterios locales y datos reales empleados por la entidad responsable de la planificación y operación del sistema.

Por lo tanto, el uso de los caudales oficiales de (ETAPA EP, 2025) mejorará la representatividad del modelo hidráulico y otorgará al presente trabajo un mayor grado de aplicabilidad práctica y sustento técnico.

### **3.2 Ingreso de los datos al modelo hidráulico.**

Los datos proporcionados por ETAPA EP para los caudales máximos horarios son los siguientes:

***Tabla 9. Caudales Máximos Horarios.***

<b>QMH (l/s)</b>	
2025	129.78
2030	141.18
2035	151.67
2040	161.16
2045	169.31
2050	175.88

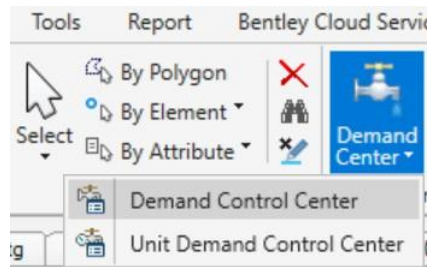
**Fuente:** ETAPA EP (2025)

Además de otorgar una dotación de 200 l/s para el ingreso dentro del modelo hidráulico.

#### **3.2.1 Modificación de la demanda.**

##### **3.2.1.1 Ubicación del editor.**

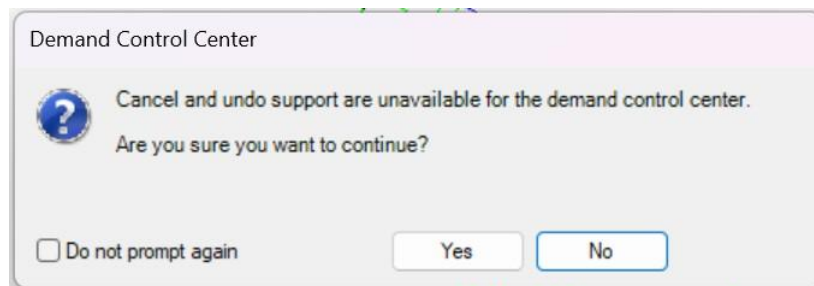
En el apartado “Home” se ubica el editor llamado “Demand Center” se procede a dar clic izquierdo, para posteriormente ubicar la pestaña “Demand Control Center” dando clic izquierdo nuevamente en el mismo. Se observa en la Ilustración 5.



*Ilustración 5. Ubicación del Editor de Demanda.*

**Fuente:** Autor (2025).

Posterior a este proceso el programa entrega un mensaje de aviso sobre la función de cancelar y deshacer al momento de editar la demanda. Es necesario dar clic en “Yes” para continuar a editar. El mensaje se muestra en la Ilustración 6.

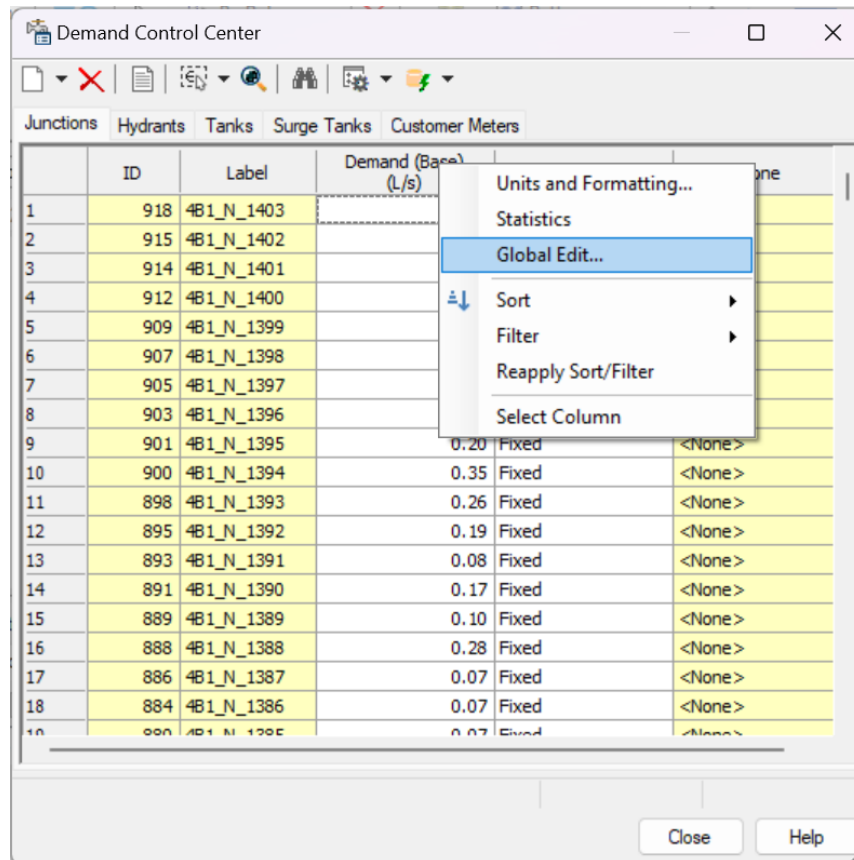


*Ilustración 6. Mensaje de aviso.*

**Fuente:** Autor (2025).

### **3.2.1.2 Edición global.**

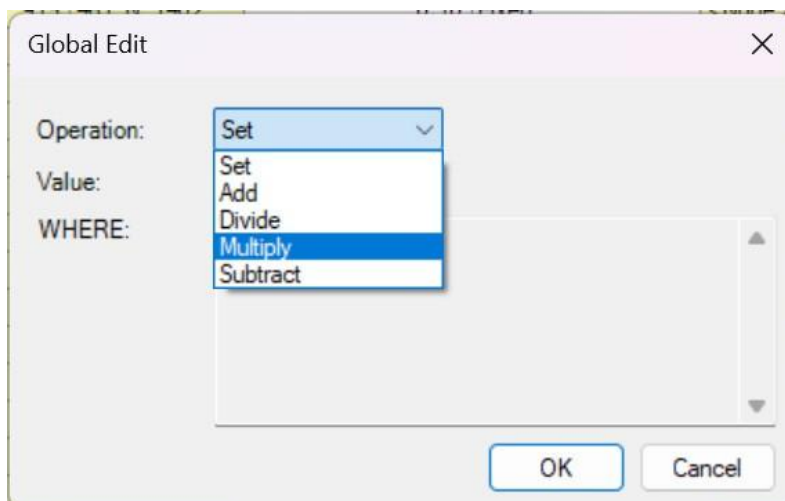
Para que el factor de multiplicación ingresado edite todo el modelo hidráulico es necesario realizar una edición global o “global edit”. Esto se realiza dando clic derecho en el apartado “Demand” de la pestaña que aparece posterior al mensaje de la Ilustración 6. Al momento de realizar eso se observa una pestaña que muestra el apartado “global edit” Ilustración 7, se debe ingresar en el mismo.



*Ilustración 7. Pestaña de Control de Demanda.*

**Fuente:** Autor (2025).

Una vez que se ingresa en el apartado “Global Edit” muestra una pestaña nueva la misma se observa en la Ilustración 8, esta permitirá elegir mediante qué forma queremos editar el modelo hidráulico. Elegimos “Multiply” ya que se utiliza un factor de multiplicación, ingresamos el valor en “Value” y damos en aceptar.



*Ilustración 8. Pestaña de Edición Global.*

**Fuente:** Autor (2025).

### **3.2.2 Comparación de demanda.**

Una vez ejecutados los pasos se corre el programa, al hacerlo debe entregar el caudal para el año en el que se quiere analizar el modelo hidráulico, ya que según eso se presentaran diferentes falencias debido a los distintos caudales presentados.

Como se observa en la Ilustración 9, para el año 2025 después de seguir todos los pasos el programa presenta una demanda de 128 (l/s) presentando un error de menos del 0.78% en comparación con los datos propuestos por ETAPA EP.

rs)	Balanced?	Trials	Relative Flow Change	Flow Supplied (L/s)	Flow Demanded (L/s)
e Steps(1)	True	8	0.0000449	3.596	128
	True	8	0.0000449	3.596	128

Time Step	Element ID	Message

Show this dialog after Compute

*Ilustración 9. Análisis Demanda Final 2025.*

**Fuente:** Autor (2025).

Mientras que para el año 2050 después de seguir todos los pasos anteriores entrega una demanda de 176 (l/s) teniendo en este caso un error menor al 0.069% comparado con los datos presentados, esto también se puede observar en la Ilustración 10.

Node	Trials	Relative Flow Change	Flow Supplied (L/s)	Flow Demanded (L/s)	Flow Stored (L/s)
node 1	8	0.0000278	3,596	176	3,420
node 2	8	0.0000278	3,596	176	3,420

**Ilustración 10.** Análisis Demanda Final 2050.

**Fuente:** Autor (2025).

### 3.3 Análisis de datos.

#### 3.3.1 Análisis presión en los nodos.

Una vez corroborado que los datos coinciden con un margen de error muy pequeño se procede a obtener tablas para el posterior análisis de los datos del modelo hidráulico. Se tiene que para el 2025 las presiones en los nodos del modelo se mantienen dentro de los parámetros correctos en la mayoría de ellos, tan solo en el 2.23% de los nodos se presentan presiones menores a las recomendadas. Las presiones y los nodos con problemas los podemos observar a continuación:

**Tabla 10.** *Nodos y Presiones Bajas 2025.*

<b>TRAMO</b>	<b>ELEVACIÓN</b>	<b>PRESIÓN</b>
4B1_N_1570	2,532.57	-0.3
4B1_N_1240	2,561.99	3.7
4B1_N_1216	2,584.56	4.1
4B1_N_1517	2,551.17	4.5
4B1_N_1215	2,582.66	6
4B1_N_1542	2,525.86	6.4
4B1_N_1172	2,560.34	6.8
4B1_N_1394	2,525.35	6.9
4B1_N_1395	2,524.44	7.7
4B1_N_1084	2,559.10	8
4B1_N_1239	2,557.42	8.3
4B1_N_1085	2,557.53	9.6
4B1_N_1562	2,546.58	9.6

**Fuente:** Autor (2025).

Para el año 2050 la situación es muy distinta, en el modelo hidráulico analizado se observa que la presencia de presiones bajas en los nodos aumenta considerablemente. Sube de 2.23% al 8.58% de nodos con presiones bajas, como se observa en la Tabla 11. Esto presenta un inconveniente dentro del modelo ya que no cumple con lo mínimo requerido. Se observa además presiones negativas lo cual sería un problema grave debido a que pueden generar una serie de consecuencias negativas tanto en la operación hidráulica del sistema como en la seguridad sanitaria del agua distribuida.

**Tabla 11. Nodos y Presiones Bajas 2050.**

<b>TRAMO</b>	<b>ELEVACION</b>	<b>PRESION MCA</b>
4B1_N_1570	2,532.57	-34.6
4B1_N_1542	2,525.86	-27.8
4B1_N_1394	2,525.35	-27.3
4B1_N_1395	2,524.44	-26.5
4B1_N_1494	2,522.24	-23.9
4B1_N_1573	2,521.30	-21.9
4B1_N_1495	2,516.23	-17.9
4B1_N_1575	2,515.84	-15.8
4B1_N_1222	2,513.85	-14.5
4B1_N_1223	2,513.84	-14.4
4B1_N_1461	2,512.61	-13.2
4B1_N_1319	2,511.75	-12.3
4B1_N_1517	2,551.17	-11.5
4B1_N_1389	2,510.08	-10.6
4B1_N_1488	2,508.87	-9.4
4B1_N_1398	2,507.48	-8.2
4B1_N_1470	2,507.67	-8.1
4B1_N_1388	2,506.09	-6.8
4B1_N_1400	2,506.02	-6.5
4B1_N_1562	2,546.58	-6.1
4B1_N_1312	2,545.80	-5.6
4B1_N_1305	2,504.99	-5.4
4B1_N_1240	2,561.99	-4.6
4B1_N_1304	2,503.90	-4.2
4B1_N_1523	2,503.86	-4.2
4B1_N_1415	2,504.10	-4.1
4B1_N_1433	2,503.19	-3.3
4B1_N_1414	2,502.92	-2.9
4B1_N_1134	2,502.41	-2.6
4B1_N_1518	2,541.37	-2.2
4B1_N_1133	2,501.91	-2.1
4B1_N_1479	2,542.10	-1.9
4B1_N_1089	2,501.16	-1.2
4B1_N_1088	2,501.04	-1.1
4B1_N_1550	2,541.20	-1.1
4B1_N_1564	2,540.01	-0.9

**Fuente:** Autor (2025).

*Tabla 12. Continuación Tabla 11.*

TRAMO	ELEVACION	PRESION MCA
4B1_N_1529	2,539.35	-0.7
4B1_N_1172	2,560.34	-0.2
4B1_N_1239	2,557.42	0
4B1_N_1213	2,499.46	0.5
4B1_N_1212	2,499.46	0.5
4B1_N_1084	2,559.10	1.1
4B1_N_1311	2,539.15	1.3
4B1_N_1085	2,557.53	2.6
4B1_N_1216	2,584.56	4.1
4B1_N_1068	2,555.86	4.3
4B1_N_1215	2,582.66	6
4B1_N_1267	2,551.24	6.2
4B1_N_1069	2,553.89	6.3
4B1_N_1533	2,551.21	9

**Fuente:** Autor (2025).

Desde el punto de vista sanitario, las presiones negativas favorecen al ingreso de fluidos externos al interior de la red debido a la inversión del gradiente de presión. Esto puede permitir la infiltración de contaminantes desde el entorno, especialmente si existen conexiones defectuosas, tuberías fisuradas o interferencias con redes de aguas servidas, lo cual representa un riesgo directo para la salud de los consumidores.

Por esta razón, normativas técnicas como las de (Secretaría Nacional del Agua, 1992), establecen que no debe existir presión negativa en ningún punto de una red de distribución, siendo necesario garantizar presiones positivas, normalmente mayores a 10 metros de columna de agua, en todas las condiciones de operación.

La presencia de presiones negativas debe ser identificada y corregida en la fase de diagnóstico hidráulico del sistema, proponiendo soluciones como la redistribución de cargas, instalación de válvulas de control o rediseño de tramos críticos.

### **3.3.2 Delimitación de zonas.**

En el modelo se aprecia que la zona total analizada es muy amplia por lo cual no permite realizar un análisis exhaustivo del mismo. Al dividir toda la zona de estudio permitirá presentar alternativas individuales para cada una de ellas, de tal manera que estas puedan ser llevadas a cabo de acuerdo con las necesidades primordiales del sector.

Se ha propuesto delimitar en 3 zonas de estudio las mismas que se presentaran a continuación:

#### **3.3.2.1 Zona 1.**

Esta zona es la de mayor tamaño conformada con alrededor de 100 hectáreas. Por esta zona es donde se encuentra el ingreso del flujo de agua potable a la red. Puede considerarse residencial y comercial, se encuentran gran cantidad de casas, negocios, además de escuelas y colegios. La zona esta delimitada por:

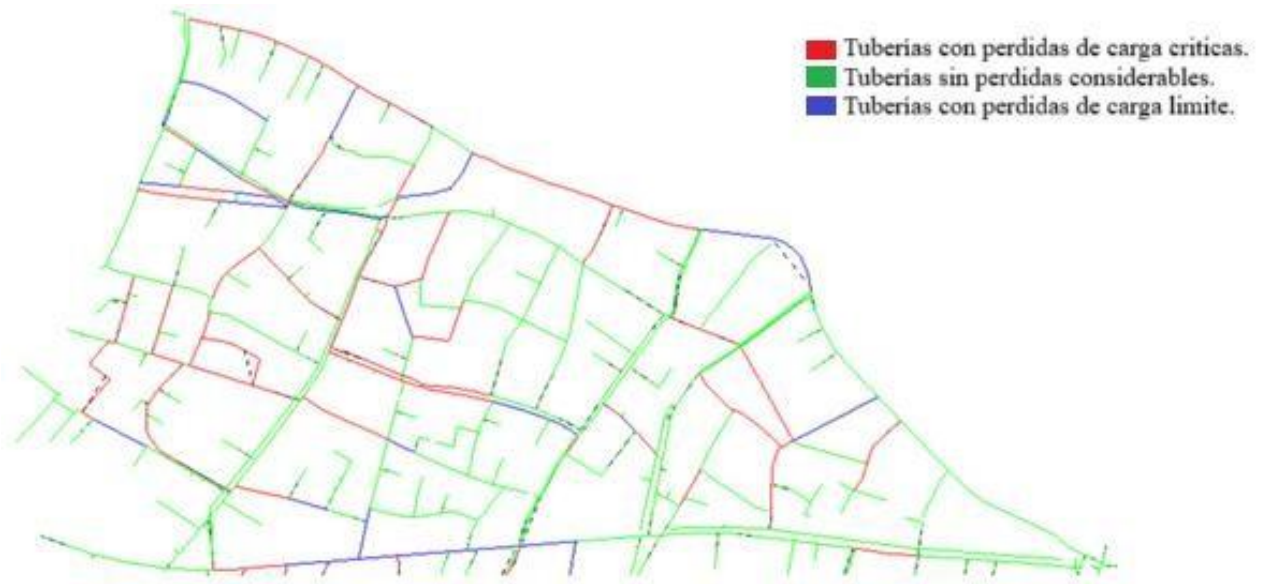
**Norte:** Av. Primero de Mayo

**Sur:** Av. Don Bosco.

**Este:** Redondel Tres Puentes.

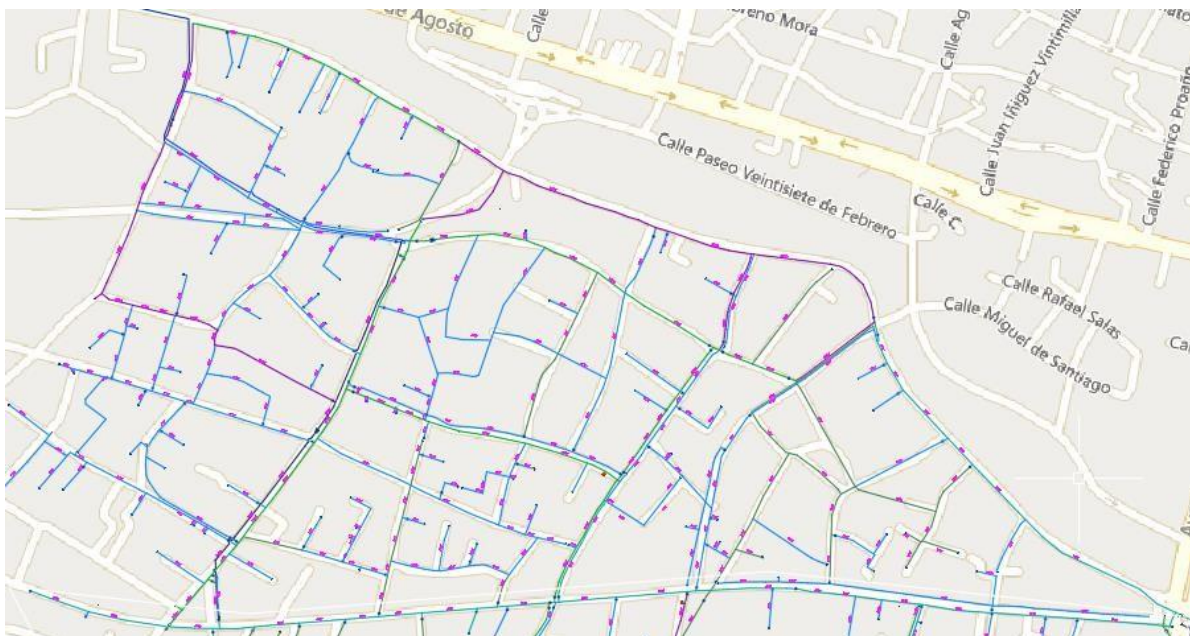
**Oeste:** Calle Francisco de Orellana.

La Ilustración 11 muestra la Zona 1 una vez realizada la proyección de la población para el 2050 como se mencionó previamente.



**Ilustración 11.** Zona 1.

**Fuente:** Autor (2025).



**Ilustración 12.** Zona 1 Mapa.

**Fuente:** Jaramillo (2022).

### 3.3.2.2 Zona 2.

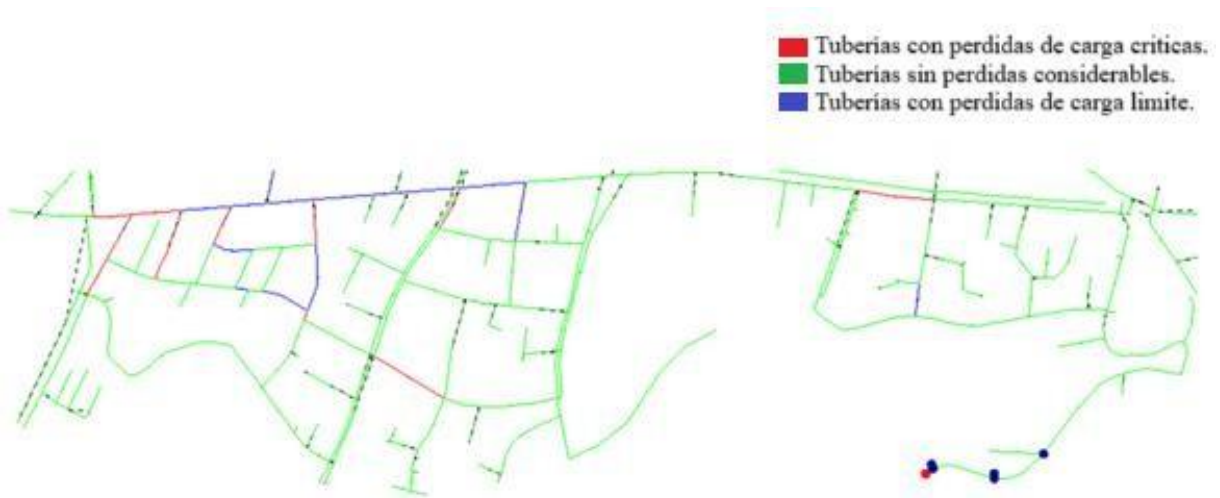
La Zona 2 está conformada de alrededor de 82 hectáreas, sin embargo, esta zona se encuentra cubierta por menor cantidad de tuberías comparado con la Zona 1 como observa en la Ilustración 12. De igual manera la zona es comercial y residencial, contando con colegios en la zona y un centro comercial. La zona es delimitada por:

**Norte:** Av. Don Bosco.

**Sur:** Troncal de la Sierra

**Este:** Camino Viejo a Turi

**Oeste:** Av. 12 de Octubre.



**Ilustración 13.** Zona 2.

**Fuente:** Autor (2025).



***Ilustración 14. Zona 2 Mapa***

**Fuente:** (Hurtado, 2006)

### **3.3.2.3 Zona 3.**

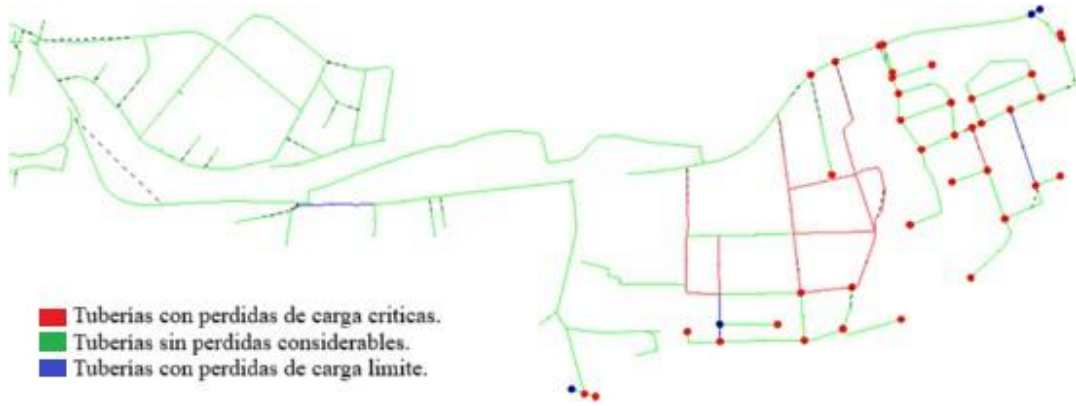
Es la última zona, sin embargo, no es la menos importante. Esta cuenta con alrededor de 75 hectáreas con un porcentaje importante de tuberías dentro de su área, sin embargo, la Zona 1 sigue siendo la que más tuberías tiene por metro cuadrado. Considerado una zona comercial y poco residencial contando con la Universidad del Azuay dentro de los límites de esta. Esta delimitada por:

**Norte:** Paseo Rio Cuenca.

**Sur:** Troncal de la Sierra.

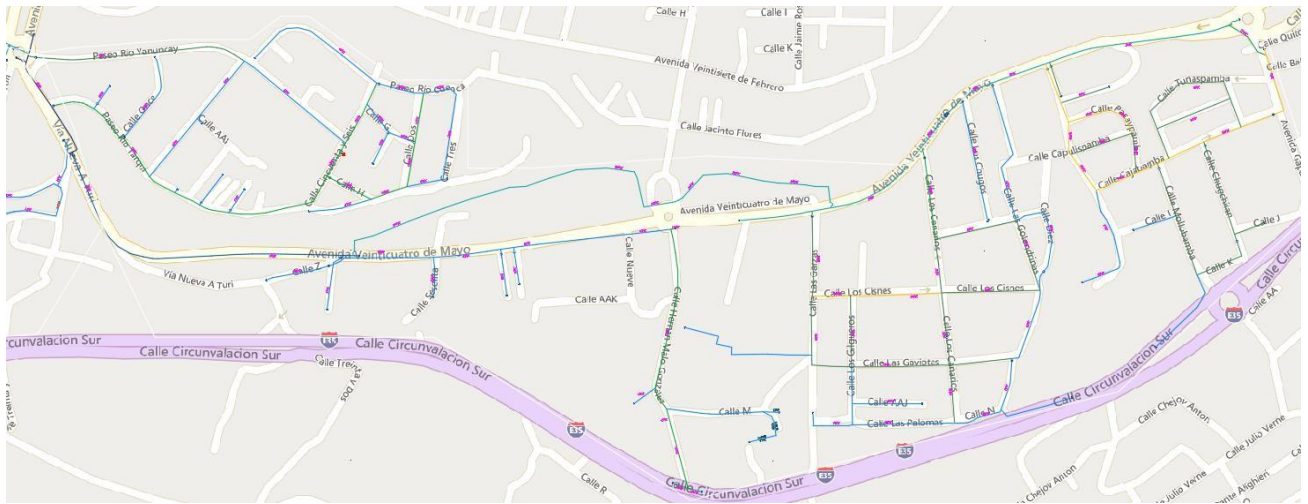
**Este:** Av. Gapal

**Oeste:** Redondel Tres Puentes.



**Ilustración 15. Zona 3.**

**Fuente:** Autor (2025).



**Ilustración 16. Zona 3 Mapa.**

**Fuente:** Jaramillo (2022).

## CAPITULO IV

### 4. ANÁLISIS DE VULNERABILIDADES Y PROPUESTAS DE OPTIMIZACIÓN.

#### 4.1 Análisis de Vulnerabilidades.

##### 4.1.1 Análisis visual.

Después de realizar la simulación para el año 2050 se puede observar en el modelo que una gran cantidad de tuberías presenta pérdida de carga significativa lo cual representa un problema. Además de presentarse problemas de presión en los nodos según lo observado en la Ilustración 19 ya que podemos observar presiones menores a 10 m.c.a.

El análisis visual se desarrolló mediante una codificación cromática de las tuberías según sus niveles de pérdida de carga. Estas se clasificaron de la siguiente forma:

- **Rojo:** pérdida de carga superior a 12 m/km (0.012 m/m).
- **Azul:** pérdida entre 0.007 m/m y 0.012 m/m (estado aceptable).
- **Verde:** pérdida inferior a 0.007 m/m (condición óptima).

	Value <= (m/km)	Color
0	7.000	0, 255, 0
1	12.000	0, 0, 255
2	200.000	255, 0, 0
*		

*Ilustración 17. Límites de Pérdida de Carga.*

**Fuente:** Autor (2025).

De igual manera, los nodos se representaron gráficamente con colores asociados al rango de presiones. Según la normativa técnica Secretaria Nacional del Agua (1992), la presión mínima permitida es de 10 m.c.a. y la presión estática máxima no debe superar los 70 m.c.a., con una presión dinámica máxima de 50 m.c.a. Los rangos se codificaron así:

- **Rojo:** menor a 0 m.c.a.
- **Azul:** entre 0 y 10 m.c.a.
- **Morado:** entre 10 y 55 m.c.a.
- **Anaranjado:** entre 55 y 70 m.c.a.

	Value <= (m H2O)	Color	Size
0	0.0	255, 0, 0	7
1	10.0	0, 128, 255	7
2	55.0	255, 128, 255	1
3	70.0	255, 128, 0	1
*			

*Ilustración 18. Límites de Presión.*

**Fuente:** Autor (2025).

#### 4.1.2 Análisis de pérdida de cargas.

Según lo analizado visualmente se tiene una cantidad significativa de tuberías con pérdidas de cargas, como se puede observar en la Ilustración 11, 13 y 15, mostrando la zona 1, 2 y 3 respectivamente. El análisis es correcto ya que, según los datos analizados en el modelo hidráulico, de las 695 tuberías que el modelo contiene, aproximadamente el 16.69% o 116 de estas presenta problemas de pérdidas de carga como se observa en la Tabla 13.

*Tabla 13. Tuberías con Perdidas de Carga.*

<b>TRAMO</b>	<b>PERDIDA DE CARGA (m/km)</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1234	12.182	63	PVC
4B1_T_1559	12.389	50	PVC
4B1_T_1656	12.618	63	PVC
4B1_T_1448	12.929	110	PVC
4B1_T_1430	13.097	200	AC
4B1_T_1142	13.112	200	AC
4B1_T_1622	13.167	63	PVC
4B1_T_1490	13.59	50	PVC
4B1_T_1144	13.986	63	PVC
4B1_T_1566	14.051	110	PVC
4B1_T_1337	14.179	63	PVC
4B1_T_1305	14.309	110	PVC
4B1_T_1652	14.322	50	PVC
4B1_T_1589	14.323	50	PVC
4B1_T_1584	14.417	63	PVC
4B1_T_1598	14.586	63	PVC
4B1_T_1341	14.743	200	AC
4B1_T_1617	14.758	110	PVC
4B1_T_1045	14.785	110	PVC
4B1_T_1551	15.178	63	PVC
4B1_T_1222	15.403	63	PVC
4B1_T_1549	15.468	63	PVC
4B1_T_1016	15.839	110	PVC
4B1_T_1607	16.166	63	PVC
4B1_T_1049	16.384	63	PVC
4B1_T_1474	16.396	50	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

**Tabla 14.** Continuación Tabla 13.

<b>TRAMO</b>	<b>PERDIDA DE CARGA (m/km)</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1531	16.46	50	PVC
4B1_T_1148	16.533	63	PVC
4B1_T_1383	16.732	50	PVC
4B1_T_1325	16.809	110	PVC
4B1_T_1576	17.557	63	PVC
4B1_T_1310	17.621	50	PVC
4B1_T_1410	17.778	63	PVC
4B1_T_1638	17.94	63	PVC
4B1_T_1573	18.004	63	PVC
4B1_T_1436	18.508	110	PVC
4B1_T_1282	18.635	110	PVC
4B1_T_1373	18.694	50	PVC
4B1_T_1166	18.768	50	PVC
4B1_T_1367	18.892	63	PVC
4B1_T_1513	19.065	50	PVC
4B1_T_1109	19.132	50	PVC
4B1_T_1292	19.185	110	PVC
4B1_T_1233	19.422	110	PVC
4B1_T_1343	19.536	50	PVC
4B1_T_1505	19.818	50	PVC
4B1_T_1275	19.868	63	PVC
4B1_T_1302	19.874	63	PVC
4B1_T_1403	19.969	63	PVC
4B1_T_1612	20.061	160	PVC
4B1_T_1180	20.287	110	PVC
4B1_T_1138	20.347	160	PVC
4B1_T_1384	20.654	110	PVC
4B1_T_1611	20.892	63	PVC
4B1_T_1441	21.831	63	PVC
4B1_T_1591	21.923	63	PVC
4B1_T_1572	21.95	63	PVC
4B1_T_1404	22.007	110	PVC
4B1_T_1500	22.041	110	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

**Tabla 15. Continuación Tabla 13.**

<b>TRAMO</b>	<b>PERDIDA DE CARGA (m/km)</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1395	22.405	50	PVC
4B1_T_1213	22.549	110	PVC
4B1_T_1535	22.852	50	PVC
4B1_T_1015	22.908	160	PVC
4B1_T_1379	22.94	110	PVC
4B1_T_1335	23.375	110	PVC
4B1_T_1663	24.882	160	PVC
4B1_T_1646	26.288	63	PVC
4B1_T_1583	26.314	63	PVC
4B1_T_1563	26.661	50	PVC
4B1_T_1574	27.129	50	PVC
4B1_T_1564	27.14	50	PVC
4B1_T_1353	27.235	63	PVC
4B1_T_1053	27.475	63	PVC
4B1_T_1299	28.633	63	PVC
4B1_T_1118	28.999	63	PVC
4B1_T_1116	31.151	50	PVC
4B1_T_1484	31.287	110	PVC
4B1_T_1199	31.527	63	PVC
4B1_T_1100	31.818	63	PVC
4B1_T_1068	32.569	110	PVC
4B1_T_1459	32.956	63	PVC
4B1_T_1324	33.242	63	PVC
4B1_T_1376	33.577	50	PVC
4B1_T_1571	34.001	50	PVC
4B1_T_1609	35.105	63	PVC
4B1_T_1243	36.68	63	PVC
4B1_T_1263	37.061	63	PVC
4B1_T_1443	37.565	63	PVC
4B1_T_1538	38.255	50	PVC
4B1_T_1085	38.653	63	PVC
4B1_T_1378	39.069	63	PVC
4B1_T_1450	41.573	63	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

**Tabla 16.** Continuación Tabla 13.

<b>TRAMO</b>	<b>PERDIDA DE CARGA (m/km)</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1002	41.814	63	PVC
4B1_T_1399	42.859	50	PVC
4B1_T_1006	43.109	50	PVC
4B1_T_1033	44.8	50	PVC
4B1_T_1308	45.214	110	PVC
4B1_T_1499	45.308	63	PVC
4B1_T_1295	46.789	63	PVC
4B1_T_1629	49.38	50	PVC
4B1_T_1506	51.289	63	PVC
4B1_T_1453	53.776	50	PVC
4B1_T_1108	54.811	63	PVC
4B1_T_1207	55.834	63	PVC
4B1_T_1511	63.007	110	PVC
4B1_T_1010	64.777	50	PVC
4B1_T_1178	72.71	110	PVC
4B1_T_1247	81.662	110	PVC
4B1_T_1394	105.182	63	PVC
4B1_T_1279	108.605	63	PVC
4B1_T_1601	125.017	50	PVC
4B1_T_1679	128.201	600	PVC
4B1_T_1657	158.604	63	PVC
4B1_T_1483	170.548	50	PVC
4B1_T_1597	192.428	50	PVC
4B1_T_1087	246.392	110	PVC

**Fuente:** Autor (2025)

De este 16.69% de tuberías que se encuentran en condiciones de pérdida de carga crítica, el 78.45% pertenece a la Zona 1, el 8.62% pertenece a la Zona 2 y 12.93% se encuentra en la Zona 3. Estos porcentajes nos muestran que en la Zona 1 se tiene un conflicto evidenciado en la Ilustración 11 que posiblemente derive hacia la Zona 3 ya que el flujo de agua potable que ingresa a la Zona 3 pasa previamente por la Zona 1 pudiendo ahí reducir

presiones. El total de tubería que presenta esta falla es de 8160.28 metros los cuales serán analizados para su posterior solución.

Estas pérdidas de carga fueron totalmente esperables debido a factores como el tiempo que genera desgaste en las tuberías generando rugosidad interna aumentando la fricción en las mismas. Además, el crecimiento de la población en la zona implica que la demanda aumentará, así incrementando las velocidades de flujo dando como resultado una pérdida progresiva de cargas debido a la fricción.

#### **4.1.3 Análisis de pérdidas de presión.**

Mediante el análisis del modelo se observa que la zona donde se presenta la mayoría de los nodos con presiones inferiores a la recomendada es en la que delimitada por las calles:

- **Norte:** Av. 24 de Mayo.
- **Sur:** Troncal de la Sierra.
- **Este:** Av. Gapal.
- **Oeste:** Hernán Malo.

Esta zona forma parte de la zona de estudio 3 la misma que como se dedujo anteriormente podía generar inconvenientes debido a las pérdidas de carga de las Zona 1, también se puede observar que en esta zona se tiene 15 tuberías con problemas de pérdidas de carga, generando aún más problemas de presión en ella. Esta zona la podemos ubicar en la Ilustración 19 en el software WaterGEMS y ubicado en el mapa en la Ilustración 20



## 4.2 Propuestas de optimización.

Mediante el análisis en el modelo hidráulico se pudo llegar a la respuesta esperada de que al momento de aumentar los diámetros en las tuberías de la red mejora sustancialmente las pérdidas de carga y con esto las pérdidas de presión en los nodos de la red que presentaban fallas. Esto debido a que las tuberías reducen la velocidad de flujo ya que tiene mucho más espacio para poder circular; al reducir la velocidad de flujo también reduce el desgaste en la misma.

### 4.2.1 Cambios zona 1.

Como se mencionó anteriormente la Zona 1 fue la que mayor porcentaje de tuberías con problemas de pérdida de carga presento, los cambios que se realizó fueron aumentar el diámetro de varias tuberías en la zona las mismas se encuentran especificadas en la Tabla 17, 18, 19 y 20.

*Tabla 17. Mejoras Zona 1.*

<b>MEJORAS ZONA 1</b>				
<b>TRAMO</b>	<b>INICIAL (mm)</b>	<b>MEJORA (mm)</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>LONGITUD (m)</b>
4B1_T_1087	110	300	PVC	11.28
4B1_T_1663	160	300	PVC	249.24
4B1_T_1138	160	300	PVC	19.78
4B1_T_1612	160	300	PVC	131.22
4B1_T_1027	160	300	PVC	4.7

**Fuente:** Autor (2025).

*Tabla 18. Continuación Tabla 16.*

<b>MEJORAS ZONA 1</b>				
<b>TRAMO</b>	<b>INICIAL (mm)</b>	<b>MEJORA (mm)</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>LONGITUD (m)</b>
4B1_T_1010	50	110	PVC	3.05
4B1_T_1321	50	110	PVC	50.77
4B1_T_1428	50	110	PVC	68.57
4B1_T_1155	50	110	PVC	22.84
4B1_T_1408	50	110	PVC	64.72
4B1_T_1166	50	110	PVC	24.33
4B1_T_1399	50	110	PVC	65.36
4B1_T_1474	50	110	PVC	75.32
4B1_T_1535	50	110	PVC	93.6
4B1_T_1310	50	110	PVC	50.08
4B1_T_1006	50	110	PVC	2.18
4B1_T_1503	63	110	PVC	83.26
4B1_T_1150	63	110	PVC	22.05
4B1_T_1647	63	110	PVC	159.8
4B1_T_1306	63	110	PVC	48.93
4B1_T_1299	63	110	PVC	48.71
4B1_T_1441	63	110	PVC	69.9
4B1_T_1450	63	110	PVC	71.26
4B1_T_1263	63	110	PVC	41.43
4B1_T_1459	63	110	PVC	73
4B1_T_1410	63	110	PVC	65.16
4B1_T_1207	63	110	PVC	32.87
4B1_T_1108	63	110	PVC	14.18
4B1_T_1443	63	110	PVC	70.22
4B1_T_1085	63	110	PVC	10.97
4B1_T_1609	63	110	PVC	163.31
4B1_T_1148	63	110	PVC	21.19
4B1_T_1562	63	110	PVC	101.75
4B1_T_1528	63	110	PVC	89.05
4B1_T_1140	63	110	PVC	19.92

**Fuente:** Autor (2025).

**Tabla 19. Continuación Tabla 17.**

<b>MEJORAS ZONA 1</b>				
<b>TRAMO</b>	<b>INICIAL (mm)</b>	<b>MEJORA (mm)</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>LONGITUD (m)</b>
4B1_T_1317	63	110	PVC	50.56
4B1_T_1551	63	110	PVC	97.66
4B1_T_1049	63	110	PVC	6.32
4B1_T_1053	63	110	PVC	6.63
4B1_T_1060	63	110	PVC	6.99
4B1_T_1186	63	110	PVC	28.61
4B1_T_1002	63	110	PVC	1.03
4B1_T_1638	63	110	PVC	153.76
4B1_T_1100	63	110	PVC	12.66
4B1_T_1394	63	110	PVC	63.19
4B1_T_1295	63	110	PVC	47.63
4B1_T_1598	63	110	PVC	120.99
4B1_T_1480	63	110	PVC	77.96
4B1_T_1646	63	110	PVC	159.88
4B1_T_1611	63	160	PVC	132.7
4B1_T_1584	63	160	PVC	111.16
4B1_T_1222	63	160	PVC	35.42
4B1_T_1484	110	160	PVC	78.51
4B1_T_1511	110	160	PVC	84.61
4B1_T_1308	110	160	PVC	49.4
4B1_T_1022	110	160	PVC	4.23
4B1_T_1081	110	160	PVC	10.25
4B1_T_1591	63	200	PVC	150.27
4B1_T_1506	63	200	PVC	83.72
4B1_T_1083	63	200	PVC	10.8
4B1_T_1378	63	200	PVC	59.41
4B1_T_1199	63	200	PVC	30.29
4B1_T_1118	63	200	PVC	17.08
4B1_T_1656	63	200	PVC	209.15
4B1_T_1335	110	200	PVC	52.96

**Fuente:** Autor (2025).

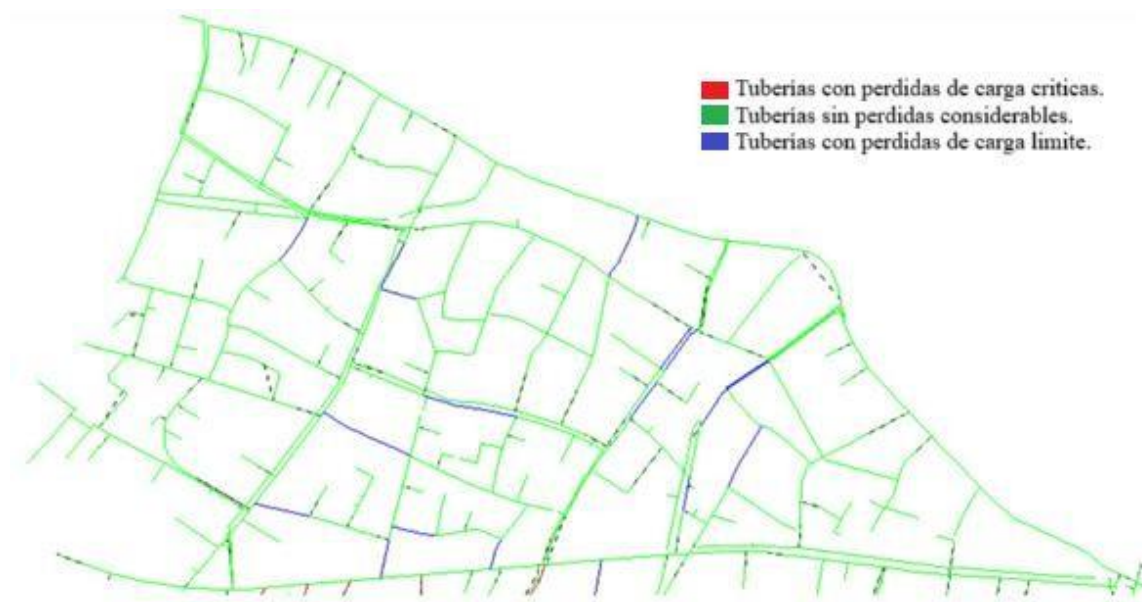
*Tabla 20. Continuación Tabla 17.*

<b>MEJORAS ZONA 1</b>				
<b>TRAMO</b>	<b>INICIAL (mm)</b>	<b>MEJORA (mm)</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>LONGITUD (m)</b>
4B1_T_1213	110	200	PVC	34.06
4B1_T_1404	110	200	PVC	64.52
4B1_T_1384	110	200	PVC	59.97
4B1_T_1180	110	200	PVC	27
4B1_T_1436	110	200	PVC	69.43
4B1_T_1379	110	200	PVC	59.48
4B1_T_1500	110	200	PVC	82.58
4B1_T_1031	110	200	PVC	5.25
4B1_T_1122	110	200	PVC	16.87
4B1_T_1265	110	200	PVC	42.16
4B1_T_1073	110	200	PVC	9.26
4B1_T_1105	110	200	PVC	13.82
4B1_T_1557	160	200	PVC	100.11
4B1_T_1096	160	200	PVC	12.1
4B1_T_1328	160	200	PVC	51.62
4B1_T_1570	160	200	PVC	105.75
4B1_T_1204	160	200	PVC	35.25
4B1_T_1279	63	250	PVC	45.41
4B1_T_1324	63	250	PVC	50.9
4B1_T_1178	110	250	PVC	26.91
4B1_T_1247	110	250	PVC	39.4
4B1_T_1271	160	250	PVC	43.54
4B1_T_1649	160	250	PVC	161.66
4B1_T_1015	160	250	PVC	3.79
4B1_T_1630	160	250	PVC	156.88
4B1_T_1658	160	250	PVC	238.56
4B1_T_1189	200	250	AC	31.73
4B1_T_1238	200	250	AC	37.68
4B1_T_1296	200	250	AC	47.86
4B1_T_1558	200	250	AC	100.59
4B1_T_1351	200	250	AC	54.88

**Fuente:** Autor (2025).

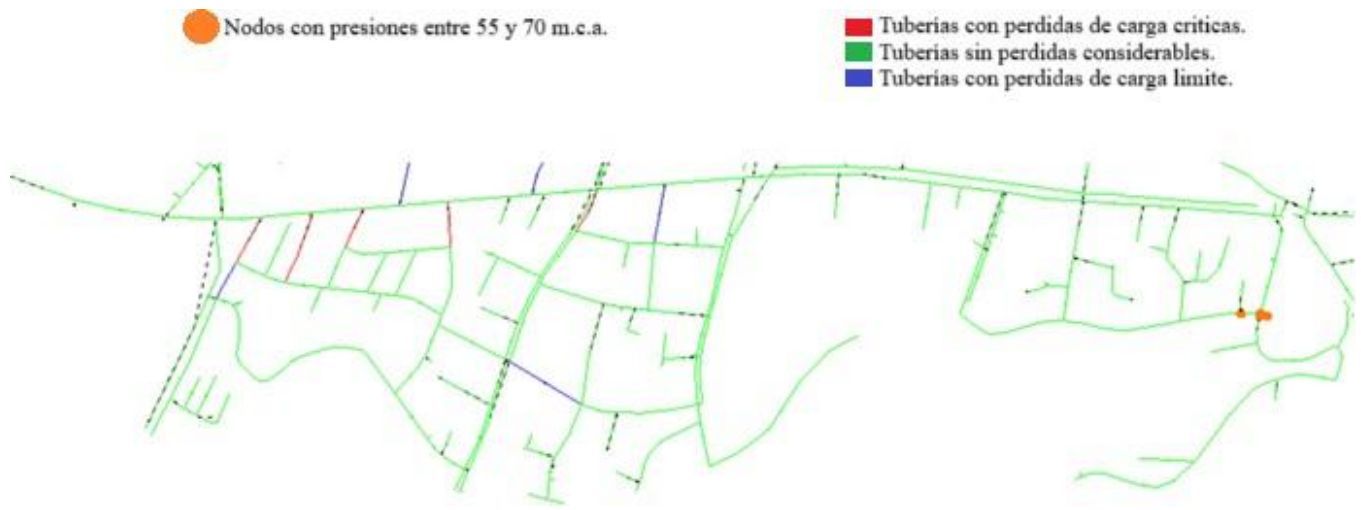
Una vez realizado los cambios se pudo observar una mejora notable no solamente en la Zona 1 sino también en la Zona 2 y Zona 3. Se realizó la sustitución de un total de 96 tramos dentro de la Zona 1 siendo un porcentaje mayor a las que presentaban fallas, un total de 5 tramos extra, esto debido a que al momento de realizar las mejoras en una zona las zonas aguas abajo no cumplen con los diámetros suficientes y presentan pérdidas de carga.

En la Ilustración 21 podemos observar la Zona 1 posterior a las mejoras realizadas en las tuberías, mientras que en la Ilustración 22 y 23 se puede observar la Zona 2 y Zona 3 respectivamente una vez que se mejoró la Zona 1. Como se mencionó, estas zonas también presentaron cambios notables como aumento de presión como se verá en las Ilustraciones siguientes:



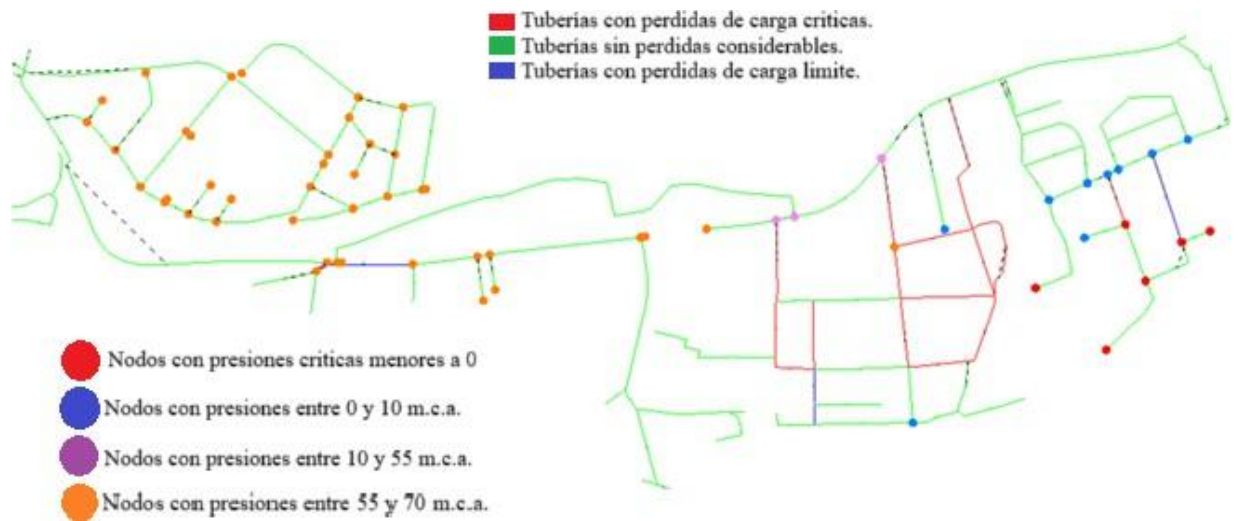
***Ilustración 21. Zona 1 Mejorada.***

**Fuente:** Autor (2025).



*Ilustración 22. Zona 2 post mejoras Zona 1.*

**Fuente:** Autor (2025).



*Ilustración 23. Zona 3 post mejoras Zona 1.*

**Fuente:** (Autor, 2025)

Una vez verificado que el modelo hidráulico en la zona funcione de manera adecuada y que se obtiene la cantidad de tramos que son necesarios cambiar para la mejora y optimización de la red, obtenemos el total de tubería necesario para poder realizar los cambios en campo. Teniendo en la zona 1 un total de 5926.85 metros de tuberías propuestas para cambio, las cuales se distribuyen en cinco diferentes diámetros, su distribución total la podemos observar de mejor manera en la Tabla 21.

**Tabla 21.** Tuberías zona 1.

<b>TUBERIAS ZONA 1</b>		
<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>LONGITUD (m)</b>	<b>TUBERÍA (u)</b>
110	2561.65	427
160	506.28	85
200	1402.91	233
250	1039.79	173
300	416.22	69
<b>TOTAL</b>	<b>5926.85</b>	<b>987</b>

**Fuente.** Autor (2025)

Algo a destacar es que según la Tabla 21 la zona 1 necesitaría una cantidad total de 427 tubos de 110 mm de diámetro, 85 tubos de 160 mm de diámetro, 233 de 200 mm de diámetro, 173 de 250 mm de diámetro y 69 tubos de 300 mm de diámetro. Siendo la tubería de 110 mm la que mayor demanda tendría para su instalación. Las cantidades de tubería se obtienen según los catálogos comerciales del mercado ecuatoriano en el cual se comercia tuberías de 3 y 6 metros de longitud, tomando así la tubería comercial de 6 metros de largo.

#### **4.2.2 Cambios zona 2.**

Las mejoras realizadas en esta zona igualmente fue la sustitución de tuberías con el fin de aumentar el diámetro y así asegurar que la pérdida de carga sea nula o este dentro del

rango permitido. Al haber mejorado la Zona 1 aquí de las 10 tuberías que presentaron perdidas de cargas críticas solo fueron necesarias cambiar 6 de ellas. Las tuberías que se sustituyeron se pueden observar en la Tabla 22.

**Tabla 22. Mejoras Zona 2.**

<b>MEJORAS ZONA 2</b>				
<b>TRAMO</b>	<b>INICIAL (mm)</b>	<b>MEJORA (mm)</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>LONGITUD (m)</b>
4B1_T_1453	50	110	PVC	71.53
4B1_T_1376	50	110	PVC	58.91
4B1_T_1033	50	110	PVC	5.46
4B1_T_1589	50	110	PVC	114.84
4B1_T_1403	63	110	PVC	64.68
4B1_T_1367	63	110	PVC	57.24

**Fuente:** Autor (2025).

Al realizar el análisis final en la zona obtuvimos una longitud total de 372.66 metros de tuberías que necesitan reemplazo para poder optimizar la red, según lo indicado en la Tabla 23. Además, según los catálogos comerciales ecuatorianos se llegó a necesitar la cantidad de 63 tuberías, todas de 110 mm de diámetro para su correcto funcionamiento.

**Tabla 23. Tuberías Zona 2.**

<b>TUBERIAS ZONA 2</b>		
<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>TUBERÍA (u)</b>
110	372.66	63
<b>TOTAL</b>	<b>372.66</b>	<b>63</b>

**Fuente:** Autor (2025).

### 4.2.3 Cambios zona 3.

#### 4.2.3.1 Tuberías.

La zona 3 presentaba inicialmente nodos con presiones inferiores a lo que la norma permite, posterior a los cambios realizados en la zona 1 y zona 2 las presiones en una parte de la zona 3 mejora sin embargo debido a las pérdidas de carga en algunas tuberías de esta se puede observar que sigue sin llegar a los mínimos establecidos por la norma según los colores de los nodos en la Ilustración 24.

Se procede a realizar la sustitución de las tuberías que presentan pérdidas de carga para de esta forma mejorar la presión en la zona, las mismas se pueden observar en la Tabla 24. De los 15 tramos de tuberías que presentaban fallas en la zona se realizó el cambio de un total de 11, optimizando recursos y tiempo al momento de realizar las mejoras en campo.

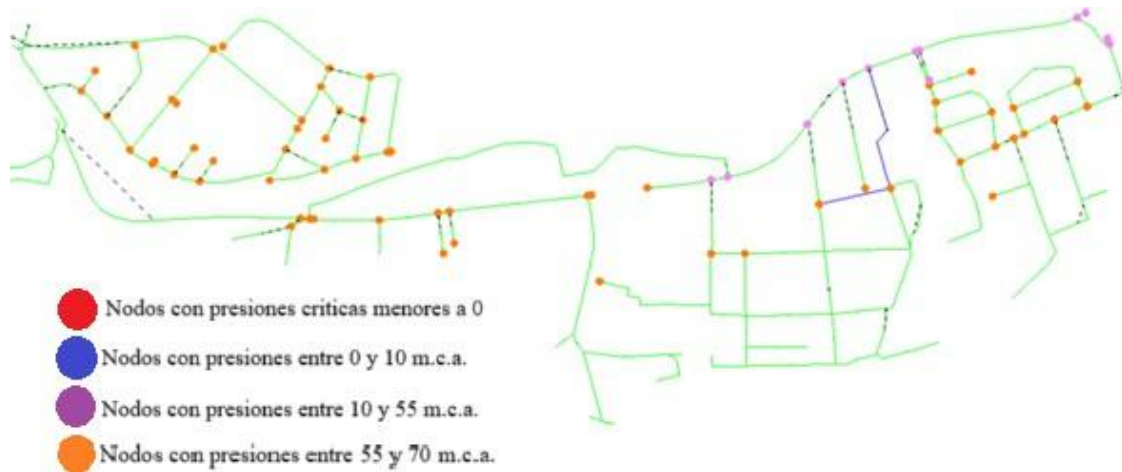
*Tabla 24. Mejoras Zona 3 Tuberías.*

<b>MEJORAS ZONA 3</b>				
<b>TRAMO</b>	<b>INICIAL (mm)</b>	<b>MEJORA (mm)</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>LONGITUD (m)</b>
4B1_T_1625	50	110	PVC	140.69
4B1_T_1657	63	110	PVC	213.29
4B1_T_1601	110	160	PVC	122.72
4B1_T_1513	50	110	PVC	85.4
4B1_T_1483	50	110	PVC	77.99
4B1_T_1571	50	110	PVC	105.17
4B1_T_1617	110	160	PVC	134.43
4B1_T_1507	50	110	PVC	83.79
4B1_T_1383	50	110	PVC	71.62
4B1_T_1597	50	110	PVC	120.64
4B1_T_1654	63	110	PVC	188.02

**Fuente:** Autor (2025).

Sin embargo, al momento de realizar estos cambios el resultado es presiones excesivas casi al límite de lo que la norma permite en su manual. En los nodos esto nos genera

un problema, lo cual puede significar fallas en la red, lo podemos observar en la Ilustración 24, al mostrarnos en gran parte de la zona estudiada actualmente presiones según la gráfica en el límite e incluso mayores a la recomendada, lo observamos de manera analítica en la Tabla 25 la cual nos muestra presiones altas de la zona, incluso sobrepasando 70 m.c.a.



*Ilustración 24. Zona 3 Mejora de Tuberías.*

**Fuente:** Autor (2025)

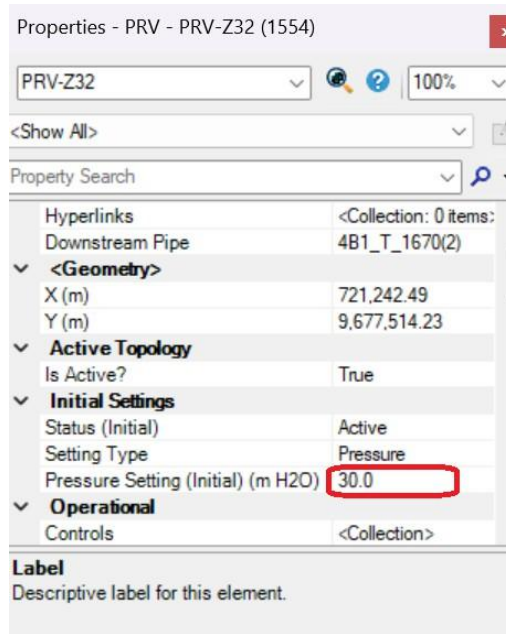
**Tabla 25. Presiones Excesivas.**

<b>NODO</b>	<b>PRESION</b>
4B1_N_1212	74.6
4B1_N_1213	74.6
4B1_N_1554	73.3
4B1_N_1088	73
4B1_N_1089	72.9
4B1_N_1133	72
4B1_N_1134	71.5
4B1_N_1414	71.2
4B1_N_1433	70.9
4B1_N_1291	70.7
4B1_N_1290	70.6
4B1_N_1415	70

**Fuente:** Autor (2025)

#### **4.2.3.2 Válvulas reductoras de presión.**

Estas presiones significan un problema, sin embargo, la solución definitiva será instalar válvulas reductoras de presión o PRV en las zonas que generen conflicto. La función de esta válvula es como su nombre lo dice reducir la presión de entrada a una presión indicada en la pestaña de propiedades como indica la Ilustración 25. Con esto se espera que las zonas que tienen presiones elevadas lleguen a rangos moderados dentro de los límites establecidos por la norma.



**Ilustración 25.** *Propiedades válvula de presión.*

**Fuente:** Autor (2025)

Se colocó dos válvulas reductoras de presión en distintas partes de la zona 3 para asegurar una presión estable en la misma. Las presiones finales de estas se pueden observar en la Tabla 26. Una vez instaladas se nota una mejora sustancial en la zona llegando a tener presiones dentro de lo que establece la norma así asegurando un desempeño correcto.

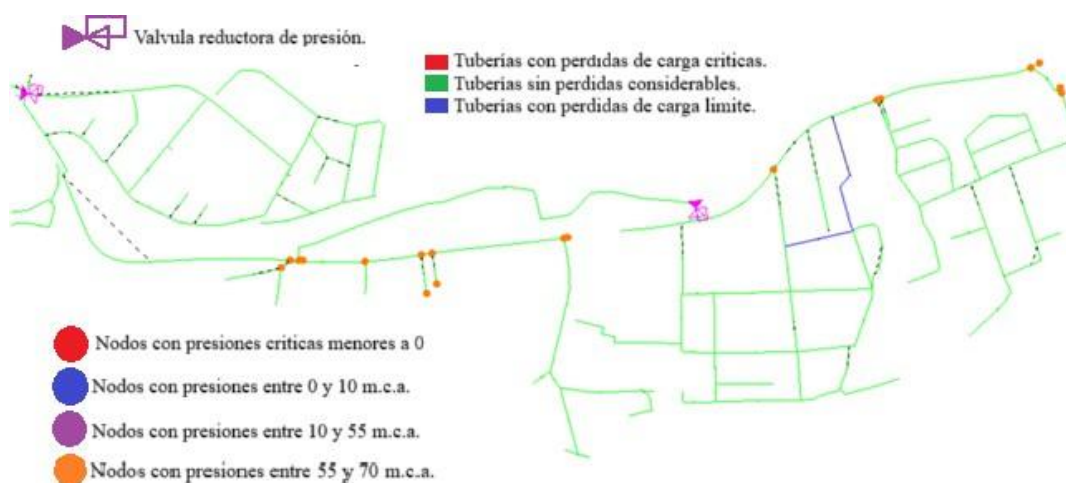
**Tabla 26.** *Presiones válvulas reductoras de presión.*

<b>MEJORAS ZONA 3</b>		
<b>VALVULA</b>	<b>PRESION (m.c.a.)</b>	<b>INSTALACIÓN</b>
PRV-Z31	30	4B1_T_1670
PRV-Z32	54	4B1_T_1678

**Fuente:** Autor (2025).

Las mejoras se pueden observar en la Ilustración 26 teniendo presiones elevadas únicamente en zonas bajas que alimentan nodos con mucha altura, además se presencia la

zona en la cual fue instalada las válvulas reductoras de presión. Los nodos con presión más alta en el sistema son los presentados en la Tabla 27 que son totalmente necesarios para alimentar una zona en las alturas que si no existiera esa presión no cumpliría con lo mínimo establecido por la norma. Fuera de esos nodos nos mantenemos con presiones de 60 metros de columna de agua para abajo.



*Ilustración 26. Zona 3 post mejoras finales.*

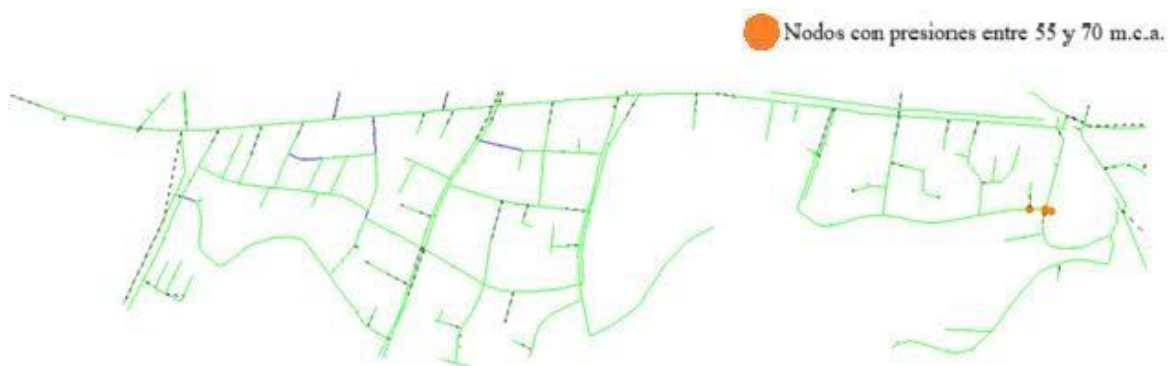
**Fuente:** Autor (2025).

*Tabla 27. Presiones mayores post mejoras.*

<b>TRAMO</b>	<b>PRESIÓN (m.c.a.)</b>
4B1_N_1104	67.8
4B1_N_1103	67.4
4B1_N_1225	63
4B1_N_1226	62.7
4B1_N_1465	62.1
4B1_N_1445	60.4

**Fuente:** Autor (2025).

La siguiente zona en tener presiones altas es la zona 2 que se mantiene en 58.2 m.c.a. para poder llevar el flujo hacia un punto alto, esto lo podemos observar en la Ilustración 27 que muestra la zona con las mejoras finales.



*Ilustración 27. Zona 2 mejora final.*

**Fuente:** Autor (2025).

Una vez realizado el análisis en la zona, llegando a las condiciones adecuadas, obtuvimos que en la zona será necesario la sustitución de un total de 1343.76 metros de tubería a lo largo de la zona; teniendo un total de 224 tubos comerciales de 6 metros de longitud distribuidos en, 181 tubos de 110 mm de diámetro y 43 tubos de 160 mm de diámetro, como lo podemos observar a continuación:

*Tabla 28. Tuberías zona 3.*

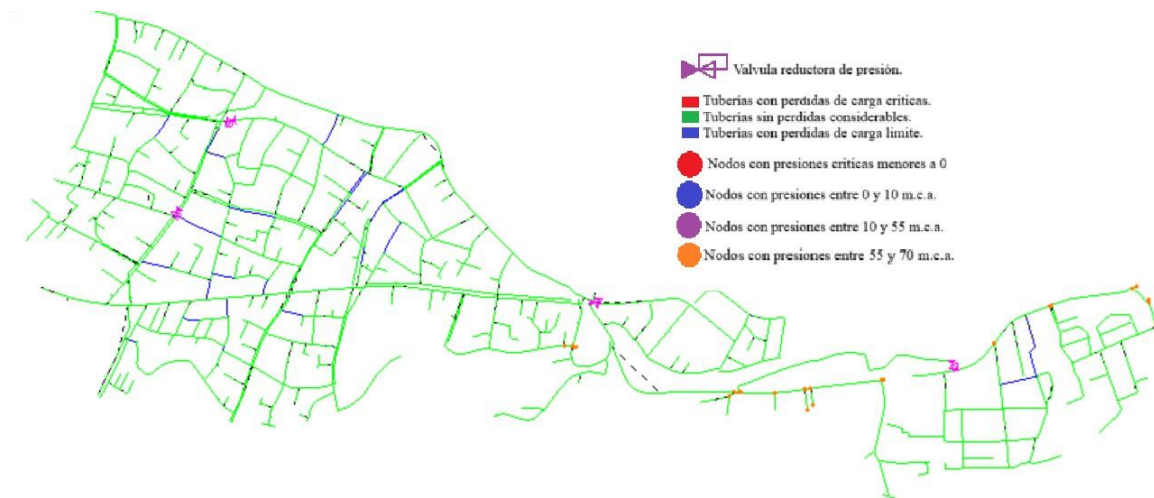
<b>TUBERIAS ZONA 3</b>		
<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>TUBERÍA (u)</b>
110	1086.61	181
160	257.15	43
<b>TOTAL</b>	<b>1343.76</b>	<b>224</b>

**Fuente:** Autor (2025).

### 4.3 Análisis general de mejoras.

#### 4.3.1 Análisis general de pérdidas de carga.

Una vez propuestos los cambios en cada una de las zonas establecidas con anterioridad obtenemos que la zona se comporta de manera adecuada sin pérdidas de carga notable, como lo podemos observar en la Ilustración 28 de manera gráfica y de manera numérica veremos las tuberías que se encuentran en rangos límites de pérdida de cargas en la Tabla 29.



*Ilustración 28. Zona Cruz Verde 4B1 Sur.*

**Fuente:** Autor (2025).

*Tabla 29. Tuberías con pérdida de carga limite.*

<b>TUBERIA</b>	<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1408	11.223	64.72	PVC
4B1_T_1368	11.035	58.8	PVC
4B1_T_1494	10.907	81.6	PVC
4B1_T_1493	10.71	83.49	PVC
4B1_T_1657	10.504	213.29	PVC
4B1_T_1061	10.216	7.34	PVC
4B1_T_1109	10.179	14.33	PVC
4B1_T_1395	10.009	63.23	PVC
4B1_T_1597	9.867	120.64	PVC
4B1_T_1469	9.474	74.56	PVC
4B1_T_1111	9.326	14.78	PVC
4B1_T_1168	9.144	25.29	PVC
4B1_T_1444	8.846	70.5	PVC
4B1_T_1250	8.747	39.92	PVC
4B1_T_1002	8.651	1.03	PVC
4B1_T_1511	8.405	84.61	PVC
4B1_T_1394	8.304	63.19	PVC
4B1_T_1517	8.187	86.9	PVC
4B1_T_1045	8.154	6.06	PVC
4B1_T_1538	8.076	91.99	PVC
4B1_T_1501	8.025	83.08	PVC
4B1_T_1590	7.859	115.03	PVC
4B1_T_1305	7.81	48.82	PVC
4B1_T_1583	7.752	111.51	PVC
4B1_T_1566	7.611	103.21	PVC
4B1_T_1509	7.539	84.33	PVC
4B1_T_1333	7.341	53.16	PVC
4B1_T_1646	7.203	159.88	PVC
4B1_T_1464	7.106	73.68	PVC
4B1_T_1472	7.046	75.07	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

### 4.3.2 Análisis general de presiones.

Las presiones elevadas que se muestran en la Ilustración 28 son necesarias para poder abastecer de agua potable a zonas elevadas previas a los nodos. Este aumento de presiones viene de la mano de la mejora la zona de estudio 1 en el modelo hidráulico debido a que se redujo las perdidas en la misma. Los nodos que presentan las presiones elevadas fuera de los rangos impuestos en el software, se los encuentran en dos diferentes zonas de estudio, la zona 2 y zona 3, teniendo un total de 17 nodos con esta situación que se encuentra dentro de los rangos establecidos por la norma. Los nodos los podemos apreciar en la Tabla 30, la misma está acompañada de su presión en m.c.a.

**Tabla 30.** *Nodos con presión limite zona 4B1 Sur.*

<b>TRAMO</b>	<b>PRESION (m.c.a.)</b>
4B1_N_1104	67.8
4B1_N_1103	67.4
4B1_N_1225	63
4B1_N_1226	62.7
4B1_N_1465	62.1
4B1_N_1445	60.4
4B1_N_1201	59.6
4B1_N_1099	59.4
4B1_N_1508	59.1
4B1_N_1100	59.1
4B1_N_1243	58.1
4B1_N_1212	56.2
4B1_N_1213	56.2
4B1_N_1146	56.1
4B1_N_1033	56
4B1_N_1034	55.9
4B1_N_1284	55.5

**Fuente:** Autor (2025).

Las válvulas de presión utilizadas en la optimización del modelo hidráulico se centralizaron únicamente en la zona de estudio 3 dando como resultado presiones adecuadas para la misma como se puede observar en la Tabla 25.

#### 4.3.3 Tubería necesaria.

El modelo hidráulico posterior a las mejoras se encuentra funcionando correctamente, entregando presiones optimas y perdidas de carga en rangos normales. Las tuberías necesarias para la optimización de la zona Cruz Verde 4B1 Sur de la ciudad de Cuenca fueron de 7643.27 metros de longitud distribuidos en diámetros desde 110 mm hasta 300 mm, siendo esto un total de 1272 tuberías de una longitud comercial de 6 metros de diferentes medidas, la distribución de estas la podemos observar en la Tabla 31.

*Tabla 31. Tuberías zona 4B1 Sur.*

<b>TUBERIAS ZONA 4B1 SUR</b>		
<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>LONGITUD (m)</b>	<b>TUBERÍA (u)</b>
110	4020.92	670.2
160	763.43	127.24
200	1402.91	233
250	1039.79	173
300	416.22	69
<b>TOTAL</b>	<b>7643.27</b>	<b>1272</b>

**Fuente:** Autor (2025).

Es importante destacar que la zona Cruz Verde 4B1 Sur presentaba un total de 8160.28 metros de tubería con pérdidas de carga, sin embargo, al realizar la optimización en distintos puntos de la red logramos reducir la longitud de las tuberías a mejorar en un 6.34% o 527.01 metros lo cual significa un ahorro de recursos.

El análisis hidráulico realizado permitió identificar con precisión las principales vulnerabilidades operativas del sistema de distribución de agua potable del sector Cruz Verde 4B1 Sur, proyectado al horizonte del año 2050. Las simulaciones evidenciaron zonas con presiones por debajo de los límites establecidos por la normativa nacional, así como tramos con pérdidas de carga elevadas, lo que compromete tanto la eficiencia del sistema como la calidad del servicio prestado a los usuarios.

A partir de estos hallazgos, se plantearon propuestas de mejora orientadas a corregir las deficiencias detectadas. Estas incluyen el redimensionamiento de tuberías, la redistribución de caudales y ajustes en las zonas de presión. Las recomendaciones formuladas buscan optimizar el desempeño hidráulico de la red, reducir las pérdidas, y garantizar una distribución equitativa y sostenible del recurso hídrico en función del crecimiento poblacional proyectado.

La importancia de este estudio viene de la necesidad y el derecho de la población por obtener de manera adecuada el agua potable, de igual manera al encontrarse en una zona de universidades, colegios y escuelas suma más importancia al estudio y las medidas que el gobierno debe tomar según los resultados presentados en el presente proyecto.

## RESULTADOS.

El desarrollo del modelo hidráulico y su posterior análisis permitieron obtener una serie de resultados clave para el diagnóstico técnico del sistema de distribución de agua potable del sector Cruz Verde 4B1 Sur. A continuación, se detallan los principales hallazgos:

### Validación del modelo hidráulico

Se llevó a cabo una verificación de las condiciones de demanda simuladas frente a los valores proporcionados por ETAPA EP. Los resultados muestran una alta concordancia:

- Para el año 2025, el modelo arrojó una demanda de **128 l/s**, mientras que la demanda oficial era de **129.78 l/s**, lo que representa un **error relativo del 0.78%**.
- Para el año 2050, el modelo generó una demanda de **176 l/s** frente a los **175.88 l/s** oficiales, con un **error inferior al 0.07%**.

### Delimitación de zonas críticas

La red fue dividida en tres zonas operativas para facilitar el análisis y planteamiento de soluciones:

- **Zona 1:** Presenta alta densidad de conexiones y mayor concentración de tuberías antiguas, con problemas significativos de presión y pérdidas de carga. En esta zona se identifica un conflicto grande a nivel de pérdidas de carga
- **Zona 2:** Afectada principalmente por variaciones de presión debido al relieve topográfico.

- **Zona 3:** Registra condiciones operativas aceptables, sin embargo, las pérdidas de carga de las zonas posteriores contribuyen a la pérdida de presión en esta zona.

### **Pérdidas de carga en la red**

Se identificaron múltiples tramos con pérdidas de carga excesivas:

- El paso del tiempo contribuye en la pérdida de carga de las tuberías analizadas, esto influye directamente en la pérdida de presión en la zona 3 de la red.
- La rugosidad asociada al desgaste de las tuberías (particularmente las de asbesto-cemento) contribuye al incremento de estas pérdidas.

### **Propuestas de optimización**

Con base en los resultados del modelo, se propusieron medidas técnicas orientadas a mejorar el desempeño hidráulico del sistema:

- **Redimensionamiento de tuberías** en los tramos más críticos, especialmente en la zona 1, debido a la alta densidad de tuberías en esta zona fue la que mas cambios necesito para comportarse de manera adecuada.
- **Implementación de válvulas reductoras de presión** utilizadas posteriormente a la mejora de las pérdidas de carga debido al aumento de presiones en la zona 3. Al colocar estas válvulas la presión excesiva que sobrepasaba la recomendada por la norma se regulo en toda la zona de estudio 3.

### **Impacto de las mejoras simuladas**

Las propuestas implementadas en el modelo mostraron:

- Reducción significativa de los nodos con presiones fuera de los rangos establecidos por la norma, en la zona 3.
- Mayor uniformidad en la distribución de presiones a nivel general de la red de agua potable.
- Disminución de las pérdidas de carga y mejora del rendimiento general de la red mediante la sustitución y aumento de diámetro en las tuberías de esta.

## CONCLUSIONES.

- El análisis de la red de distribución de agua potable en el sector Cruz Verde 4B1 Sur de la ciudad de Cuenca nos ha permitido identificar vulnerabilidades críticas que afectan la eficiencia operativa de la misma. Se observaron además deficiencias que requieren atención inmediata para poder asegurar a la población un suministro adecuado de agua potable en el corto mediano y largo plazo.
- WaterGEMS (el software utilizado) fue de vital importancia para poder realizar las modificaciones dentro de la red gracias a su versatilidad y a la compatibilidad con el modelo analizado. Se estudio el modelo hidráulico llegando a comprenderlo correctamente mediante el uso del software actualizándolo y proyectándolo al año 2050 de acuerdo con el aumento poblacional y de demanda de agua potable; para así proceder a su análisis de vulnerabilidades.
- En el año 2050 el modelo hidráulico presenta condiciones de pérdidas de carga críticas en la zona 1 las cuales son preocupantes para el sector ya que no garantizaría el correcto abastecimiento de agua potable en esta. Dentro de la zona 1 se encuentran comercios, casas y sobre todo escuelas y colegios que no pueden prescindir del líquido vital en sus instalaciones. Esta problemática genera además una pérdida de presión en la zona de estudio 3 llegando al punto crítico de tener presiones menores a 10 m.c.a. en tramos finales de la red.
- Se pudo realizar la mejora de la red mediante el aumento de diámetros en las tuberías de la zona más conflictiva de estudio, de esta manera se redujo notablemente las pérdidas de carga en toda la red de agua potable; el resultado de estas mejoras fue el

incremento en las presiones de la zona de estudio 3 siendo muy beneficioso ya que esta zona presentaba un problema crítico en este ámbito.

- Las presiones obtenidas posterior a estas mejoras fueron superiores a las establecidas en la norma generando a su vez un inconveniente que se pudo solucionar con el uso de válvulas reductoras de presión. Las válvulas nos permitieron llegar a las presiones óptimas recomendadas por la norma manteniéndonos en un límite de 67.8 m.c.a. por debajo de los 70 m.c.a. establecidos. Las presiones entre 60 y 67.8 m.c.a. que parecen estar al límite se encuentran en nodos que alimentan partes altas de la red necesitando obligatoriamente esas presiones ya que de no ser así los puntos siguientes a estos no llegarían a las presiones mínimas.

## **RECOMENDACIONES.**

- Se recomienda la sustitución de un total de 7643.27 metros de tuberías en los tramos identificados como críticos en la red de agua potable, aumentando su diámetro según lo analizado en el capítulo IV y propuesto en la Tabla 30; para que de esta manera la red pueda funcionar de manera adecuada.
- Se recomienda la instalación de 2 válvulas reductoras de presión en los tramos determinados en el capítulo IV para garantizar presiones adecuadas en el modelo hidráulico. Las propiedades de las válvulas recomendadas las podemos encontrar en la Tabla 27.
- Se recomienda mantener actualizado el modelo hidráulico estudiado con datos proporcionados por la empresa ETAPA EP para así poder realizar comparaciones sobre estos y proponer mejoras constantes para la red.

- Se recomienda fomentar una mayor conciencia sobre el uso responsable del agua, promoviendo programas de ahorro y cuidado del recurso para contribuir a reducir la demanda y las pérdidas por uso ineficiente.

## **BIBLIOGRAFÍA:**

- Bourguett, V., & Ochoa, L. (2001). *Reducción integral de pérdidas en sistemas de distribución de agua potable*.
- Castro, M., Hidalgo, X., & Poveda, R. (2003). *Sobre la modelación hidráulica en obras de saneamiento básico. Escuela Politécnica Nacional, Departamento Deficiencias Del Agua*.
- ETAPA EP. (2025). *Caudales de distribución del sistema Cruz Verde 4B1 Sur*.
- Hurtado, A. (2006). *Cálculo del porcentaje de pérdidas por fugas en la red de agua potable en Celaya, GTO* [Tesis de pregrado]. Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla.
- Jaramillo, G. (2022). *Simulación del comportamiento de la red de distribución de agua potable del sector Cruz Verde 4B1 Sur, a través de un modelo hidráulico para el análisis de vulnerabilidades operativas del sistema* [Tesis de grado]. Universidad del Azuay.
- Loyola, D., & Morales, F. (2023). *Modelación hidráulica del sistema de distribución de agua potable de Baños, cantón Cuenca, Azuay* [Tesis de grado, Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/14572>
- Maurad, D. (2020). *Análisis de sensibilidad de la calibración de un modelo hidráulico en régimen variado impermanente del río Yanuncay* [Tesis de grado]. Universidad del Azuay.
- Palacios, P. (2015). *Modelación hidráulica para la interconexión de los sistemas de distribución de agua potable Tomebamba y Yanuncay* [Tesis de grado]. Universidad del Azuay.
- Salazar, C., & Intriago, C. (2019). *Guía para la elaboración del plan de mejora de los servicios de agua potable y saneamiento*. Agencia de Regulación y Control del Agua. <https://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/06/ANEXO-1-RESOLUCIÓN-No-ARCA-DE-009-2019.pdf>

Autodesk. (2024). Obtenido de Autodesk: <https://www.autodesk.com/>

Bentley Systems Incorporated. (2022). Obtenido de Bentley Systems Incorporated: <https://www.bentley.com/es>

Plásticos RIVAL. (2024). *Tuberías PVC para desagüe: Catálogo técnico* [Catálogo comercial]. <https://www.plasticosrival.com/fil/Tuberias/PVC/Catalogos/RIVAL-PVC-TuberiasDesague.pdf>

Secretaria Nacional del Agua. (1992). *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*. <https://inmobiliariadja.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/09/norma-co-10-7-602-poblacion-mayor-a-1000-habitantes.pdf>

## ANEXOS.

**TUBERÍAS  
PVC PARA DESAGÜE**  
FABRICADO BAJO LA NORMA NTE INEN 1374

SELLO DE CALIDAD  
**INEN**  
Instituto Ecuatoriano de Normalización

**RIVAL**  
+ tubos +



### DESCRIPCIÓN

El propósito de los sistemas sanitarios es permitir la evacuación eficiente de las aguas servidas para evitar malos olores y focos de infección, garantizar que no existan fugas de líquidos y, tener la suficiente resistencia y/o flexibilidad para no sufrir daños ante movimientos sísmicos.

### APLICACIONES

Plásticos RIVAL fabrica tubería bajo la norma NTE INEN 1374, diseñadas para usarse en:

Redes de aguas de deshechos:

- Columnas o bajantes: Son tuberías de evacuación verticales.
- Derivaciones o ramales horizontales: Son las tuberías que unen los accesorios sanitarios.
- Colectores: Son tuberías horizontales que unen las columnas con las alcantarillas exteriores.

### ESPECIFICACIONES

- Tubo de PVC para usos en sistemas de desagüe
- Unión por cemento solvente espiga campana E/C
- Longitud L=3m o 6m

DIÁMETRO NOMINAL (mm)		ESPESOR DE PARED e (mm)		DIMENSIONES DE CAMPANA (mm)		
DN	TOLERANCIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DIÁMETRO INTERIOR		PROFUNDIDAD CAMPANA "L"
				MÍNIMO	MÁXIMO	
50	+ 0,30	1,80	2,20	50,10	50,40	20
75	+ 0,30	2,00	2,40	75,10	75,40	25
110	+ 0,40	2,20	2,70	110,20	110,60	32
160	+ 0,50	3,20	3,80	160,20	160,70	42
200	+ 0,60	3,90	4,50	200,30	200,90	50
250	+ 0,80	5,00	5,60	250,40	251,20	60
315	+ 1,00	6,20	7,00	315,50	316,50	73

*Anexo 1. Catalogo comercial de tuberías.*

**Fuente:** Rival (2024).

*Anexo 2. Datos generales de tuberías WaterGEMS.*

<b>TRAMO</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1679	9.36	600	128.201	PVC
4B1_T_1408	64.72	50	11.223	PVC
4B1_T_1368	58.8	50	11.035	PVC
4B1_T_1494	81.6	63	10.907	PVC
4B1_T_1493	83.49	50	10.71	PVC
4B1_T_1657	213.29	110	10.504	PVC
4B1_T_1061	7.34	110	10.216	PVC
4B1_T_1109	14.33	50	10.179	PVC
4B1_T_1395	63.23	50	10.009	PVC
4B1_T_1597	120.64	110	9.867	PVC
4B1_T_1469	74.56	63	9.474	PVC
4B1_T_1111	14.78	63	9.326	PVC
4B1_T_1168	25.29	63	9.144	PVC
4B1_T_1444	70.5	63	8.846	PVC
4B1_T_1250	39.92	63	8.747	PVC
4B1_T_1002	1.03	110	8.651	PVC
4B1_T_1511	84.61	160	8.405	PVC
4B1_T_1394	63.19	110	8.304	PVC
4B1_T_1517	86.9	63	8.187	PVC
4B1_T_1045	6.06	110	8.154	PVC
4B1_T_1538	91.99	50	8.076	PVC
4B1_T_1501	83.08	63	8.025	PVC
4B1_T_1590	115.03	50	7.859	PVC
4B1_T_1305	48.82	110	7.81	PVC
4B1_T_1583	111.51	63	7.752	PVC
4B1_T_1566	103.21	110	7.611	PVC
4B1_T_1509	84.33	110	7.539	PVC
4B1_T_1333	53.16	50	7.341	PVC
4B1_T_1646	159.88	110	7.203	PVC
4B1_T_1464	73.68	63	7.106	PVC
4B1_T_1472	75.07	63	7.046	PVC
4B1_T_1135	19.36	50	6.979	PVC
4B1_T_1276	43.94	50	6.978	PVC
4B1_T_1527	88.91	63	6.964	PVC
4B1_T_1505	84.72	50	6.851	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 3. Datos generales de tuberías WaterGEMS.*

<b>TRAMO</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1552	97.97	63	6.827	PVC
4B1_T_1553	98.6	63	6.572	PVC
4B1_T_1503	83.26	110	6.557	PVC
4B1_T_1638	153.76	110	6.477	PVC
4B1_T_1434	70.28	50	6.315	PVC
4B1_T_1665	302.34	110	6.308	PVC
4B1_T_1078	9.64	110	6.298	PVC
4B1_T_1389	61.16	50	6.254	PVC
4B1_T_1629	142.53	50	6.087	PVC
4B1_T_1439	69.61	50	5.952	PVC
4B1_T_1270	43.15	63	5.94	PVC
4B1_T_1371	57.89	50	5.934	PVC
4B1_T_1391	61.37	63	5.864	PVC
4B1_T_1207	32.87	110	5.76	PVC
4B1_T_1604	124.63	110	5.718	PVC
4B1_T_1018	3.98	63	5.678	PVC
4B1_T_1108	14.18	110	5.668	PVC
4B1_T_1232	37.15	63	5.656	PVC
4B1_T_1373	58.02	50	5.628	PVC
4B1_T_1480	77.96	110	5.616	PVC
4B1_T_1295	47.63	110	5.481	PVC
4B1_T_1559	102.4	50	5.453	PVC
4B1_T_1344	53.8	50	5.427	PVC
4B1_T_1554	98.89	110	5.379	PVC
4B1_T_1592	116.8	200	5.288	AC
4B1_T_1122	16.87	200	5.275	PVC
4B1_T_1544	95.75	50	5.247	PVC
4B1_T_1234	37.21	63	5.239	PVC
4B1_T_1621	138.18	160	5.222	PVC
4B1_T_1224	35.5	110	5.207	PVC
4B1_T_1472	75.07	63	7.046	PVC
4B1_T_1135	19.36	50	6.979	PVC
4B1_T_1276	43.94	50	6.978	PVC
4B1_T_1527	88.91	63	6.964	PVC
4B1_T_1505	84.72	50	6.851	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 4. Datos generales de tuberías WaterGEMS.*

<b>TRAMO</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1315	51.16	160	5.173	PVC
4B1_T_1265	42.16	200	5.119	PVC
4B1_T_1320	50.83	50	5.112	PVC
4B1_T_1635	151.03	63	5.102	PVC
4B1_T_1568	104.66	63	5.079	PVC
4B1_T_1504	83.46	63	5.054	PVC
4B1_T_1132	18.84	63	5.008	PVC
4B1_T_1073	9.26	200	4.982	PVC
4B1_T_1442	70.02	63	4.952	PVC
4B1_T_1134	19.35	50	4.906	PVC
4B1_T_1667	271.64	200	4.876	AC
4B1_T_1200	30.43	110	4.872	PVC
4B1_T_1152	22.74	110	4.857	PVC
4B1_T_1165	23.79	63	4.842	PVC
4B1_T_1491	113.2	63	4.799	PVC
4B1_T_1652	180.82	50	4.789	PVC
4B1_T_1277	44.25	63	4.722	PVC
4B1_T_1308	49.4	160	4.646	PVC
4B1_T_1341	53.54	200	4.564	AC
4B1_T_1360	56.33	110	4.555	PVC
4B1_T_1031	5.25	200	4.534	PVC
4B1_T_1085	10.97	110	4.533	PVC
4B1_T_1316	50.88	50	4.481	PVC
4B1_T_1523	87.5	63	4.48	PVC
4B1_T_1596	120.19	110	4.411	PVC
4B1_T_1670(2)	313.85	110	4.402	AC
4B1_T_1670(1)	5.26	110	4.357	AC
4B1_T_1116	15.94	50	4.314	PVC
4B1_T_1521	88.85	63	4.308	PVC
4B1_T_1443	70.22	110	4.247	PVC
4B1_T_1261	41.13	50	4.241	PVC
4B1_T_1222	35.42	160	4.235	PVC
4B1_T_1242	38.39	50	4.234	PVC
4B1_T_1609	163.31	110	4.223	PVC
4B1_T_1661	251.33	160	4.176	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 5. Datos generales de tuberías WaterGEMS.*

<b>TRAMO</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1582	127.76	63	4.156	PVC
4B1_T_1022	4.23	160	4.152	PVC
4B1_T_1167	25.07	63	4.144	PVC
4B1_T_1499	82.51	63	4.142	PVC
4B1_T_1490	80.16	50	4.136	PVC
4B1_T_1302	48.65	63	4.118	PVC
4B1_T_1275	43.9	63	4.116	PVC
4B1_T_1530	90.31	63	4.094	PVC
4B1_T_1664	347.39	63	4.088	PVC
4B1_T_1576	112.47	63	4.083	PVC
4B1_T_1143	20.02	160	4.073	PVC
4B1_T_1131	18.64	160	4.057	PVC
4B1_T_1083	10.8	200	4.053	PVC
4B1_T_1142	19.98	200	4.053	AC
4B1_T_1106	13.97	63	4.048	PVC
4B1_T_1514	85.67	63	4.02	PVC
4B1_T_1693(1)	16.55	200	4.011	AC
4B1_T_1692	8.93	200	4.001	AC
4B1_T_1378	59.41	200	3.993	PVC
4B1_T_1618	138.04	110	3.983	PVC
4B1_T_1385	60.7	160	3.982	PVC
4B1_T_1693(2)	4.94	200	3.979	AC
4B1_T_1099	16.3	63	3.871	PVC
4B1_T_1199	30.29	200	3.862	PVC
4B1_T_1105	13.82	200	3.834	PVC
4B1_T_1525	88.43	200	3.834	AC
4B1_T_1531	90.38	50	3.82	PVC
4B1_T_1118	17.08	200	3.799	PVC
4B1_T_1249	39.31	160	3.763	PVC
4B1_T_1216	34.56	63	3.721	PVC
4B1_T_1386	60.67	100	3.694	PVC
4B1_T_1278	44.29	50	3.616	PVC
4B1_T_1549	120.31	63	3.612	PVC
4B1_T_1615	133.94	63	3.607	PVC
4B1_T_1564	103.45	50	3.597	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 6. Datos generales de tuberías WaterGEMS.*

<b>TRAMO</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1011	3.16	110	3.584	PVC
4B1_T_1015	3.79	250	3.53	PVC
4B1_T_1010	3.05	110	3.512	PVC
4B1_T_1392	61.92	63	3.495	PVC
4B1_T_1279	45.41	250	3.481	PVC
4B1_T_1656	209.15	200	3.457	PVC
4B1_T_1484	78.51	160	3.443	PVC
4B1_T_1156	27.64	350	3.436	PVC
4B1_T_1655	189.98	50	3.423	PVC
4B1_T_1339	53.24	63	3.416	PVC
4B1_T_1178	26.91	250	3.307	PVC
4B1_T_1580	109.08	200	3.286	AC
4B1_T_1247	39.4	250	3.279	PVC
4B1_T_1027	4.7	250	3.229	PVC
4B1_T_1639	156.91	160	3.221	PVC
4B1_T_1369	57.61	50	3.183	PVC
4B1_T_1430	68.48	200	3.143	AC
4B1_T_1267	42.86	63	3.139	PVC
4B1_T_1089	11.5	110	3.131	PVC
4B1_T_1630	156.88	250	3.131	PVC
4B1_T_1196	29.71	100	3.116	PVC
4B1_T_1486	78.82	63	3.116	PVC
4B1_T_1212	33.83	63	3.08	PVC
4B1_T_1081	10.25	160	3.079	PVC
4B1_T_1550	96.83	50	3.037	PVC
4B1_T_1271	43.54	250	2.994	PVC
4B1_T_1374	58.02	63	2.98	PVC
4B1_T_1233	36.87	110	2.971	PVC
4B1_T_1658	238.56	250	2.956	PVC
4B1_T_1087	11.28	300	2.954	PVC
4B1_T_1574	105.95	50	2.944	PVC
4B1_T_1285	46.03	63	2.929	PVC
4B1_T_1603	123.79	63	2.912	PVC
4B1_T_1151	22.55	63	2.904	PVC
4B1_T_1238	37.68	250	2.899	AC

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 7. Datos generales de tuberías WaterGEMS.*

<b>TRAMO</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1204	35.25	200	2.897	PVC
4B1_T_1292	47.46	110	2.879	PVC
4B1_T_1189	31.73	250	2.861	AC
4B1_T_1455	72.01	110	2.852	PVC
4B1_T_1539	92.14	63	2.849	PVC
4B1_T_1328	51.62	200	2.848	PVC
4B1_T_1296	47.86	250	2.842	AC
4B1_T_1321	50.77	110	2.826	PVC
4B1_T_1453	71.53	110	2.826	PVC
4B1_T_1649	161.66	250	2.813	PVC
4B1_T_1325	51.03	110	2.811	PVC
4B1_T_1454	71.74	200	2.8	AC
4B1_T_1136	19.46	63	2.799	PVC
4B1_T_1611	132.7	160	2.777	PVC
4B1_T_1578	107.68	63	2.767	PVC
4B1_T_1173	25.88	63	2.76	PVC
4B1_T_1598	120.99	110	2.736	PVC
4B1_T_1558	100.59	250	2.684	AC
4B1_T_1534	90.91	63	2.675	PVC
4B1_T_1282	45.49	110	2.65	PVC
4B1_T_1195	29.7	50	2.646	PVC
4B1_T_1411	65.24	63	2.646	PVC
4B1_T_1659	229.08	63	2.573	PVC
4B1_T_1428	68.57	110	2.553	PVC
4B1_T_1570	105.75	200	2.539	PVC
4B1_T_1133	19.17	63	2.531	PVC
4B1_T_1137	19.77	63	2.53	PVC
4B1_T_1335	52.96	200	2.529	PVC
4B1_T_1148	21.19	110	2.528	PVC
4B1_T_1581	150.15	100	2.51	AC
4B1_T_1337	53.18	63	2.497	PVC
4B1_T_1489	103.13	50	2.465	PVC
4B1_T_1213	34.06	200	2.465	PVC
4B1_T_1219	34.88	63	2.458	PVC
4B1_T_1445	72.89	63	2.446	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 8. Datos generales de tuberías WaterGEMS.*

<b>TRAMO</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1663	249.24	300	2.427	PVC
4B1_T_1404	64.52	200	2.422	PVC
4B1_T_1119	16.86	63	2.418	PVC
4B1_T_1403	64.68	110	2.398	PVC
4B1_T_1418	66.34	200	2.387	AC
4B1_T_1643	160.94	63	2.386	PVC
4B1_T_1384	59.97	200	2.323	PVC
4B1_T_1180	27	200	2.293	PVC
4B1_T_1340	53.38	110	2.275	PVC
4B1_T_1541	129.77	63	2.273	PVC
4B1_T_1138	19.78	300	2.242	PVC
4B1_T_1612	131.22	300	2.23	PVC
4B1_T_1066	7.88	110	2.229	PVC
4B1_T_1557	100.11	200	2.2	PVC
4B1_T_1117	15.98	200	2.198	AC
4B1_T_1470	75.23	110	2.18	PVC
4B1_T_1294	50.56	63	2.172	PVC
4B1_T_1351	54.88	250	2.159	AC
4B1_T_1436	69.43	200	2.157	PVC
4B1_T_1309	49.45	200	2.137	AC
4B1_T_1393	62.71	200	2.136	AC
4B1_T_1572	105.87	63	2.12	PVC
4B1_T_1515	85.77	200	2.107	AC
4B1_T_1016	3.81	110	2.107	PVC
4B1_T_1379	59.48	200	2.067	PVC
4B1_T_1355	55.44	100	2.04	PVC
4B1_T_1287	46.27	50	2.039	PVC
4B1_T_1062	7.39	63	2.015	PVC
4B1_T_1193	29.5	200	2.008	AC
4B1_T_1500	82.58	200	2.008	PVC
4B1_T_1617	134.43	160	2.004	PVC
4B1_T_1423	66.8	160	1.996	PVC
4B1_T_1473	75.68	63	1.99	PVC
4B1_T_1096	12.1	200	1.967	PVC
4B1_T_1647	159.8	110	1.963	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 9. Datos generales de tuberías WaterGEMS.*

<b>TRAMO</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1599	121.82	110	1.957	PVC
4B1_T_1573	159.66	63	1.954	PVC
4B1_T_1488	79.75	200	1.952	PVC
4B1_T_1628	142.33	50	1.951	PVC
4B1_T_1654	188.02	110	1.92	PVC
4B1_T_1060	6.99	110	1.917	PVC
4B1_T_1198	30.04	110	1.913	PVC
4B1_T_1006	2.18	110	1.91	PVC
4B1_T_1068	7.99	110	1.9	PVC
4B1_T_1462	73.56	63	1.898	PVC
4B1_T_1166	24.33	110	1.896	PVC
4B1_T_1244	38.84	63	1.885	PVC
4B1_T_1324	50.9	250	1.866	PVC
4B1_T_1496	82.23	63	1.857	PVC
4B1_T_1201	30.54	63	1.852	PVC
4B1_T_1622	139.66	63	1.805	PVC
4B1_T_1529	90.57	110	1.804	PVC
4B1_T_1672	412.55	400	1.799	PVC
4B1_T_1284	45.91	50	1.783	PVC
4B1_T_1356	55.45	63	1.745	PVC
4B1_T_1562	101.75	110	1.729	PVC
4B1_T_1519	88.24	63	1.717	PVC
4B1_T_1367	57.24	110	1.706	PVC
4B1_T_1179	26.96	63	1.656	PVC
4B1_T_1220	34.88	63	1.656	PVC
4B1_T_1678(2)	23.6	200	1.652	PVC
4B1_T_1678(1)	794.59	200	1.651	PVC
4B1_T_1243	38.64	63	1.648	PVC
4B1_T_1007	2.36	200	1.641	AC
4B1_T_1396	63.36	100	1.64	PVC
4B1_T_1613	131.84	100	1.628	PVC
4B1_T_1149	21.26	63	1.624	PVC
4B1_T_1008	2.43	50	1.593	PVC
4B1_T_1536	91.95	63	1.586	PVC
4B1_T_1290	47.9	100	1.585	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 10. Datos generales de tuberías WaterGEMS.*

<b>TRAMO</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1506	83.72	200	1.575	PVC
4B1_T_1674	538.46	500	1.519	HD
4B1_T_1668	288.45	500	1.519	HD
4B1_T_1675	679.59	500	1.519	HD
4B1_T_1336	52.97	110	1.495	PVC
4B1_T_1257	40.67	63	1.486	PVC
4B1_T_1450	71.26	110	1.47	PVC
4B1_T_1191	29.24	63	1.466	PVC
4B1_T_1004	1.64	160	1.453	PVC
4B1_T_1620	174.45	110	1.447	PVC
4B1_T_1607	127.63	63	1.441	PVC
4B1_T_1432	70.81	110	1.438	PVC
4B1_T_1005	1.67	63	1.429	PVC
4B1_T_1033	5.46	110	1.417	PVC
4B1_T_1398	65.28	63	1.395	PVC
4B1_T_1650	173.63	200	1.392	AC
4B1_T_1640	156.45	110	1.372	PVC
4B1_T_1362	56.68	63	1.365	PVC
4B1_T_1210	33.31	110	1.358	PVC
4B1_T_1424	67.8	160	1.33	PVC
4B1_T_1307	49.36	50	1.327	PVC
4B1_T_1448	71.14	110	1.28	PVC
4B1_T_1263	41.43	110	1.25	PVC
4B1_T_1075	9.33	63	1.244	PVC
4B1_T_1526	88.89	110	1.236	PVC
4B1_T_1410	65.16	110	1.229	PVC
4B1_T_1528	89.05	110	1.203	PVC
4B1_T_1372	58	100	1.191	PVC
4B1_T_1535	93.6	110	1.186	PVC
4B1_T_1433	69.07	50	1.177	PVC
4B1_T_1452	71.52	63	1.169	PVC
4B1_T_1449	72.19	63	1.093	PVC
4B1_T_1032	5.3	50	1.067	PVC
4B1_T_1589	114.84	110	1.05	PVC
4B1_T_1459	73	110	1.048	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 11. Datos generales de tuberías WaterGEMS.*

<b>TRAMO</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1076	9.48	200	1.004	AC
4B1_T_1150	22.05	110	0.999	PVC
4B1_T_1001	0.61	63	0.98	PVC
4B1_T_1468	79.4	63	0.975	PVC
4B1_T_1502	82.85	63	0.97	PVC
4B1_T_1510	84.55	110	0.965	PVC
4B1_T_1591	150.27	200	0.957	PVC
4B1_T_1508	95.45	63	0.935	PVC
4B1_T_1297	48.06	50	0.935	PVC
4B1_T_1512	85.12	63	0.934	PVC
4B1_T_1140	19.92	110	0.926	PVC
4B1_T_1399	65.36	110	0.924	PVC
4B1_T_1345	53.9	63	0.917	PVC
4B1_T_1144	20.86	110	0.913	PVC
4B1_T_1155	22.84	110	0.899	PVC
4B1_T_1346	54.42	63	0.897	PVC
4B1_T_1209	33.23	100	0.878	PVC
4B1_T_1067	7.89	50	0.868	PVC
4B1_T_1376	58.91	110	0.864	PVC
4B1_T_1405	64.6	50	0.852	PVC
4B1_T_1585	114.16	50	0.847	PVC
4B1_T_1125	17.61	63	0.845	PVC
4B1_T_1317	50.56	110	0.842	PVC
4B1_T_1365	64.74	63	0.832	PVC
4B1_T_1673	482.4	250	0.831	AC
4B1_T_1588	114.84	50	0.827	PVC
4B1_T_1482	77.97	63	0.821	PVC
4B1_T_1322	50.88	63	0.819	PVC
4B1_T_1644	161.88	110	0.816	PVC
4B1_T_1024	4.41	200	0.81	AC
4B1_T_1579	108.34	63	0.802	PVC
4B1_T_1641	163.62	200	0.8	AC
4B1_T_1158	23.19	500	0.796	HD
4B1_T_1551	97.66	110	0.789	PVC
4B1_T_1600	164.14	63	0.782	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 12. Datos generales de tuberías WaterGEMS.*

<b>TRAMO</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1100	12.66	110	0.753	PVC
4B1_T_1513	85.4	110	0.749	PVC
4B1_T_1177	26.49	110	0.742	PVC
4B1_T_1306	48.93	110	0.724	PVC
4B1_T_1520	87.03	63	0.722	PVC
4B1_T_1299	48.71	110	0.715	PVC
4B1_T_1159	23.68	160	0.691	PVC
4B1_T_1383	71.62	110	0.686	PVC
4B1_T_1401	64.42	63	0.684	PVC
4B1_T_1610	129.8	50	0.649	PVC
4B1_T_1676	490.5	63	0.649	PVC
4B1_T_1632	147.69	110	0.635	PVC
4B1_T_1114	15.56	250	0.631	AC
4B1_T_1601	122.72	160	0.628	PVC
4B1_T_1645	163.1	63	0.626	PVC
4B1_T_1013	3.33	300	0.625	AC
4B1_T_1677	634.12	600	0.625	HD
4B1_T_1343	53.8	50	0.62	PVC
4B1_T_1397	63.42	100	0.615	PVC
4B1_T_1571	105.17	110	0.6	PVC
4B1_T_1662	248.8	350	0.591	PVC
4B1_T_1236	37.23	63	0.584	PVC
4B1_T_1461	73.37	50	0.576	PVC
4B1_T_1172	25.62	63	0.569	PVC
4B1_T_1447	70.93	63	0.554	PVC
4B1_T_1281	45.36	63	0.545	PVC
4B1_T_1361	56.73	63	0.535	PVC
4B1_T_1266	42.8	50	0.529	PVC
4B1_T_1332	52.46	50	0.528	PVC
4B1_T_1079	9.7	63	0.522	PVC
4B1_T_1471	74.87	63	0.521	PVC
4B1_T_1319	50.7	63	0.505	PVC
4B1_T_1614	133.8	63	0.501	PVC
4B1_T_1153	22.74	200	0.498	AC
4B1_T_1476	76.03	63	0.497	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 13. Datos generales de tuberías WaterGEMS.*

<b>TRAMO</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1625	140.69	110	0.493	PVC
4B1_T_1288	46.61	50	0.485	PVC
4B1_T_1402	64.29	63	0.482	PVC
4B1_T_1671	329.51	600	0.48	PVC
4B1_T_1113	15.56	110	0.478	PVC
4B1_T_1358	56.05	63	0.467	PVC
4B1_T_1498	82.44	200	0.459	AC
4B1_T_1440	69.65	63	0.449	PVC
4B1_T_1546	94.37	200	0.448	AC
4B1_T_1205	32.67	63	0.446	PVC
4B1_T_1441	69.9	110	0.443	PVC
4B1_T_1248	39.26	110	0.44	PVC
4B1_T_1363	56.93	50	0.439	PVC
4B1_T_1593	126.07	63	0.439	PVC
4B1_T_1584	111.16	160	0.439	PVC
4B1_T_1388	61.07	63	0.439	PVC
4B1_T_1616	175.71	63	0.435	PVC
4B1_T_1543	93.52	50	0.433	PVC
4B1_T_1414	65.74	63	0.426	PVC
4B1_T_1387	60.68	63	0.422	PVC
4B1_T_1577	107.7	63	0.42	PVC
4B1_T_1098	12.48	200	0.406	AC
4B1_T_1053	6.63	110	0.404	PVC
4B1_T_1479	96.2	63	0.399	PVC
4B1_T_1310	50.08	110	0.38	PVC
4B1_T_1633	147.59	63	0.377	PVC
4B1_T_1331	52.45	110	0.369	PVC
4B1_T_1466	75.64	300	0.354	AC
4B1_T_1623	140.32	63	0.352	PVC
4B1_T_1474	75.32	110	0.352	PVC
4B1_T_1280	45.25	50	0.349	PVC
4B1_T_1460	80.47	300	0.348	AC
4B1_T_1533	91.63	63	0.344	PVC
4B1_T_1174	26	63	0.343	PVC
4B1_T_1314	71.24	63	0.338	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 14. Datos generales de tuberías WaterGEMS.*

<b>TRAMO</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1239	38.1	63	0.328	PVC
4B1_T_1072	9.14	300	0.326	AC
4B1_T_1093	11.99	63	0.323	PVC
4B1_T_1350	54.78	63	0.321	PVC
4B1_T_1542	111.26	100	0.318	PVC
4B1_T_1626	148.96	50	0.316	PVC
4B1_T_1437	69.62	63	0.308	PVC
4B1_T_1349	56.2	63	0.307	PVC
4B1_T_1406	64.52	110	0.304	PVC
4B1_T_1065	7.83	50	0.304	PVC
4B1_T_1435	69.55	63	0.3	PVC
4B1_T_1556	99.84	63	0.295	PVC
4B1_T_1606	127.41	200	0.287	AC
4B1_T_1190	29.16	63	0.286	PVC
4B1_T_1467	101.74	63	0.284	PVC
4B1_T_1300	48.52	63	0.282	PVC
4B1_T_1312	49.87	63	0.281	PVC
4B1_T_1422	66.82	63	0.267	PVC
4B1_T_1342	53.67	63	0.266	PVC
4B1_T_1127	17.98	63	0.265	PVC
4B1_T_1128	18.09	100	0.263	PVC
4B1_T_1252	40.2	63	0.259	PVC
4B1_T_1651	219.82	63	0.245	PVC
4B1_T_1642	159.04	110	0.243	PVC
4B1_T_1327	51.42	63	0.237	PVC
4B1_T_1313	50.25	350	0.237	PVC
4B1_T_1303	48.72	63	0.232	PVC
4B1_T_1413	65.47	63	0.232	PVC
4B1_T_1254	40.38	200	0.228	AC
4B1_T_1183	27.64	200	0.226	PVC
4B1_T_1184	27.69	50	0.226	PVC
4B1_T_1631	144.58	63	0.222	PVC
4B1_T_1326	51.33	63	0.22	PVC
4B1_T_1348	74.52	63	0.22	PVC
4B1_T_1283	45.74	63	0.215	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 15. Datos generales de tuberías WaterGEMS.*

<b>TRAMO</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1565	104.16	63	0.211	PVC
4B1_T_1377	59.13	200	0.211	AC
4B1_T_1487	78.89	63	0.211	PVC
4B1_T_1524	87.86	110	0.21	PVC
4B1_T_1400	69.64	63	0.209	PVC
4B1_T_1417	72.81	63	0.208	PVC
4B1_T_1507	83.79	110	0.195	PVC
4B1_T_1352	55.05	63	0.189	PVC
4B1_T_1456	72.02	110	0.186	PVC
4B1_T_1028	4.84	110	0.184	PVC
4B1_T_1634	150.49	160	0.184	PVC
4B1_T_1627	142.28	50	0.182	PVC
4B1_T_1206	32.82	63	0.181	PVC
4B1_T_1231	36.68	63	0.179	PVC
4B1_T_1409	65.12	63	0.178	PVC
4B1_T_1330	51.83	50	0.178	PVC
4B1_T_1181	27.18	63	0.175	PVC
4B1_T_1492	81.28	50	0.172	PVC
4B1_T_1293	47.53	63	0.169	PVC
4B1_T_1660	234.14	110	0.169	PVC
4B1_T_1595	134.85	63	0.168	PVC
4B1_T_1186	28.61	110	0.166	PVC
4B1_T_1182	27.74	63	0.161	PVC
4B1_T_1262	41.18	63	0.159	PVC
4B1_T_1256	40.62	63	0.154	PVC
4B1_T_1451	73.76	63	0.153	PVC
4B1_T_1416	66.39	63	0.152	PVC
4B1_T_1223	35.48	50	0.151	PVC
4B1_T_1291	47.44	63	0.151	PVC
4B1_T_1463	73.71	63	0.149	PVC
4B1_T_1215	34.71	110	0.146	PVC
4B1_T_1129	18.48	63	0.145	PVC
4B1_T_1069	8.23	63	0.145	PVC
4B1_T_1048	6.26	200	0.143	AC
4B1_T_1226	35.66	63	0.142	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 16. Datos generales de tuberías WaterGEMS.*

<b>TRAMO</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1268	43.04	63	0.138	PVC
4B1_T_1483	77.99	110	0.137	PVC
4B1_T_1438	98.57	63	0.136	PVC
4B1_T_1334	52.92	63	0.135	PVC
4B1_T_1227	35.68	63	0.133	PVC
4B1_T_1157	22.94	63	0.13	PVC
4B1_T_1311	49.57	63	0.126	PVC
4B1_T_1347	60	63	0.124	PVC
4B1_T_1370	57.69	63	0.119	PVC
4B1_T_1126	17.89	63	0.116	PVC
4B1_T_1101	12.8	63	0.116	PVC
4B1_T_1211	33.42	110	0.116	PVC
4B1_T_1431	68.49	50	0.113	PVC
4B1_T_1375	58.38	63	0.112	PVC
4B1_T_1457	72.47	50	0.111	PVC
4B1_T_1107	14.13	63	0.105	PVC
4B1_T_1380	59.47	63	0.105	PVC
4B1_T_1088	11.46	63	0.104	PVC
4B1_T_1037	5.81	63	0.102	PVC
4B1_T_1221	35.28	63	0.101	PVC
4B1_T_1419	66.47	63	0.099	PVC
4B1_T_1258	40.67	63	0.095	PVC
4B1_T_1214	47.38	63	0.094	PVC
4B1_T_1171	25.54	63	0.093	PVC
4B1_T_1354	55.19	110	0.092	PVC
4B1_T_1666	266.49	200	0.09	AC
4B1_T_1329	52.26	63	0.085	PVC
4B1_T_1185	27.96	63	0.085	PVC
4B1_T_1124	17.54	63	0.085	PVC
4B1_T_1694	77.4	63	0.085	PVC
4B1_T_1230	49.89	63	0.084	PVC
4B1_T_1364	57.33	63	0.083	PVC
4B1_T_1323	50.89	63	0.082	PVC
4B1_T_1176	36.8	63	0.081	PVC
4B1_T_1540	92.72	63	0.08	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 17. Datos generales de tuberías WaterGEMS.*

<b>TRAMO</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1298	81.94	63	0.08	PVC
4B1_T_1017	3.82	200	0.078	AC
4B1_T_1286	46.22	63	0.077	PVC
4B1_T_1273	43.75	63	0.075	PVC
4B1_T_1229	35.87	63	0.075	PVC
4B1_T_1446	93.24	63	0.073	PVC
4B1_T_1070	8.33	63	0.071	PVC
4B1_T_1241	39.02	50	0.069	PVC
4B1_T_1246	39.07	63	0.069	PVC
4B1_T_1023	4.35	63	0.068	PVC
4B1_T_1695	4.46	63	0.067	PVC
4B1_T_1475	75.53	110	0.063	PVC
4B1_T_1245	38.91	63	0.061	PVC
4B1_T_1421	70.64	63	0.059	PVC
4B1_T_1415	65.87	110	0.059	PVC
4B1_T_1357	56	100	0.058	PVC
4B1_T_1478	81.66	63	0.058	PVC
4B1_T_1426	67.33	63	0.057	PVC
4B1_T_1147	20.8	63	0.057	PVC
4B1_T_1465	74.03	63	0.056	PVC
4B1_T_1425	87.62	63	0.054	PVC
4B1_T_1086	11	63	0.054	PVC
4B1_T_1624	140.59	200	0.053	AC
4B1_T_1429	68.33	200	0.052	AC
4B1_T_1289	46.72	63	0.051	PVC
4B1_T_1163	23.57	200	0.051	AC
4B1_T_1197	29.84	63	0.05	PVC
4B1_T_1130	18.62	63	0.048	PVC
4B1_T_1049	6.32	110	0.047	PVC
4B1_T_1050	6.33	63	0.047	PVC
4B1_T_1175	26.02	63	0.046	PVC
4B1_T_1058	6.8	63	0.044	PVC
4B1_T_1259	40.94	63	0.044	PVC
4B1_T_1218	34.66	63	0.043	PVC
4B1_T_1569	104.36	50	0.043	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 18. Datos generales de tuberías WaterGEMS.*

<b>TRAMO</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1225	35.51	63	0.042	PVC
4B1_T_1269	43.54	110	0.041	PVC
4B1_T_1555	99.72	63	0.039	PVC
4B1_T_1477	76.83	63	0.039	PVC
4B1_T_1560	101.15	63	0.038	PVC
4B1_T_1251	40.02	110	0.037	PVC
4B1_T_1412	65.28	63	0.036	PVC
4B1_T_1077	9.53	63	0.031	PVC
4B1_T_1516	86.08	50	0.031	PVC
4B1_T_1608	175.42	63	0.031	PVC
4B1_T_1145	20.15	63	0.03	PVC
4B1_T_1146	20.71	50	0.029	PVC
4B1_T_1407	64.57	110	0.028	PVC
4B1_T_1084	10.84	200	0.027	AC
4B1_T_1359	56.13	63	0.027	PVC
4B1_T_1228	35.7	63	0.025	PVC
4B1_T_1192	35.8	63	0.025	PVC
4B1_T_1095	12	63	0.025	PVC
4B1_T_1161	24.16	63	0.025	PVC
4B1_T_1235	37.34	63	0.024	PVC
4B1_T_1318	50.63	63	0.024	PVC
4B1_T_1170	25.52	63	0.023	PVC
4B1_T_1619	139.86	50	0.021	PVC
4B1_T_1648	160.17	50	0.02	PVC
4B1_T_1338	53.22	63	0.017	PVC
4B1_T_1237	37.56	63	0.016	PVC
4B1_T_1545	94.49	110	0.016	PVC
4B1_T_1240	38.08	63	0.016	PVC
4B1_T_1481	77.95	63	0.015	PVC
4B1_T_1594	118.94	110	0.015	PVC
4B1_T_1495	81.67	63	0.015	PVC
4B1_T_1636	166.03	110	0.014	PVC
4B1_T_1680	62.51	63	0.014	PVC
4B1_T_1537	92.21	63	0.013	PVC
4B1_T_1548	95.56	63	0.012	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 19. Datos generales de tuberías WaterGEMS.*

<b>TRAMO</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1301	48.61	200	0.012	AC
4B1_T_1169	25.17	63	0.012	PVC
4B1_T_1187	28.66	63	0.01	PVC
4B1_T_1217	34.61	63	0.009	PVC
4B1_T_1260	41.16	63	0.007	PVC
4B1_T_1497	82.34	200	0.007	AC
4B1_T_1264	41.91	63	0.007	PVC
4B1_T_1272	43.66	63	0.007	PVC
4B1_T_1304	49.09	200	0.006	AC
4B1_T_1561	105.26	63	0.006	PVC
4B1_T_1353	55.13	63	0.005	PVC
4B1_T_1567	110.58	63	0.005	PVC
4B1_T_1427	67.56	110	0.004	PVC
4B1_T_1605	136.71	63	0.004	PVC
4B1_T_1420	91.65	63	0.003	PVC
4B1_T_1602	123.37	200	0.002	AC
4B1_T_1637	153	63	0.002	PVC
4B1_T_1669	312.88	200	0.001	PVC
4B1_T_1003	1.15	200	0	AC
4B1_T_1009	2.96	63	0	PVC
4B1_T_1012	3.3	300	0	AC
4B1_T_1014	3.7	63	0	PVC
4B1_T_1019	3.99	63	0	PVC
4B1_T_1020	4	63	0	PVC
4B1_T_1021	4.02	63	0	PVC
4B1_T_1025	4.47	200	0	AC
4B1_T_1026	4.54	110	0	PVC
4B1_T_1029	4.86	63	0	PVC
4B1_T_1030	4.95	110	0	PVC
4B1_T_1034	5.54	63	0	PVC
4B1_T_1035	5.6	110	0	PVC
4B1_T_1036	5.66	63	0	PVC
4B1_T_1038	5.9	63	0	PVC
4B1_T_1039	5.97	63	0	PVC
4B1_T_1040	5.99	63	0	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 20. Datos generales de tuberías WaterGEMS.*

<b>TRAMO</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1041	6	63	0	PVC
4B1_T_1042	6	63	0	PVC
4B1_T_1043	6	63	0	PVC
4B1_T_1044	6	63	0	PVC
4B1_T_1046	6.09	63	0	PVC
4B1_T_1047	6.25	63	0	PVC
4B1_T_1051	6.54	63	0	PVC
4B1_T_1052	6.54	63	0	PVC
4B1_T_1054	6.73	63	0	PVC
4B1_T_1055	6.78	250	0	AC
4B1_T_1056	6.79	110	0	PVC
4B1_T_1057	6.8	110	0	PVC
4B1_T_1059	6.98	63	0	PVC
4B1_T_1063	7.45	63	0	PVC
4B1_T_1064	7.46	110	0	PVC
4B1_T_1071	8.42	63	0	PVC
4B1_T_1074	9.3	100	0	AC
4B1_T_1080	9.79	50	0	PVC
4B1_T_1082	10.64	63	0	PVC
4B1_T_1090	11.77	63	0	PVC
4B1_T_1091	11.78	63	0	PVC
4B1_T_1092	11.92	110	0	PVC
4B1_T_1094	12	63	0	PVC
4B1_T_1097	12.37	63	0	PVC
4B1_T_1102	13.24	63	0	PVC
4B1_T_1103	16.4	63	0	PVC
4B1_T_1104	13.56	160	0	PVC
4B1_T_1110	14.39	63	0	PVC
4B1_T_1112	15	63	0	PVC
4B1_T_1115	15.8	300	0	AC
4B1_T_1120	16.87	63	0	PVC
4B1_T_1121	20.25	200	0	AC
4B1_T_1123	17.15	63	0	PVC
4B1_T_1139	19.86	63	0	PVC
4B1_T_1141	19.97	110	0	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 21. Datos generales de tuberías WaterGEMS.*

<b>TRAMO</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1154	22.79	63	0	PVC
4B1_T_1160	23.29	63	0	PVC
4B1_T_1162	23.56	110	0	PVC
4B1_T_1164	23.64	63	0	PVC
4B1_T_1188	28.86	300	0	AC
4B1_T_1194	29.51	63	0	PVC
4B1_T_1202	29.83	63	0	PVC
4B1_T_1203	29.95	63	0	PVC
4B1_T_1208	32.93	110	0	PVC
4B1_T_1253	40.32	63	0	PVC
4B1_T_1255	40.43	200	0	AC
4B1_T_1274	44.17	110	0	PVC
4B1_T_1366	57.18	63	0	PVC
4B1_T_1381	64.2	110	0	PVC
4B1_T_1382	75.37	63	0	PVC
4B1_T_1458	72.24	110	0	PVC
4B1_T_1485	85.35	110	0	PVC
4B1_T_1518	86.7	63	0	PVC
4B1_T_1522	89.71	63	0	PVC
4B1_T_1532	90.51	50	0	PVC
4B1_T_1547	94.55	200	0	AC
4B1_T_1563	102.69	50	0	PVC
4B1_T_1575	106.15	200	0	AC
4B1_T_1586	175.05	50	0	PVC
4B1_T_1587	114.27	50	0	PVC
4B1_T_1653	211.32	63	0	PVC
4B1_T_1681	1.63	63	0	PVC
4B1_T_1682	29.37	200	0	AC
4B1_T_1683	61.43	200	0	AC
4B1_T_1684	178.37	63	0	PVC
4B1_T_1685	1.63	63	0	PVC
4B1_T_1686	70.84	110	0	PVC
4B1_T_1687	33.45	110	0	PVC
4B1_T_1688	298.34	350	0	PVC
4B1_T_1689	53.05	350	0	PVC

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 22. Datos generales de tuberías WaterGEMS.*

<b>TRAMO</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>DIAMETRO (mm)</b>	<b>PERDIDA DE CARGA</b>	<b>MATERIAL</b>
4B1_T_1690	52.69	63	0	PVC
4B1_T_1691	1.84	63	0	PVC
4B1_T_1390(1)	41.37	110	0	PVC
4B1_T_1390(2)	22.85	110	0	PVC

**Fuente,** Autor (2025).

*Anexo 23. Datos generales de nodos WaterGEMS.*

<b>NODO</b>	<b>ELEVACION</b>	<b>ELEVACION HIDRAULICA</b>	<b>PRESION</b>
4B1_N_1104	2,510.09	2,577.98	67.8
4B1_N_1103	2,510.48	2,577.98	67.4
4B1_N_1225	2,515.49	2,578.57	63
4B1_N_1226	2,515.89	2,578.67	62.7
4B1_N_1465	2,517.11	2,579.34	62.1
4B1_N_1445	2,518.06	2,578.56	60.4
4B1_N_1201	2,519.76	2,579.45	59.6
4B1_N_1099	2,519.96	2,579.44	59.4
4B1_N_1508	2,519.42	2,578.66	59.1
4B1_N_1100	2,520.27	2,579.44	59.1
4B1_N_1243	2,521.17	2,579.43	58.1
4B1_N_1212	2,499.46	2,555.80	56.2
4B1_N_1213	2,499.46	2,555.80	56.2
4B1_N_1146	2,523.28	2,579.52	56.1
4B1_N_1033	2,523.39	2,579.55	56
4B1_N_1034	2,523.53	2,579.52	55.9
4B1_N_1284	2,523.98	2,579.56	55.5
4B1_N_1554	2,504.50	2,559.56	54.9
4B1_N_1349	2,524.26	2,579.31	54.9
4B1_N_1583	2,526.33	2,581.33	54.9
4B1_N_1483	2,525.00	2,579.88	54.8
4B1_N_1115	2,524.74	2,579.54	54.7
4B1_N_1397	2,524.76	2,579.56	54.7
4B1_N_1088	2,501.04	2,555.82	54.7
4B1_N_1089	2,501.16	2,555.82	54.6
4B1_N_1116	2,525.06	2,579.54	54.4

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 24. Datos generales de nodos WaterGEMS.*

<b>NODO</b>	<b>ELEVACION</b>	<b>ELEVACION HIDRAULICA</b>	<b>PRESION</b>
4B1_N_1502	2,525.00	2,579.31	54.2
4B1_N_1023	2,525.68	2,579.91	54.1
4B1_N_1131	2,525.67	2,579.90	54.1
4B1_N_1024	2,525.68	2,579.91	54.1
4B1_N_1022	2,525.63	2,579.85	54.1
4B1_N_1021	2,525.78	2,579.85	54
4B1_N_1046	2,526.00	2,580.03	53.9
4B1_N_1047	2,526.00	2,580.03	53.9
4B1_N_1202	2,526.00	2,579.90	53.8
4B1_N_1268	2,526.13	2,580.03	53.8
4B1_N_1133	2,501.91	2,555.70	53.7
4B1_N_1504	2,525.00	2,578.78	53.7
4B1_N_1540	2,526.00	2,579.54	53.4
4B1_N_1555	2,527.88	2,581.36	53.4
4B1_N_1466	2,525.90	2,579.33	53.3
4B1_N_1134	2,502.41	2,555.70	53.2
4B1_N_1295	2,526.63	2,579.91	53.2
4B1_N_1447	2,526.48	2,579.65	53.1
4B1_N_1414	2,502.92	2,555.86	52.8
4B1_N_1455	2,529.29	2,581.97	52.6
4B1_N_1433	2,503.19	2,555.81	52.5
4B1_N_1503	2,527.13	2,579.69	52.5
4B1_N_1291	2,507.24	2,559.69	52.3
4B1_N_1290	2,507.36	2,559.69	52.2
4B1_N_1454	2,530.08	2,582.09	51.9
4B1_N_1219	2,527.70	2,579.69	51.9
4B1_N_1556	2,529.36	2,581.32	51.9
4B1_N_1411	2,528.10	2,580.02	51.8
4B1_N_1415	2,504.10	2,555.86	51.7
4B1_N_1523	2,503.86	2,555.56	51.6
4B1_N_1304	2,503.90	2,555.60	51.6
4B1_N_1379	2,528.05	2,579.69	51.5
4B1_N_1218	2,528.16	2,579.70	51.4
4B1_N_1407	2,531.24	2,582.36	51
4B1_N_1410	2,528.92	2,580.02	51

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 25. Datos generales de nodos WaterGEMS.*

<b>NODO</b>	<b>ELEVACION</b>	<b>ELEVACION HIDRAULICA</b>	<b>PRESION</b>
4B1_N_1567	2,508.64	2,559.69	50.9
4B1_N_1269	2,528.82	2,579.81	50.9
4B1_N_1420	2,531.26	2,581.86	50.5
4B1_N_1305	2,504.99	2,555.51	50.4
4B1_N_1270	2,529.31	2,579.81	50.4
4B1_N_1472	2,531.12	2,581.50	50.3
4B1_N_1427	2,529.66	2,580.02	50.3
4B1_N_1015	2,531.69	2,581.84	50
4B1_N_1016	2,531.71	2,581.84	50
4B1_N_1391	2,531.72	2,581.82	50
4B1_N_1353	2,532.47	2,582.50	49.9
4B1_N_1460	2,532.30	2,582.26	49.9
4B1_N_1507	2,530.07	2,580.02	49.8
4B1_N_1422	2,532.56	2,582.48	49.8
4B1_N_1292	2,531.99	2,581.83	49.7
4B1_N_1006	2,530.20	2,580.02	49.7
4B1_N_1005	2,530.22	2,580.02	49.7
4B1_N_1438	2,530.00	2,579.73	49.6
4B1_N_1393	2,530.10	2,579.78	49.6
4B1_N_1065	2,530.27	2,579.73	49.4
4B1_N_1400	2,506.02	2,555.43	49.3
4B1_N_1064	2,530.34	2,579.73	49.3
4B1_N_1221	2,533.22	2,582.61	49.3
4B1_N_1282	2,532.42	2,581.59	49.1
4B1_N_1283	2,532.44	2,581.59	49
4B1_N_1220	2,533.52	2,582.61	49
4B1_N_1388	2,506.09	2,555.16	49
4B1_N_1289	2,530.78	2,579.77	48.9
4B1_N_1296	2,533.75	2,582.70	48.8
4B1_N_1348	2,532.65	2,581.59	48.8
4B1_N_1378	2,531.01	2,579.78	48.7
4B1_N_1107	2,531.01	2,579.76	48.7
4B1_N_1108	2,531.16	2,579.76	48.5
4B1_N_1032	2,531.86	2,580.25	48.3
4B1_N_1031	2,531.88	2,580.25	48.3

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 26. Datos generales de nodos WaterGEMS.*

<b>NODO</b>	<b>ELEVACION</b>	<b>ELEVACION HIDRAULICA</b>	<b>PRESION</b>
4B1_N_1489	2,533.44	2,581.67	48.1
4B1_N_1577	2,534.00	2,582.11	48
4B1_N_1527	2,532.02	2,580.03	47.9
4B1_N_1071	2,532.26	2,580.20	47.8
4B1_N_1070	2,532.29	2,580.20	47.8
4B1_N_1505	2,530.92	2,578.78	47.8
4B1_N_1470	2,507.67	2,555.47	47.7
4B1_N_1272	2,533.96	2,581.73	47.7
4B1_N_1398	2,507.48	2,555.16	47.6
4B1_N_1273	2,534.14	2,581.78	47.5
4B1_N_1306	2,532.63	2,580.26	47.5
4B1_N_1530	2,534.17	2,581.64	47.4
4B1_N_1087	2,532.72	2,580.14	47.3
4B1_N_1086	2,532.80	2,580.14	47.2
4B1_N_1250	2,532.80	2,580.11	47.2
4B1_N_1307	2,533.04	2,580.26	47.1
4B1_N_1496	2,532.33	2,579.43	47
4B1_N_1266	2,533.19	2,580.11	46.8
4B1_N_1368	2,533.44	2,580.27	46.7
4B1_N_1019	2,535.92	2,582.66	46.6
4B1_N_1012	2,535.95	2,582.64	46.6
4B1_N_1020	2,535.99	2,582.67	46.6
4B1_N_1011	2,535.99	2,582.65	46.6
4B1_N_1488	2,508.87	2,555.33	46.4
4B1_N_1050	2,537.17	2,583.40	46.1
4B1_N_1572	2,534.02	2,580.20	46.1
4B1_N_1049	2,537.32	2,583.42	46
4B1_N_1453	2,537.40	2,583.06	45.6
4B1_N_1092	2,536.06	2,581.58	45.4
4B1_N_1091	2,536.12	2,581.58	45.4
4B1_N_1497	2,534.80	2,580.25	45.4
4B1_N_1578	2,531.44	2,576.86	45.3
4B1_N_1548	2,535.81	2,581.17	45.3
4B1_N_1428	2,537.43	2,582.76	45.2
4B1_N_1389	2,510.08	2,555.32	45.2

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 27. Datos generales de nodos WaterGEMS.*

<b>NODO</b>	<b>ELEVACION</b>	<b>ELEVACION HIDRAULICA</b>	<b>PRESION</b>
4B1_N_1452	2,538.15	2,583.04	44.8
4B1_N_1512	2,537.28	2,582.17	44.8
4B1_N_1446	2,535.54	2,580.27	44.6
4B1_N_1516	2,536.43	2,581.13	44.6
4B1_N_1515	2,537.15	2,581.75	44.5
4B1_N_1029	2,538.35	2,582.90	44.5
4B1_N_1189	2,536.44	2,580.98	44.5
4B1_N_1188	2,536.52	2,581.04	44.4
4B1_N_1030	2,538.41	2,582.91	44.4
4B1_N_1162	2,536.48	2,580.85	44.3
4B1_N_1112	2,537.85	2,582.20	44.3
4B1_N_1140	2,538.51	2,582.85	44.3
4B1_N_1111	2,537.94	2,582.22	44.2
4B1_N_1251	2,537.97	2,582.18	44.1
4B1_N_1161	2,536.70	2,580.85	44.1
4B1_N_1322	2,537.07	2,581.17	44
4B1_N_1352	2,534.04	2,577.94	43.8
4B1_N_1327	2,534.06	2,577.94	43.8
4B1_N_1362	2,534.92	2,578.77	43.8
4B1_N_1339	2,538.20	2,582.03	43.7
4B1_N_1237	2,537.22	2,581.04	43.7
4B1_N_1180	2,537.47	2,581.28	43.7
4B1_N_1484	2,536.52	2,580.30	43.7
4B1_N_1332	2,539.96	2,583.71	43.7
4B1_N_1380	2,536.58	2,580.28	43.6
4B1_N_1203	2,536.67	2,580.30	43.5
4B1_N_1179	2,537.70	2,581.28	43.5
4B1_N_1319	2,511.75	2,555.29	43.4
4B1_N_1197	2,536.91	2,580.44	43.4
4B1_N_1558	2,538.14	2,581.57	43.3
4B1_N_1204	2,536.98	2,580.37	43.3
4B1_N_1238	2,537.73	2,581.04	43.2
4B1_N_1328	2,534.74	2,577.94	43.1
4B1_N_1196	2,537.38	2,580.44	43
4B1_N_1471	2,539.00	2,582.02	42.9

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 28. Datos generales de nodos WaterGEMS.*

<b>NODO</b>	<b>ELEVACION</b>	<b>ELEVACION HIDRAULICA</b>	<b>PRESION</b>
4B1_N_1236	2,540.73	2,583.71	42.9
4B1_N_1361	2,536.00	2,578.91	42.8
4B1_N_1434	2,540.00	2,582.89	42.8
4B1_N_1350	2,538.60	2,581.47	42.8
4B1_N_1232	2,537.70	2,580.50	42.7
4B1_N_1235	2,541.00	2,583.75	42.7
4B1_N_1461	2,512.61	2,555.25	42.6
4B1_N_1561	2,539.65	2,582.19	42.5
4B1_N_1458	2,517.19	2,559.61	42.3
4B1_N_1485	2,537.64	2,579.94	42.2
4B1_N_1182	2,536.57	2,578.86	42.2
4B1_N_1181	2,536.59	2,578.86	42.2
4B1_N_1546	2,540.15	2,582.41	42.2
4B1_N_1534	2,537.67	2,579.84	42.1
4B1_N_1566	2,516.11	2,558.10	41.9
4B1_N_1253	2,538.51	2,580.35	41.7
4B1_N_1145	2,539.73	2,581.50	41.7
4B1_N_1551	2,539.39	2,581.04	41.6
4B1_N_1055	2,540.00	2,581.58	41.5
4B1_N_1401	2,540.94	2,582.50	41.5
4B1_N_1042	2,539.94	2,581.45	41.4
4B1_N_1041	2,540.01	2,581.47	41.4
4B1_N_1435	2,541.47	2,582.91	41.4
4B1_N_1223	2,513.84	2,555.26	41.3
4B1_N_1222	2,513.85	2,555.26	41.3
4B1_N_1174	2,539.00	2,580.36	41.3
4B1_N_1310	2,540.53	2,581.73	41.1
4B1_N_1536	2,540.90	2,582.05	41.1
4B1_N_1402	2,541.36	2,582.49	41
4B1_N_1254	2,536.80	2,577.89	41
4B1_N_1560	2,538.38	2,579.43	41
4B1_N_1424	2,538.80	2,579.84	41
4B1_N_1293	2,539.19	2,580.20	40.9
4B1_N_1173	2,539.50	2,580.36	40.8
4B1_N_1342	2,538.00	2,578.85	40.8

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 29. Datos generales de nodos WaterGEMS.*

<b>NODO</b>	<b>ELEVACION</b>	<b>ELEVACION HIDRAULICA</b>	<b>PRESION</b>
4B1_N_1510	2,541.74	2,582.49	40.7
4B1_N_1430	2,539.13	2,579.83	40.6
4B1_N_1318	2,539.54	2,580.19	40.6
4B1_N_1522	2,544.00	2,584.51	40.4
4B1_N_1535	2,542.00	2,582.48	40.4
4B1_N_1541	2,544.00	2,584.36	40.3
4B1_N_1436	2,539.57	2,579.88	40.2
4B1_N_1048	2,540.01	2,580.29	40.2
4B1_N_1329	2,542.06	2,582.26	40.1
4B1_N_1178	2,542.89	2,583.02	40
4B1_N_1308	2,542.91	2,583.02	40
4B1_N_1039	2,540.13	2,580.19	40
4B1_N_1122	2,540.00	2,580.05	40
4B1_N_1121	2,540.00	2,580.05	40
4B1_N_1575	2,515.84	2,555.86	39.9
4B1_N_1177	2,543.01	2,583.03	39.9
4B1_N_1538	2,519.30	2,559.29	39.9
4B1_N_1358	2,544.70	2,584.68	39.9
4B1_N_1242	2,540.01	2,579.96	39.9
4B1_N_1059	2,540.28	2,580.19	39.8
4B1_N_1040	2,540.29	2,580.19	39.8
4B1_N_1260	2,540.22	2,580.12	39.8
4B1_N_1473	2,544.64	2,584.52	39.8
4B1_N_1052	2,545.00	2,584.85	39.8
4B1_N_1051	2,545.00	2,584.85	39.8
4B1_N_1265	2,540.06	2,579.91	39.8
4B1_N_1337	2,541.46	2,581.30	39.8
4B1_N_1359	2,544.88	2,584.68	39.7
4B1_N_1062	2,540.40	2,580.19	39.7
4B1_N_1425	2,540.32	2,580.07	39.7
4B1_N_1128	2,540.21	2,579.91	39.6
4B1_N_1259	2,540.44	2,580.13	39.6
4B1_N_1035	2,540.24	2,579.92	39.6
4B1_N_1264	2,540.24	2,579.91	39.6
4B1_N_1036	2,540.26	2,579.92	39.6

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 30. Datos generales de nodos WaterGEMS.*

<b>NODO</b>	<b>ELEVACION</b>	<b>ELEVACION HIDRAULICA</b>	<b>PRESION</b>
4B1_N_1127	2,540.28	2,579.91	39.6
4B1_N_1080	2,514.20	2,553.83	39.6
4B1_N_1476	2,545.23	2,584.80	39.5
4B1_N_1081	2,514.27	2,553.83	39.5
4B1_N_1165	2,540.40	2,579.92	39.4
4B1_N_1143	2,540.37	2,579.85	39.4
4B1_N_1276	2,540.43	2,579.91	39.4
4B1_N_1113	2,540.78	2,580.20	39.3
4B1_N_1198	2,543.69	2,583.08	39.3
4B1_N_1258	2,545.81	2,585.20	39.3
4B1_N_1334	2,541.05	2,580.30	39.2
4B1_N_1576	2,520.30	2,559.55	39.2
4B1_N_1356	2,545.61	2,584.85	39.2
4B1_N_1285	2,545.75	2,584.98	39.1
4B1_N_1058	2,541.00	2,580.19	39.1
4B1_N_1464	2,540.80	2,579.96	39.1
4B1_N_1144	2,540.77	2,579.85	39
4B1_N_1199	2,544.00	2,583.08	39
4B1_N_1406	2,544.56	2,583.57	38.9
4B1_N_1421	2,542.73	2,581.72	38.9
4B1_N_1525	2,545.97	2,584.95	38.9
4B1_N_1114	2,541.22	2,580.20	38.9
4B1_N_1547	2,541.74	2,580.72	38.9
4B1_N_1375	2,514.99	2,553.84	38.8
4B1_N_1439	2,515.00	2,553.84	38.8
4B1_N_1511	2,515.00	2,553.84	38.8
4B1_N_1252	2,543.31	2,582.13	38.7
4B1_N_1457	2,515.03	2,553.85	38.7
4B1_N_1025	2,541.11	2,579.91	38.7
4B1_N_1344	2,541.42	2,580.19	38.7
4B1_N_1026	2,541.18	2,579.91	38.7
4B1_N_1449	2,546.10	2,584.80	38.6
4B1_N_1495	2,516.23	2,554.92	38.6
4B1_N_1347	2,541.39	2,580.03	38.6
4B1_N_1287	2,546.32	2,584.95	38.6

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 31. Datos generales de nodos WaterGEMS.*

<b>NODO</b>	<b>ELEVACION</b>	<b>ELEVACION HIDRAULICA</b>	<b>PRESION</b>
4B1_N_1528	2,544.67	2,583.24	38.5
4B1_N_1333	2,541.82	2,580.38	38.5
4B1_N_1321	2,515.42	2,553.86	38.4
4B1_N_1343	2,542.02	2,580.38	38.3
4B1_N_1374	2,515.51	2,553.84	38.3
4B1_N_1248	2,541.61	2,579.91	38.2
4B1_N_1338	2,541.60	2,579.85	38.2
4B1_N_1155	2,546.86	2,585.10	38.2
4B1_N_1156	2,546.87	2,585.07	38.1
4B1_N_1405	2,545.64	2,583.83	38.1
4B1_N_1429	2,515.64	2,553.83	38.1
4B1_N_1563	2,546.33	2,584.50	38.1
4B1_N_1255	2,539.72	2,577.89	38.1
4B1_N_1098	2,543.98	2,582.06	38
4B1_N_1224	2,542.00	2,580.04	38
4B1_N_1286	2,547.00	2,585.02	37.9
4B1_N_1217	2,542.06	2,580.04	37.9
4B1_N_1001	2,544.10	2,582.07	37.9
4B1_N_1320	2,515.91	2,553.87	37.9
4B1_N_1002	2,544.13	2,582.06	37.9
4B1_N_1045	2,543.20	2,581.06	37.8
4B1_N_1354	2,545.62	2,583.46	37.8
4B1_N_1017	2,545.22	2,583.05	37.7
4B1_N_1014	2,543.26	2,581.06	37.7
4B1_N_1200	2,516.10	2,553.89	37.7
4B1_N_1500	2,547.20	2,584.98	37.7
4B1_N_1013	2,543.30	2,581.07	37.7
4B1_N_1018	2,545.29	2,583.05	37.7
4B1_N_1294	2,545.74	2,583.48	37.7
4B1_N_1054	2,542.34	2,580.04	37.6
4B1_N_1063	2,516.20	2,553.88	37.6
4B1_N_1053	2,542.36	2,580.04	37.6
4B1_N_1003	2,545.84	2,583.49	37.6
4B1_N_1004	2,545.84	2,583.48	37.6
4B1_N_1409	2,544.11	2,581.76	37.6

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 32. Datos generales de nodos WaterGEMS.*

<b>NODO</b>	<b>ELEVACION</b>	<b>ELEVACION HIDRAULICA</b>	<b>PRESION</b>
4B1_N_1137	2,543.44	2,581.08	37.6
4B1_N_1492	2,543.31	2,580.91	37.5
4B1_N_1459	2,521.90	2,559.50	37.5
4B1_N_1083	2,545.87	2,583.43	37.5
4B1_N_1082	2,545.94	2,583.48	37.5
4B1_N_1038	2,547.47	2,584.96	37.4
4B1_N_1037	2,547.48	2,584.96	37.4
4B1_N_1481	2,547.68	2,585.15	37.4
4B1_N_1448	2,547.37	2,584.80	37.4
4B1_N_1486	2,546.99	2,584.36	37.3
4B1_N_1385	2,544.41	2,581.72	37.2
4B1_N_1280	2,542.75	2,580.05	37.2
4B1_N_1360	2,516.57	2,553.86	37.2
4B1_N_1166	2,543.96	2,581.23	37.2
4B1_N_1061	2,543.01	2,580.19	37.1
4B1_N_1370	2,516.72	2,553.86	37.1
4B1_N_1519	2,547.87	2,584.97	37
4B1_N_1060	2,543.14	2,580.20	37
4B1_N_1499	2,543.15	2,580.20	37
4B1_N_1298	2,541.52	2,578.49	36.9
4B1_N_1167	2,544.29	2,581.23	36.9
4B1_N_1205	2,544.30	2,581.21	36.8
4B1_N_1067	2,546.70	2,583.60	36.8
4B1_N_1392	2,546.58	2,583.45	36.8
4B1_N_1432	2,544.34	2,581.21	36.8
4B1_N_1557	2,516.99	2,553.85	36.8
4B1_N_1281	2,546.57	2,583.43	36.8
4B1_N_1437	2,544.89	2,581.64	36.7
4B1_N_1206	2,544.55	2,581.25	36.6
4B1_N_1066	2,546.92	2,583.60	36.6
4B1_N_1234	2,545.18	2,581.72	36.5
4B1_N_1491	2,544.02	2,580.53	36.4
4B1_N_1301	2,544.81	2,581.31	36.4
4B1_N_1324	2,548.85	2,585.31	36.4
4B1_N_1565	2,521.99	2,558.42	36.4

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 33. Datos generales de nodos WaterGEMS.*

<b>NODO</b>	<b>ELEVACION</b>	<b>ELEVACION HIDRAULICA</b>	<b>PRESION</b>
4B1_N_1450	2,544.58	2,580.92	36.3
4B1_N_1369	2,545.05	2,581.31	36.2
4B1_N_1233	2,545.53	2,581.77	36.2
4B1_N_1417	2,547.89	2,584.09	36.1
4B1_N_1073	2,547.57	2,583.73	36.1
4B1_N_1443	2,544.18	2,580.32	36.1
4B1_N_1553	2,544.16	2,580.29	36.1
4B1_N_1323	2,549.27	2,585.39	36.1
4B1_N_1371	2,517.76	2,553.85	36
4B1_N_1513	2,548.87	2,584.92	36
4B1_N_1569	2,518.24	2,554.25	35.9
4B1_N_1072	2,547.76	2,583.73	35.9
4B1_N_1247	2,546.73	2,582.64	35.8
4B1_N_1373	2,548.92	2,584.82	35.8
4B1_N_1183	2,546.00	2,581.87	35.8
4B1_N_1345	2,545.89	2,581.73	35.8
4B1_N_1357	2,546.81	2,582.64	35.8
4B1_N_1228	2,545.16	2,580.93	35.7
4B1_N_1326	2,546.91	2,582.67	35.7
4B1_N_1384	2,549.21	2,584.95	35.7
4B1_N_1426	2,549.56	2,585.31	35.7
4B1_N_1383	2,546.30	2,582.03	35.7
4B1_N_1456	2,518.16	2,553.85	35.6
4B1_N_1574	2,518.14	2,553.81	35.6
4B1_N_1097	2,549.34	2,584.99	35.6
4B1_N_1482	2,545.29	2,580.91	35.5
4B1_N_1124	2,548.29	2,583.86	35.5
4B1_N_1090	2,549.46	2,584.99	35.5
4B1_N_1154	2,548.64	2,584.16	35.5
4B1_N_1331	2,548.70	2,584.22	35.4
4B1_N_1123	2,548.33	2,583.84	35.4
4B1_N_1010	2,549.52	2,584.99	35.4
4B1_N_1009	2,549.52	2,584.99	35.4
4B1_N_1545	2,544.72	2,580.19	35.4
4B1_N_1363	2,518.40	2,553.86	35.4

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 34. Datos generales de nodos WaterGEMS.*

<b>NODO</b>	<b>ELEVACION</b>	<b>ELEVACION HIDRAULICA</b>	<b>PRESION</b>
4B1_N_1278	2,545.45	2,580.89	35.4
4B1_N_1346	2,546.29	2,581.72	35.4
4B1_N_1581	2,547.00	2,582.41	35.3
4B1_N_1184	2,546.49	2,581.87	35.3
4B1_N_1246	2,547.36	2,582.64	35.2
4B1_N_1153	2,548.89	2,584.16	35.2
4B1_N_1168	2,544.89	2,580.16	35.2
4B1_N_1526	2,546.77	2,582.04	35.2
4B1_N_1396	2,546.60	2,581.86	35.2
4B1_N_1244	2,545.23	2,580.48	35.2
4B1_N_1544	2,549.76	2,585.01	35.2
4B1_N_1524	2,549.90	2,585.14	35.2
4B1_N_1195	2,545.10	2,580.35	35.2
4B1_N_1227	2,545.76	2,580.98	35.2
4B1_N_1493	2,545.00	2,580.21	35.1
4B1_N_1194	2,545.00	2,580.20	35.1
4B1_N_1480	2,524.36	2,559.55	35.1
4B1_N_1413	2,545.80	2,580.97	35.1
4B1_N_1169	2,545.00	2,580.16	35.1
4B1_N_1079	2,550.03	2,585.17	35.1
4B1_N_1451	2,545.20	2,580.32	35.1
4B1_N_1372	2,549.72	2,584.82	35
4B1_N_1231	2,545.93	2,581.02	35
4B1_N_1521	2,550.31	2,585.38	35
4B1_N_1229	2,545.90	2,580.89	34.9
4B1_N_1330	2,549.27	2,584.22	34.9
4B1_N_1487	2,546.54	2,581.49	34.9
4B1_N_1209	2,550.46	2,585.37	34.8
4B1_N_1230	2,545.89	2,580.79	34.8
4B1_N_1245	2,545.58	2,580.48	34.8
4B1_N_1477	2,545.58	2,580.48	34.8
4B1_N_1160	2,550.53	2,585.41	34.8
4B1_N_1078	2,550.31	2,585.17	34.8
4B1_N_1257	2,547.54	2,582.39	34.8
4B1_N_1351	2,546.51	2,581.30	34.7

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 35. Datos generales de nodos WaterGEMS.*

<b>NODO</b>	<b>ELEVACION</b>	<b>ELEVACION HIDRAULICA</b>	<b>PRESION</b>
4B1_N_1256	2,547.58	2,582.37	34.7
4B1_N_1341	2,547.80	2,582.56	34.7
4B1_N_1325	2,547.93	2,582.67	34.7
4B1_N_1159	2,550.69	2,585.41	34.7
4B1_N_1469	2,547.00	2,581.70	34.6
4B1_N_1190	2,547.01	2,581.63	34.6
4B1_N_1210	2,550.72	2,585.33	34.5
4B1_N_1118	2,546.71	2,581.32	34.5
4B1_N_1520	2,547.24	2,581.82	34.5
4B1_N_1336	2,550.81	2,585.37	34.5
4B1_N_1408	2,543.36	2,577.88	34.5
4B1_N_1141	2,519.46	2,553.94	34.4
4B1_N_1117	2,546.84	2,581.32	34.4
4B1_N_1440	2,551.06	2,585.53	34.4
4B1_N_1340	2,548.14	2,582.57	34.4
4B1_N_1335	2,550.95	2,585.37	34.3
4B1_N_1399	2,546.47	2,580.85	34.3
4B1_N_1412	2,551.00	2,585.37	34.3
4B1_N_1514	2,550.03	2,584.32	34.2
4B1_N_1077	2,519.68	2,553.86	34.1
4B1_N_1377	2,546.71	2,580.88	34.1
4B1_N_1142	2,519.82	2,553.95	34.1
4B1_N_1076	2,519.74	2,553.86	34
4B1_N_1303	2,547.48	2,581.58	34
4B1_N_1468	2,547.00	2,581.10	34
4B1_N_1191	2,547.54	2,581.63	34
4B1_N_1271	2,547.05	2,581.10	34
4B1_N_1376	2,547.00	2,581.05	34
4B1_N_1419	2,547.64	2,581.64	33.9
4B1_N_1416	2,548.73	2,582.71	33.9
4B1_N_1573	2,521.30	2,555.25	33.9
4B1_N_1043	2,548.38	2,582.24	33.8
4B1_N_1044	2,548.41	2,582.24	33.8
4B1_N_1404	2,550.68	2,584.34	33.6
4B1_N_1279	2,551.69	2,585.35	33.6

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 36. Datos generales de nodos WaterGEMS.*

<b>NODO</b>	<b>ELEVACION</b>	<b>ELEVACION HIDRAULICA</b>	<b>PRESION</b>
4B1_N_1302	2,548.00	2,581.66	33.6
4B1_N_1509	2,548.39	2,581.95	33.5
4B1_N_1386	2,548.47	2,581.96	33.4
4B1_N_1431	2,552.31	2,585.80	33.4
4B1_N_1418	2,548.32	2,581.75	33.4
4B1_N_1299	2,548.84	2,582.19	33.3
4B1_N_1093	2,548.78	2,582.10	33.3
4B1_N_1444	2,548.92	2,582.17	33.2
4B1_N_1105	2,548.87	2,582.12	33.2
4B1_N_1094	2,548.95	2,582.10	33.1
4B1_N_1106	2,549.02	2,582.12	33
4B1_N_1543	2,548.57	2,581.64	33
4B1_N_1387	2,552.71	2,585.76	33
4B1_N_1532	2,545.46	2,578.38	32.9
4B1_N_1571	2,521.00	2,553.86	32.8
4B1_N_1494	2,522.24	2,554.93	32.6
4B1_N_1355	2,553.00	2,585.55	32.5
4B1_N_1150	2,549.92	2,582.41	32.4
4B1_N_1423	2,549.59	2,582.08	32.4
4B1_N_1478	2,521.38	2,553.86	32.4
4B1_N_1403	2,551.87	2,584.35	32.4
4B1_N_1441	2,552.91	2,585.35	32.4
4B1_N_1501	2,550.17	2,582.59	32.3
4B1_N_1149	2,550.08	2,582.41	32.3
4B1_N_1275	2,553.27	2,585.55	32.2
4B1_N_1110	2,551.58	2,583.86	32.2
4B1_N_1241	2,550.24	2,582.49	32.2
4B1_N_1109	2,551.69	2,583.94	32.2
4B1_N_1382	2,521.65	2,553.86	32.1
4B1_N_1475	2,550.07	2,582.22	32.1
4B1_N_1531	2,550.64	2,582.78	32.1
4B1_N_1027	2,553.82	2,585.94	32.1
4B1_N_1474	2,550.11	2,582.22	32
4B1_N_1028	2,553.91	2,585.96	32
4B1_N_1171	2,553.62	2,585.62	31.9

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 37. Datos generales de nodos WaterGEMS.*

<b>NODO</b>	<b>ELEVACION</b>	<b>ELEVACION HIDRAULICA</b>	<b>PRESION</b>
4B1_N_1261	2,554.00	2,585.94	31.9
4B1_N_1274	2,553.59	2,585.45	31.8
4B1_N_1313	2,554.00	2,585.84	31.8
4B1_N_1170	2,553.88	2,585.60	31.7
4B1_N_1367	2,522.17	2,553.86	31.6
4B1_N_1187	2,551.00	2,582.50	31.4
4B1_N_1132	2,551.25	2,582.60	31.3
4B1_N_1120	2,551.28	2,582.56	31.2
4B1_N_1101	2,551.16	2,582.41	31.2
4B1_N_1119	2,551.30	2,582.54	31.2
4B1_N_1102	2,551.31	2,582.41	31
4B1_N_1297	2,547.41	2,578.48	31
4B1_N_1163	2,551.41	2,582.46	31
4B1_N_1463	2,552.17	2,583.22	31
4B1_N_1214	2,551.82	2,582.82	30.9
4B1_N_1263	2,553.40	2,584.39	30.9
4B1_N_1164	2,551.59	2,582.46	30.8
4B1_N_1158	2,552.11	2,582.97	30.8
4B1_N_1549	2,553.21	2,584.07	30.8
4B1_N_1056	2,552.07	2,582.91	30.8
4B1_N_1057	2,552.13	2,582.93	30.7
4B1_N_1395	2,524.44	2,555.10	30.6
4B1_N_1539	2,528.69	2,559.28	30.5
4B1_N_1007	2,553.95	2,584.48	30.5
4B1_N_1366	2,523.36	2,553.86	30.4
4B1_N_1008	2,554.00	2,584.48	30.4
4B1_N_1262	2,554.07	2,584.37	30.2
4B1_N_1139	2,552.66	2,582.95	30.2
4B1_N_1490	2,554.22	2,584.46	30.2
4B1_N_1138	2,552.80	2,582.95	30.1
4B1_N_1506	2,553.25	2,583.21	29.9
4B1_N_1126	2,553.04	2,582.97	29.9
4B1_N_1125	2,553.09	2,582.97	29.8
4B1_N_1394	2,525.35	2,555.18	29.8
4B1_N_1129	2,552.65	2,582.41	29.7

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 38. Datos generales de nodos WaterGEMS.*

<b>NODO</b>	<b>ELEVACION</b>	<b>ELEVACION HIDRAULICA</b>	<b>PRESION</b>
4B1_N_1130	2,552.74	2,582.41	29.6
4B1_N_1390	2,554.56	2,584.21	29.6
4B1_N_1317	2,555.00	2,584.61	29.6
4B1_N_1552	2,552.86	2,582.48	29.6
4B1_N_1381	2,554.54	2,583.83	29.2
4B1_N_1148	2,554.89	2,584.12	29.2
4B1_N_1442	2,530.31	2,559.50	29.1
4B1_N_1316	2,554.52	2,583.65	29.1
4B1_N_1365	2,553.97	2,583.06	29
4B1_N_1542	2,525.86	2,554.93	29
4B1_N_1147	2,555.05	2,584.07	29
4B1_N_1315	2,555.12	2,584.12	28.9
4B1_N_1211	2,555.45	2,584.42	28.9
4B1_N_1193	2,555.58	2,584.42	28.8
4B1_N_1364	2,554.27	2,583.08	28.7
4B1_N_1207	2,555.03	2,583.65	28.6
4B1_N_1309	2,555.24	2,583.84	28.5
4B1_N_1208	2,555.19	2,583.72	28.5
4B1_N_1192	2,555.88	2,584.34	28.4
4B1_N_1314	2,555.70	2,584.14	28.4
4B1_N_1300	2,555.34	2,583.72	28.3
4B1_N_1186	2,556.75	2,584.88	28.1
4B1_N_1288	2,555.97	2,584.06	28
4B1_N_1559	2,554.35	2,582.41	28
4B1_N_1136	2,556.10	2,584.07	27.9
4B1_N_1135	2,556.30	2,584.06	27.7
4B1_N_1185	2,557.20	2,584.88	27.6
4B1_N_1249	2,555.69	2,583.25	27.5
4B1_N_1462	2,555.95	2,583.22	27.2
4B1_N_1175	2,556.04	2,583.30	27.2
4B1_N_1533	2,551.21	2,578.38	27.1
4B1_N_1176	2,556.19	2,583.24	27
4B1_N_1152	2,557.05	2,584.04	26.9
4B1_N_1498	2,556.45	2,583.21	26.7
4B1_N_1267	2,551.24	2,577.94	26.6

**Fuente:** Autor (2025).

*Anexo 39. Datos generales de nodos WaterGEMS.*

<b>NODO</b>	<b>ELEVACION</b>	<b>ELEVACION HIDRAULICA</b>	<b>PRESION</b>
4B1_N_1151	2,557.34	2,583.99	26.6
4B1_N_1568	2,556.69	2,583.14	26.4
4B1_N_1467	2,557.86	2,584.29	26.4
4B1_N_1157	2,557.00	2,583.18	26.1
4B1_N_1095	2,557.05	2,583.18	26.1
4B1_N_1096	2,557.07	2,583.18	26.1
4B1_N_1075	2,558.14	2,583.99	25.8
4B1_N_1074	2,558.22	2,583.99	25.7
4B1_N_1277	2,558.61	2,583.99	25.3
4B1_N_1537	2,558.63	2,583.18	24.5
4B1_N_1069	2,553.89	2,578.38	24.4
4B1_N_1579	2,563.46	2,586.99	23.5
4B1_N_1068	2,555.86	2,578.38	22.5
4B1_N_1580	2,565.00	2,587.43	22.4
4B1_N_1570	2,532.57	2,554.91	22.3
4B1_N_1085	2,557.53	2,578.38	20.8
4B1_N_1239	2,557.42	2,577.94	20.5
4B1_N_1311	2,539.15	2,559.32	20.1
4B1_N_1529	2,539.35	2,558.87	19.5
4B1_N_1084	2,559.10	2,578.38	19.2
4B1_N_1564	2,540.01	2,559.02	19
4B1_N_1172	2,560.34	2,578.38	18
4B1_N_1550	2,541.20	2,559.22	18
4B1_N_1518	2,541.37	2,559.02	17.6
4B1_N_1479	2,542.10	2,559.26	17.1
4B1_N_1582	2,572.30	2,588.25	15.9
4B1_N_1240	2,561.99	2,577.94	15.9
4B1_N_1312	2,545.80	2,559.26	13.4
4B1_N_1562	2,546.58	2,559.31	12.7
4B1_N_1517	2,551.17	2,559.20	8
4B1_N_1215	2,582.66	2,588.64	6
4B1_N_1216	2,584.56	2,588.64	4.1

**Fuente:** Autor (2025).