



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Modelación hidráulica del interceptor sanitario del río Machángara, de la
ciudad de Cuenca

Trabajo de graduación previo a la obtención del grado académico de:

INGENIERO CIVIL

Autores:

LUIS XAVIER ABRIL CEBALLOS

KENNETH JAMES ÁVILA BRAVO

Director:

ING. JOSUÉ BERNARDO LARRIVA VÁSQUEZ

CUENCA – ECUADOR

2025

DEDICATORIA

Con sincero amor y profunda gratitud, dedico este trabajo de titulación a Dios, por haber sido mi fuente constante de fortaleza, sabiduría y fe a lo largo de este camino. Su presencia me sostuvo en cada desafío y me dio la luz necesaria para alcanzar esta meta.

A mis queridos padres Diana Ceballos y Luis Abril que siempre estuvieron apoyándome en todo momento y pusieron todo su esfuerzo para poder concluir mis estudios; su cariño y comprensión han sido muy importantes para mí en todo este tiempo.

A mis tíos Devora, Cristhian, Tania y Julio que de cierta forma me han apoyado en los momentos más difíciles y me han aportado demasiado, a mi hermana Daniela, que siempre estuvo y estará para mí, a mis abuelos paternos Lida y Luis, mis abuelos maternos Mercedes y Hugo, mis tíos Vero, David, Leo y Rocío, Pablo, que sus palabras de aliento han estado presentes en todo momento y me han convertido en la persona que soy ahora.

A mis amigos, pero en especial a Kenneth, Christian, Steven, que a pesar de todas las dificultades hemos compartido y han sido un apoyo en todo este camino, en los buenos y malos momentos, brindándome su apoyo incondicional.

Luis Xavier Abril Ceballos

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con profundo amor y gratitud a Dios, por darme la fortaleza, la sabiduría y la fe para llegar hasta aquí.

A mi madre, Ximena Ávila Bravo, por ser mi guía, mi apoyo incondicional y el motor que me impulsa cada día; a mi hermana, Renata Montaleza, por su ternura, su alegría y por recordarme lo importante que es seguir adelante con amor.

A mis abuelos, María Elena Bravo Vanegas y Jaime Gustavo Ávila Cordero, por su amor, sus enseñanzas y su constante presencia en mi vida; a mi tía Jhoana Ávila Bravo, por su cercanía y palabras que siempre me animaron a seguir.

A mis primas Lesley y Viviana Matute, por compartir conmigo tantos momentos significativos; a mi tía Gladys Bravo y a mi bisabuelita Zoila Vanegas, cuyo amor inmenso, sabiduría y bondad han sido luz en mi camino y fuerza en los momentos más difíciles.

Y finalmente, pero no menos importante, a mis amigos, por su compañía, ánimo y apoyo a lo largo de este proceso.

Cada uno de ustedes ha dejado una huella en este camino, y este logro también es suyo.

Kenneth James Ávila Bravo

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que nos acompañaron y apoyaron a lo largo de este proceso académico y personal.

En primer lugar, agradecemos a nuestras familias, quienes nos brindaron su amor, comprensión y apoyo incondicional durante todo este camino. Su confianza en nosotros fue un pilar fundamental para seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

Agradecemos también a nuestros profesores y asesores, quienes compartieron con nosotros sus conocimientos, experiencias y consejos. En especial, queremos destacar a nuestro director de tesis Ing. Josué Larriva, PhD y presidente del tribunal Ing. Javier Fernández de Córdova, PhD por su orientación, paciencia y compromiso durante el desarrollo de esta tesis.

A nuestros compañeros y amigos, gracias por estar presentes, por las palabras de aliento, por el compañerismo y por hacer de esta etapa una experiencia enriquecedora y memorable.

Finalmente, nos agradecemos mutuamente, por el trabajo en equipo, el esfuerzo compartido, la perseverancia y la dedicación que cada uno puso para llegar a la culminación de este proyecto.

Índice de contenidos

Índice de contenidos	v
Índice de figuras	vi
Índice de tablas	vii
Introducción.....	1
Problemática y justificación	1
Alcance	3
Objetivos.....	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos	3
1. Capítulo 1: Levantamiento de la información y conceptos generales	4
1.1 Elementos hidráulicos	4
1.2 Software de modelación	9
1.3 Recolección de datos topográficos, demográficos y catastrales.....	10
1.3.1 Catastros	10
2. Capítulo 2: Evaluación hidráulica	12
2.1 Estimación de población y caudales.....	17
2.2 Estimación de población y caudales futuros	19
2.3 Elaboración del modelo virtual en el software	21
3. Capítulo 3: Análisis de resultados	26
3.1 Análisis de resultados para el diseño del 2025	26
3.2 Análisis de resultados para el diseño del 2050	32
4. Capítulo 4: Recomendaciones y optimizaciones	41
5. Capítulo 5: Presupuesto de obras de mejoramiento	42
Conclusiones.....	47
Bibliografía.....	48

Índice de figuras

FIGURA 1-1 DERIVADOR DE CAUDAL TIPO VERTEDERO	8
FIGURA 1-2 SENSOR INSTALADO EN POZO DE REVISIÓN	9
FIGURA 1-3 CATASTRO DE ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE CUENCA	11
FIGURA 1-4 TRAMO DE MODELACIÓN HIDRÁULICA	12
FIGURA 2-1 CONFIGURACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO EN SEWERGEMS	22
FIGURA 2-2 DETALLE DE TUBERÍA TRAMO 1 DESDE CO-1 A CO-22	23
FIGURA 2-3 DETALLE DE TUBERÍA TRAMO 1 DESDE CO-23 A CO-46	24
FIGURA 2-4 INGRESO DE CAUDAL EN LOS TRAMOS MH-1 Y MH-22 EN EL 2025	24
FIGURA 2-5 INGRESO DE CAUDAL EN LOS TRAMOS MH-1 Y MH-22 EN EL 2050	25
FIGURA 2-6 CLASIFICACIÓN DE PORCENTAJE DE CAPACIDAD POR COLOR	25
FIGURA 3-1 RESULTADOS DE DATOS PARA EL AÑO 2025	26
FIGURA 3-2 PERFIL DEL MODELADO HIDRÁULICO	27
FIGURA 3-3 PERFIL DE TUBERÍAS CON CAUDALES SUPERIORES A SU CAPACIDAD	28
FIGURA 3-4 POZO MH-4 CONDICIONES DE INUNDACIÓN	28
FIGURA 3-5 PERFIL LONGITUDINAL DE LA ZONA	29
FIGURA 3-6 PERFIL DE TUBERÍAS POZO 25 A POZO 27 PARA MEJORAS	30
FIGURA 3-7 PERFIL DE CARGA HIDRÁULICO POZO 25 A POZO 27	30
FIGURA 3-8 PERFIL DE TUBERÍAS POZO 42 A POZO 45	31
FIGURA 3-9 PERFIL DE CARGA HIDRÁULICO POZO 42 A POZO 45	31
FIGURA 3-10 PERFIL DE TUBERÍAS CON SU MÁXIMA CAPACIDAD	32
FIGURA 3-11 CONDICIONES CRÍTICAS DEL INTERCEPTOR	33
FIGURA 3-12 CONDICIONES CON SOBRECARGA ENTE POZO 42 Y POZO 44 AÑO 2050	33
FIGURA 3-13 PERFIL HIDRÁULICO ESPERADA PARA EL AÑO 2050	34
FIGURA 3-14 PERFIL ZONA 1 POZOS MH-1 A MH-7 2050	35
FIGURA 3-15 PERFIL DE GRADIENTES ZONA 1 2050	36
FIGURA 3-16 PERFIL ZONA 2 INTERCEPTOR SANITARIO 2050	37
FIGURA 3-17 PERFIL DE GRADIENTES ZONA 2 2050	37
FIGURA 3-18 PERFIL ZONA 3 INTERCEPTOR SANITARIO 2050	38
FIGURA 3-19 PERFIL CON GRADIENTE HIDRÁULICA 2050	39
FIGURA 3-20 PERFIL ZONA 4 INTERCEPTOR SANITARIO 2050	40
FIGURA 3-21 GRADIENTE HIDRÁULICA ZONA 4 2050	40
FIGURA 4-1 RESULTADOS CON NUEVOS DIÁMETROS	41

Índice de tablas

TABLA 2-1 PROPIEDADES DE LAS TUBERÍAS DEL PRIMER TRAMO P1-P2 AL P21-P22	13
TABLA 2-2 PROPIEDADES DE LAS TUBERÍAS DEL PRIMER TRAMO P22-P3 AL P46-P47.....	14
TABLA 2-3 DATOS DE POZOS DESDE EL P1 INICIAL AL P22 FINAL.....	15
TABLA 2-4 DATOS DE POZOS DESDE EL P22 INICIAL AL P47 FINAL.....	16
TABLA 2-5 POBLACIÓN OBJETIVO 2025.....	17
TABLA 2-6 LONGITUDES PARCIALES Y ACUMULADAS	18
TABLA 2-7 ESTIMACIÓN DE CAUDALES DEL TRAMO INICIAL Y FINAL.....	19
TABLA 2-8 ESTIMACIÓN DE POBLACIÓN FUTURA	19
TABLA 2-9 LONGITUD DE COLECTORES AÑO 2050.....	20
TABLA 2-10 ESTIMACIÓN DE CAUDALES PARA EL AÑO 2050	21
TABLA 5-1 PRESUPUESTO DE REPLANTEO Y NIVELACIÓN	42
TABLA 5-2 PRESUPUESTO DE EXCAVACIÓN A MANO.....	43
TABLA 5-3 PRESUPUESTO DE EXCAVACIÓN MECÁNICA	43
TABLA 5-4 PRESUPUESTO DE ENTIBADO, RELLENO Y DESALOJO	44
TABLA 5-5 PRESUPUESTO DE SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE TUBERÍA	44
TABLA 5-6 PRESUPUESTO DE ADICIONALES	45
TABLA 5-7 PRESUPUESTO DE PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS	45
TABLA 5-8 PRESUPUESTO TOTAL DE MEJORAMIENTO DE OBRA	46



Resumen:

En el presente trabajo de titulación se desarrolló la modelación hidráulica del interceptor sanitario del río Machángara, en la ciudad de Cuenca. El tramo analizado abarca desde el sector de Patamarca hasta la confluencia con el río Cuenca, al norte de la ciudad. Para llevar a cabo la modelación se utilizó el software SewerGEMS, con el cual se evaluó el comportamiento actual del sistema y su proyección a 25 años, es decir, hasta el año 2050. Este análisis permitió obtener una visión clara del funcionamiento del interceptor, identificar posibles riesgos operativos y plantear mejoras para optimizar su rendimiento.

Palabras clave: interceptor, alcantarillado, capacidad hidráulica, modelo hidráulico, SewerGems

Abstract:

This thesis presents the hydraulic modeling of the Machángara River sanitary interceptor in the city of Cuenca. The study focuses on the section extending from the Patamarca area to the confluence with the Cuenca River, located in the northern part of the city. The modeling was carried out using SewerGEMS software, allowing for the evaluation of the system's current performance as well as its projected behavior over the next 25 years, up to the year 2050. The results provide a clear understanding of the interceptor's operation, help identify potential risks, and support the proposal of improvements to enhance its hydraulic efficiency.

Keywords: interceptor, sewer system, hydraulic capacity, hydraulic model, SewerGEMS

MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL INTERCEPTOR SANITARIO DEL RIO MACHÁNGARA, DE LA CIUDAD DE CUENCA

Introducción

La modelación hidráulica es una herramienta muy importante en el ámbito de la hidrosanitaria, ya que nos permite conocer el comportamiento hidrodinámico de los sistemas de alcantarillado en tiempo real. Con esto, podemos obtener resultados para lograr su diseño, construcción y control de su operación.

En este trabajo con los planos topográficos detallados del área de estudio y los mapas del sistema de alcantarillado, procedemos a determinar los caudales actuales y proyectados de aguas residuales utilizando mediciones locales y datos proporcionados por ETAPA EP. Todo esto con la finalidad de reunir datos históricos de precipitaciones y tormentas, pues el interceptor podría recibir flujos pluviales adicionales en eventos extremos.

Con el modelo construido, comprobaremos el comportamiento del sistema bajo las condiciones actuales de funcionamiento y los escenarios de poblaciones futuras, procurando calibrar su funcionamiento con las curvas de caudal medidas por ETAPA EP en el tramo final del mismo.

Con los resultados obtenidos, evaluaremos la capacidad hidráulica del interceptor, identificando puntos críticos de sobrecarga o tramos que podrían requerir mejoras como son la ampliación de diámetros o la instalación de pozos de alivio en los puntos críticos.

Problemática y justificación

El acceso a servicios adecuados de agua, saneamiento e higiene tiene un impacto significativo en la salud de una población y en la prevención de enfermedades (Organización Panamericana de la Salud (OPS), 2018), por ello se busca conservar el sistema de alcantarillado en un óptimo funcionamiento mejorando la calidad del agua y, de esta manera, evitar la insalubridad de los ríos (Organización Mundial de la Salud (OMS), 2018).

En los últimos años, la Organización Mundial de la Salud ha llevado a cabo diferentes acciones para ayudar a los países a establecer políticas de saneamiento ambiental (Zuñiga & Zambrano, 2020). El saneamiento es una de las prioridades más importantes para una población, por lo que es fundamental dar un destino adecuado a las aguas residuales

(Cabrera). Por lo tanto, es necesario realizar una evaluación de este sistema para brindar la mayor cobertura posible y prevenir cualquier tipo de situación desfavorable.

En varias provincias, la recolección y transporte de aguas servidas ha sido un constante desafío, lo que ha causado problemas sanitarios en nuestros cantones y ha generado una contaminación ambiental que representa un grave peligro para la salud humana (Taco, 2012).

Según (Gonzales & Vallejos, 2020) la falta de acceso a sistemas como un alcantarillado de alta calidad perjudica la productividad, la competitividad de la población y el desarrollo eficiente de diversas actividades generadoras de bienes y servicios, lo que disminuye el crecimiento económico de la región debido a su conexión directa con el PBI.

Teniendo en cuenta los problemas que un alcantarillado sobrecargado podría causar, surge la necesidad de crear un modelo para evaluar los distintos escenarios hidráulicos de los diferentes elementos que conforman el sistema de alcantarillado del río Machángara, recopilando la información más importante del tramo de estudio para proyectar su comportamiento durante el resto de su vida útil y, si fuese el caso, realizar los cambios o mejoras necesarias (Veintimilla, 2015).

La falta de información sobre el estado actual del interceptor en cuanto a su funcionamiento hidráulico hace que sea necesario desarrollar un modelo que sea capaz de evaluar los parámetros hidráulicos de los diversos componentes que componen el sistema de alcantarillado. Esto implicará proyectar el comportamiento y recopilar información clave de los tramos de estudio.

Esta investigación tiene como finalidad ayudar a la empresa ETAPA EP, la cual es la encargada de la prestación de servicios de agua potable, alcantarillado y gestión ambiental en la ciudad de Cuenca (ETAPA EP, 2024), a identificar las fallas del sistema de alcantarillado del río Machángara e implementar los correctivos necesarios para que funcione correctamente a mediano y largo plazo, teniendo en cuenta el crecimiento demográfico y las nuevas áreas de aporte.

Para esto se creará un modelo que evalúe los parámetros de los diferentes elementos que conforman el sistema para enfocarse en el análisis del funcionamiento hidráulico de los interceptores sanitarios del río Machángara. Esto nos permitirá evaluar el funcionamiento del colector y sugerir mejoras que beneficien a los usuarios del sector para evitar

problemas al optimizar la infraestructura y así lograr darle su máximo uso de este a lo largo de los años.

Alcance

Con base al levantamiento de la información proporcionado por la empresa ETAPA EP, realizaremos la modelación hidráulica del interceptor sanitario del río Machángara, con la finalidad de medir su capacidad hidráulica y así darle el máximo uso de este, así como poder solucionar posibles errores que se puedan producir.

Objetivos

Objetivo General

Realizar la modelación y evaluación del interceptor sanitario del río Machángara con el fin de obtener datos acerca de su funcionamiento.

Objetivos Específicos

- Recopilar la información de los catastros, datos topográficos y detalles de la red de los interceptores sanitarios de la cuenca del río Machángara.
- Describir la teoría y conceptos para la modelación de una red de alcantarillado para aplicarlos en software.
- Elaborar el modelo hidráulico del interceptor sanitario para diferentes escenarios de funcionamiento.
- Determinar tramos con problemas de capacidad hidráulica y plantear posibles soluciones.

1. Capítulo 1: Levantamiento de la información y conceptos generales

1.1 Elementos hidráulicos

Clasificación de los alcantarillados:

- **Alcantarillado sanitario**

Es la red usualmente de tuberías, por la que se deben evacuar de manera rápida y segura las aguas residuales (de viviendas o plantas comerciales) hacia una planta de tratamiento y finalmente a un lugar de vertido donde no provoquen daños ni molestias.

- **Alcantarillado pluvial**

Es el mecanismo que recoge y transporta las aguas lluvias para su disposición final, la cual puede realizarse mediante infiltración, almacenamiento o depósitos, así como por canales naturales.

- **Alcantarillado combinado**

Es el sistema que recoge y transporta al mismo tiempo el 100% de las aguas de los sistemas previamente mencionados, pero su disposición complica su posterior tratamiento y genera graves problemas de contaminación al ser vertidas a cauces naturales y por las restricciones ambientales se imposibilita su filtración.

- **Alcantarillado semi-combinado**

El alcantarillado semi-combinado se refiere al sistema que gestiona el 100% de las aguas negras generadas en un área o grupo de áreas, y un porcentaje inferior al 100% de las aguas pluviales recolectadas en esa área que se consideran excedencias, las cuales serían gestionadas por este sistema de forma esporádica y como un alivio al sistema pluvial y/o de infiltración para prevenir inundaciones en las vías y/o áreas de vivienda (SIAPA, 2014).

- **Caudal de diseño**

Para el diseño de un alcantarillado sanitario u otro sistema que trate las aguas residuales es necesario y fundamental evaluar las aguas residuales que pueden llegar a generar la población en la que se vaya a realizar dicho sistema; el caudal de diseño se define como

el volumen determinado de dichas aguas residuales en un determinado tiempo (QD), este está compuesto por un porcentaje del consumo de agua potable, infiltración de aguas y conexiones erradas (López, 1995).

$$QD = Q_{max} + Q_i + Q_e \quad \text{Ecuación 1-1}$$

- **Caudal sanitario**

Las aguas residuales o caudal sanitario, se puede definir como aquellas que, por uso del hombre representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos (Espingares García & Pérez López, 1985).

Se calcula para la etapa inicial y final del periodo de diseño, este no tendrá que ser menor de 1.50lt/s y si fuese el caso se tomaría este valor, debido a que corresponde a la descarga de un inodoro sanitario (Agua, 2007).

- **Caudal máximo horario**

Ya que el consumo de agua no es constante durante las 24 horas del día, se considera una variación, a través de la siguiente ecuación, donde M corresponde a un factor de mayoración.

$$Q_s = Q_{max} = Q_m * M \quad \text{Ecuación 1-2}$$

- **Factor de mayoración**

Este factor se obtiene a través del coeficiente de (Harmon, 1918), mediante la siguiente ecuación, donde P corresponde a la población en miles de habitantes (Butler & Davies, 2011).

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \quad \text{Ecuación 1-3}$$

- **Caudal medio diario**

El caudal medio diario será el producto de la población aportante, las dotaciones de agua potable, calculado al principio y al final del periodo de diseño y un factor de retorno (f), que según las Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de

aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes (CO 10.7- 601) (2014), por lo que ETAPA EP define este valor para zonas urbanas de 0.80 y para zonas rurales un valor de 0.90.

$$QM = f * \frac{P * D}{86400} \quad \text{Ecuación 1-4}$$

- **Caudal de infiltración (Qi)**

El caudal de infiltración es producido por la entrada del agua que se encuentra por debajo del nivel freático del suelo a través de las uniones entre tramos de tuberías, de fisuras en el tubo y en la unión con las estructuras de conexión.

Puede expresarse por metro lineal de tubería o por su equivalente en hectáreas de área drenada (Cabrera, 2015).

- **Cálculo de caudal de diseño a sección llena**

Luego de obtener todos los datos del flujo de la tubería, se procede a realizar el cálculo de los caudales utilizando la fórmula de Manning, en este caso considerando que tiene una sección llena, siendo la formula $R = D/4$ con la siguiente ecuación para el cálculo.

$$V = \frac{0.3968(D)^{2/3} * S^{1/2}}{n} \quad \text{Ecuación 1-5}$$

Donde:

V = Velocidad a sección llena

D = Diámetro de la tubería

S = Pendiente

n = coeficiente de rugosidad

$$Q = V * \left(\frac{\pi(D)^2}{4}\right) \quad \text{Ecuación 1-6}$$

Donde:

Q = Caudal a sección llena

V = Velocidad a sección llena

D = diámetro de la tubería

Para el cálculo de la velocidad y del caudal a sección llena de cada interceptor, se utilizaron los datos de pendiente (S) y coeficiente de rugosidad (n).

- **Cálculo de caudal real (q)**

Para obtener el valor del caudal real (q) se debe obtener la altura del agua (y); y conociendo el diámetro de tubería de cada pozo interceptor (D) se puede obtener la fórmula y/D el cual nos permite relacionar el q/Q y así poder encontrar el valor real del caudal (q) ya que anteriormente se obtiene el caudal Q.

- **Caudal de infiltración (qi)**

Para este caudal se analizó las gráficas que contienen los datos emitidos cada cinco minutos en las horas de la madrugada, ya que en estas horas es cuando menos actividad humana se tiene para lograr obtener una menos alteración en el caudal sanitario, siendo más detallada la observación.

- **Parámetros de evaluación del modelo**

Para poder realizar este parámetro de evaluación para el modelamiento del interceptor sanitario del río Machángara hemos tomado como referencia el Código Ecuatoriano de la Construcción C.E.C de obras sanitarias, en el cual contiene todas las fórmulas vistas anteriormente que se deben aplicar para lograr tener los datos precisos.

- **Pozos de Revisión**

Los pozos de revisión son estructuras de la red de alcantarillado ubicados en sitios específicos que hacen posible su inspección y mantenimiento (ETAPA, 2016).

- **Interceptores**

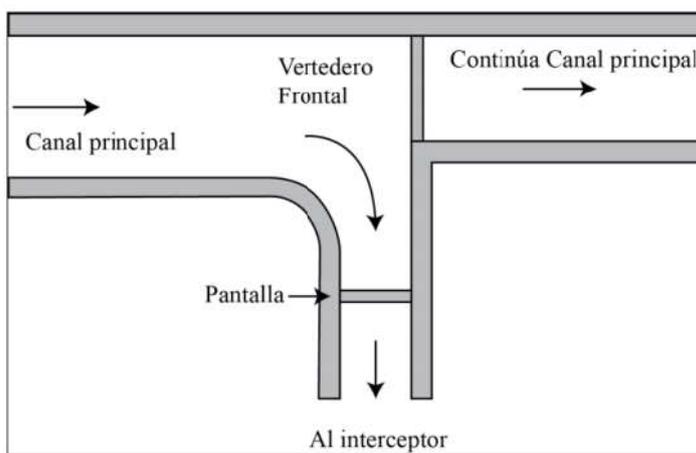
Son los conductores de mayor tamaño en la red y representan la parte medular del sistema de alcantarillado, dependiendo de su acomodo en la red. Su función es reunir el agua recolectada por los subcolectores y llevarla hasta el punto de salida de la red inicio del emisor. El emisor conduce las aguas hasta el punto de descarga o tratamiento. Se le

distingue de los interceptores porque no recibe conexiones adicionales en su recorrido (López, 1995).

- **Pozo derivador**

Los pozos derivadores de caudal son estructuras que separan el caudal proveniente de las aguas lluvias dejando únicamente el caudal sanitario para que este continúe por el Interceptor hacia su tratamiento (Castillo & Ullaguari, 2018). Este tipo de estructura (Figura 1-1) consta de un vertedero colocado frontal o de forma oblicua a la dirección del flujo, para aprovechar una mayor longitud se lo coloca de esta manera, consiguiendo así una disminución de la carga hidráulica para que pase un caudal dado (ETAPA, 2009)

Figura 1-1 Derivador de caudal tipo vertedero



- **Sensores ultrasónicos**

Son dispositivos que miden la altura de flujo mediante el uso de ondas ultrasónicas. El cabezal emite una onda ultrasónica y reciben la onda reflejada que retorna desde el objeto, es decir miden la distancia al objeto contando el tiempo entre la emisión y la recepción. Un sensor ultrasónico utiliza un elemento ultrasónico único, tanto para la emisión como la recepción. La (Figura 1-2) muestra el sensor instalado por la empresa ETAPA EP en el pozo de revisión.

Figura 1-2 Sensor instalado en pozo de revisión



1.2 Software de modelación

Un software de modelación es una herramienta computacional diseñada para representar, analizar y simular sistemas físicos o teóricos, permitiendo evaluar su comportamiento en diferentes escenarios y condiciones de operación. Su principal finalidad es facilitar la visualización de la estructura del sistema a construir, identificar posibles deficiencias en el diseño y aplicar las correcciones necesarias antes de su implementación en el entorno real.

En el contexto de nuestro proyecto, la modelación es un elemento clave para el análisis y simulación del comportamiento hidráulico de las redes de alcantarillado. Mediante este proceso, es posible evaluar el rendimiento del sistema bajo diversas condiciones de flujo, lo que permite prever posibles desbordamientos, calcular la capacidad de conducción de las tuberías y optimizar el diseño para garantizar su eficiencia operativa. Además, la modelación hidráulica facilita la toma de decisiones en cuanto a la selección de materiales, diámetros de tuberías y ubicación de estructuras complementarias, asegurando que el sistema pueda manejar caudales máximos durante eventos de precipitación extrema sin comprometer su funcionalidad.

Para llevar a cabo esta tarea, se empleará el software SewerGEMS, una herramienta avanzada de modelación hidráulica e hidrológica especializada en sistemas de drenaje urbano y redes de alcantarillado. Este programa permite simular el comportamiento del flujo en tiempo real, analizar la capacidad de las redes ante diferentes escenarios de carga y optimizar su diseño mediante la aplicación de algoritmos avanzados de cálculo. Su uso

resulta fundamental para garantizar un diseño eficiente y sostenible, minimizando riesgos de inundaciones y asegurando el cumplimiento de normativas técnicas y ambientales.

1.3 Recolección de datos topográficos, demográficos y catastrales

Para el desarrollo del estudio hidráulico y la modelación del sistema de alcantarillado, fue fundamental contar con datos precisos y actualizados sobre las condiciones topográficas, demográficas y catastrales de la zona de estudio. En este sentido, la empresa ETAPA EP proporcionó una base de datos detallada que incluyó información clave para el análisis y la calibración del modelo hidráulico.

Entre los datos suministrados, se destacan los registros de las alturas de flujo en los pozos de inspección, obtenidos mediante sensores de ultrasonido de alta precisión. Estos dispositivos permiten monitorear en tiempo real los niveles de agua dentro del sistema de alcantarillado, proporcionando una medición confiable para el cálculo de caudales y la evaluación del desempeño de la red. Asimismo, se incluyeron los datos pluviométricos registrados por las estaciones meteorológicas, los cuales resultan esenciales para determinar la variabilidad del régimen de lluvias y su impacto en la capacidad de drenaje del sistema.

El acceso a estos datos permitió realizar cálculos detallados de las alturas de flujo en las tuberías, estimar los caudales circulantes y generar gráficos representativos del comportamiento del sistema durante las diferentes épocas del año, diferenciando entre la estación lluviosa y la estación seca. Este análisis es crucial para la identificación de puntos críticos, la optimización del diseño hidráulico y la implementación de estrategias de mitigación de inundaciones en sectores vulnerables.

El conjunto de datos abarca el período comprendido entre los años 2020 y 2024, con registros tomados a intervalos de 24 horas y de 5 minutos, lo que representa una base de 288 mediciones por día. Este alto nivel de resolución temporal permite realizar un análisis detallado de las variaciones del flujo en la red de alcantarillado, mejorando la precisión de la modelación hidráulica y facilitando la toma de decisiones basadas en datos reales.

1.3.1 Catastros

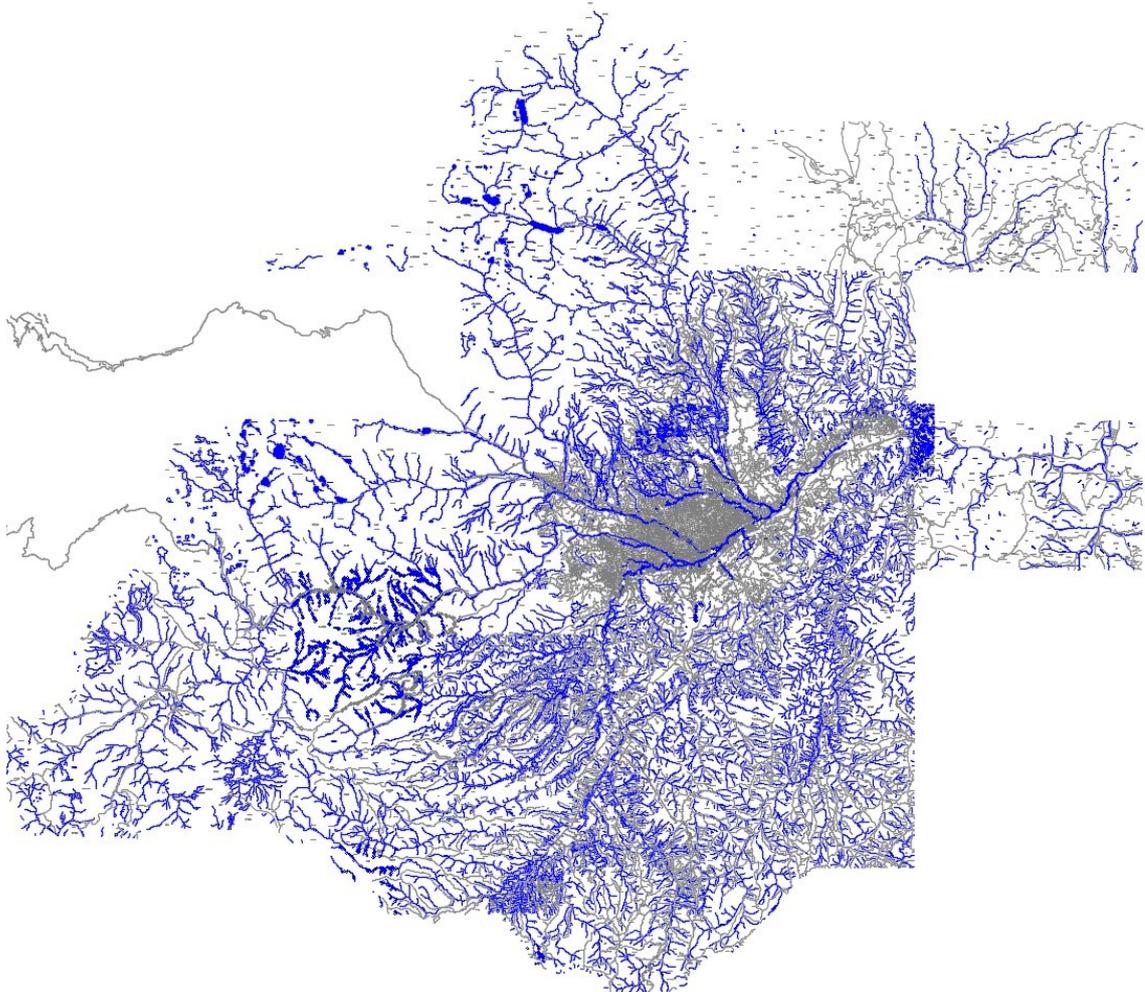
Para la correcta planificación y análisis del sistema de alcantarillado, fue fundamental contar con información catastral detallada sobre la infraestructura existente. En este sentido, la empresa ETAPA EP proporcionó una base de datos con la información

georreferenciada del sistema de drenaje urbano, lo que permitió conocer con precisión la distribución y configuración de la red de alcantarillado en la ciudad.

Los datos suministrados incluyen la localización, disposición y dimensiones de las tuberías, así como la ubicación exacta de los pozos de inspección en cada sector urbano. Esta información resulta esencial para la evaluación del estado actual del sistema, la identificación de posibles deficiencias en la infraestructura y la planificación de mejoras o ampliaciones en función de la demanda futura.

El acceso a estos catastros permitió integrar la información en el software de modelación hidráulica, facilitando la simulación del comportamiento del flujo en la red y optimizando el diseño de las soluciones propuestas. Además, la disponibilidad de datos precisos garantiza el cumplimiento de normativas técnicas y contribuye a la eficiencia en la gestión del sistema de alcantarillado, asegurando su correcto funcionamiento y capacidad de respuesta ante eventos de precipitación extrema.

Figura 1-3 Catastro de Alcantarillado de la ciudad de Cuenca



Nuestra área de estudio para nuestro trabajo de titulación nos centraremos en el río Machángara, exactamente comprendido entre los tramos desde el sector de Patamarca hasta la unión con el río Cuenca al Norte de la ciudad con el mismo nombre como se muestra en la Figura 1-4.

Figura 1-4 Tramo de modelación hidráulica



2. Capítulo 2: Evaluación hidráulica

Para analizar el comportamiento hidráulico del interceptor sanitario, se tomaron como referencia los datos proporcionados por ETAPA EP, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo del estudio. A través de un modelo digital elaborado en AutoCAD, se obtuvo información clave para el cálculo de caudales y la evaluación del desempeño del sistema de alcantarillado.

Dentro de los datos suministrados, se incluyen la longitud y el diámetro de las tuberías, así como la altura de las tapas de los pozos de inspección y las cotas de las conexiones de entrada y salida en cada uno de ellos.

Estos parámetros son esenciales para establecer los perfiles hidráulicos del interceptor, determinar las pendientes del flujo y analizar la capacidad del sistema para transportar las aguas residuales de manera eficiente. Para este proyecto dividimos el interceptor en dos tramos, el inicial que va desde el pozo 1 al pozo 22 y el final que va desde el pozo 23

hasta el pozo 47. Los detalles están evidenciados en la Tabla 2-1 y Tabla 2-2 que representan a las tuberías correspondientes a cada tramo:

Tabla 2-1 Propiedades de las tuberías del primer tramo P1-P2 al P21-P22

TRAMO	LONGITUD	DIAMETRO	MATERIAL
P1-P2	27.22	500	PVC
P2-P3	45.31	500	PVC
P3-P4	42.76	450	PVC
P4-P5	43.18	450	PVC
P5-P6	82.57	400	PVC
P6-P7	58.18	450	PVC
P7-P8	91.52	600	PVC
P8-P9	90.44	600	PVC
P9-P10	99.14	600	PVC
P10-P11	74.16	600	PVC
P11-P12	47.98	600	PVC
P12-P13	70.04	600	PVC
P13-P14	79.97	600	PVC
P14-P15	62.67	600	PVC
P15-P16	70.16	600	PVC
P16-P17	104.4	600	PVC
P17-P18	100.93	600	PVC
P18-P19	76.58	600	PVC
P19-P20	88.81	600	PVC
P20-P21	80.21	600	PVC
P21-P22	71.01	600	PVC

Tabla 2-2 Propiedades de las tuberías del primer tramo P22-P3 al P46-P47

TRAMO	LONGITUD	DIAMETRO	MATERIAL
P22-P23	87.36	600	PVC
P23-P24	24.44	600	PVC
P24-P25	12.29	600	PVC
P25-P26	13.12	600	PVC
P26-P27	7.09	600	PVC
P27-P28	80.03	600	PVC
P28-P29	82.33	600	PVC
P29-P30	69.13	600	PVC
P30-P31	114.58	600	PVC
P31-P32	120.03	600	PVC
P32-P33	119.13	600	PVC
P33-P34	35.09	600	PVC
P34-P35	52.16	600	PVC
P35-P36	24.96	600	PVC
P36-P37	99.75	600	PVC
P37-P38	83.3	600	PVC
P38-P39	80.68	600	PVC
P39-P40	82.08	600	PVC
P40-P41	77.61	600	PVC
P41-P42	83.32	600	PVC
P42-P43	43.59	600	PVC
P43-P44	53.5	600	PVC
P44-P45	39.09	600	PVC
P45-P46	77.38	600	PVC
P46-P47	130.99	600	PVC

Con respecto a los pozos, los datos de las tapas y las conexiones se expresan a continuación en las Tabla 2-3 y Tabla 2-4.

Tabla 2-3 Datos de pozos desde el P1 Inicial al P22 Final

POZO		COTAS			
		TERRENO		PROYECTO	
INICIAL	FINAL	Inicio	Final	Inicio	Final
P1	P2	2487.78	2488.49	2485.41	2484.89
P2	P3	2488.49	2487.6	2484.89	2483.85
P3	P4	2487.6	2485.42	2483.98	2483.09
P4	P5	2485.42	2485.278	2482.97	2482.678
P5	P6	2485.278	2485.14	2482.478	2481.37
P6	P7	2485.14	2483.094	2481.27	2479.3
P7	P8	2483.094	2480.167	2479.158	2477.8
P8	P9	2480.167	2479.098	2477.765	2476.32
P9	P10	2479.098	2476.813	2476.255	2474.84
P10	P11	2476.813	2475.822	2474.76	2473.629
P11	P12	2475.822	2475.291	2473.604	2472.866
P12	P13	2475.291	2473.832	2472.734	2471.349
P13	P14	2473.832	2472.539	2471.332	2469.969
P14	P15	2472.539	2471.03	2469.791	2468.697
P15	P16	2471.03	2469.799	2468.653	2467.515
P16	P17	2469.799	2467.72	2467.385	2465.836
P17	P18	2467.72	2466.749	2465.686	2464.26
P18	P19	2466.749	2465.374	2464.125	2462.835
P19	P20	2465.374	2463.023	2462.524	2460.61
P20	P21	2463.023	2461.551	2459.345	2457.932
P21	P22	2461.551	2460.295	2457.862	2456.642

Tabla 2-4 Datos de pozos desde el P22 Inicial al P47 Final

POZO		COTAS			
		TERRENO		PROYECTO	
INICIAL	FINAL	Inicio	Final	Inicio	Final
P22	P23	2460.295	2458.857	2456.597	2455.462
P23	P24	2458.857	2458.507	2455.432	2455.158
P24	P25	2458.507	2455.885	2455.083	2454.954
P25	P26	2455.885	2455.694	2454.954	2454.818
P26	P27	2455.694	2455.652	2454.818	2454.745
P27	P28	2455.652	2457.987	2454.745	2453.915
P28	P29	2457.987	2456.595	2453.155	2452.354
P29	P30	2456.595	2455.233	2452.206	2451.387
P30	P31	2455.233	2452.512	2451.287	2449.179
P31	P32	2452.512	2449.618	2449.116	2446.739
P32	P33	2449.618	2447.699	2446.674	2444.326
P33	P34	2447.699	2447.254	2444.229	2443.635
P34	P35	2447.254	2446.585	2443.496	2442.517
P35	P36	2446.585	2445.878	2442.467	2442.01
P36	P37	2445.878	2443.842	2441.925	2439.979
P37	P38	2443.842	2442.357	2439.864	2438.228
P38	P39	2442.357	2441.494	2438.203	2436.801
P39	P40	2441.494	2438.62	2436.716	2435.08
P40	P41	2438.62	2436.566	2434.89	2433.639
P41	P42	2436.566	2435.677	2433.559	2432.891
P42	P43	2435.677	2436.674	2432.716	2432.23
P43	P44	2436.674	2432.75	2432.23	2431.834
P44	P45	2432.75	2434.467	2431.834	2431.545
P45	P46	2434.467	2433.317	2434.467	2430.483
P46	P47	2433.317	2430.04	2430.241	2427.707

El análisis hidráulico basado en esta información permite identificar posibles restricciones en la red, evaluar la existencia de pérdidas de carga y prever escenarios de posibles desbordamientos o insuficiencias en el sistema, y es crucial para la optimización del diseño, asegurando que el interceptor sanitario funcione de manera eficiente bajo diferentes condiciones de operación y cumpla con los estándares técnicos y normativos vigentes.

2.1 Estimación de población y caudales

- **Cálculo de población actual**

El primer paso en el modelado de la red de alcantarillado del interceptor sanitario en SewerGEMS es recopilar información base sobre el área de estudio. Esto incluye datos topográficos, colectores principales y ubicación de los pozos.

Es fundamental contar con información sobre la población actual y futura, considerando un periodo de diseño de 25 años. Este enfoque nos permitirá estimar las demandas de agua residual con un margen adecuado de planificación. En esta fase, se deben definir también las condiciones de contorno y los límites del área de estudio.

Para la estimación de la población, se utilizó una metodología basada en datos demográficos oficiales y factores de crecimiento poblacional. El cálculo partió de la población actual y se aplicó un factor de crecimiento de 1.167, según los valores proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC).

Posteriormente, se estimó la densidad de ocupación habitacional considerando un promedio de 3.7 personas por vivienda, valor obtenido a partir de registros censales y tendencias de crecimiento urbano en la zona de estudio. Con base en esta proyección, se obtuvo un total de 44.245 usuarios para el primer tramo del sistema y 54.087 usuarios para el segundo tramo, tal como se detalla en la Tabla 2-5.

Tabla 2-5 Población objetivo 2025

Áreas de Aporte	# Instalaciones		Población
	Parcial	Acumulado	
Rio Machángara			
INTERCEPTOR TRAMO INICIAL	11958	11958	44,245
INTERCEPTOR TRAMO FINAL	2660	14618	54,087

Esta proyección demográfica es fundamental para el diseño y dimensionamiento de la infraestructura de saneamiento, ya que permite anticipar la demanda del sistema de alcantarillado y garantizar su capacidad operativa. Además, estos valores sirven como referencia para la planificación de expansiones o refuerzos en la red, asegurando que la infraestructura pueda responder eficientemente al crecimiento de la población sin comprometer su funcionalidad ni generar sobrecargas en el sistema de drenaje.

- **Cálculo de longitud de colectores**

Como parte del análisis y dimensionamiento del sistema de alcantarillado, se realizó el cálculo de la longitud de los colectores, tanto en su extensión parcial como en su acumulado, para este 2025.

Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 2-6, donde se presenta la distribución de los tramos, considerando las longitudes individuales de cada segmento y su correspondiente sumatoria acumulada. Esta información es clave para la planificación de ampliaciones en la red, asegurando que la infraestructura pueda responder de manera eficiente al incremento en los caudales generados por el crecimiento urbano.

Tabla 2-6 Longitudes parciales y acumuladas

Longitud Colectores	
(m)	
Parcial	Acumulado
9,684.89	9,684.89
3,265.06	12,949.95

- **Cálculo de caudales**

A partir de los datos recopilados durante el estudio, se procedió al cálculo de los caudales de aguas servidas (Qas), así como de los caudales de infiltración, con el objetivo de determinar el caudal total esperado en la red de alcantarillado tanto en el tramo inicial como en el tramo final, en este año 2025.

El cálculo de estos caudales es esencial para evaluar la capacidad hidráulica del sistema y prever posibles sobrecargas que puedan comprometer su operatividad. En este proceso, se consideraron factores como el crecimiento poblacional proyectado, las características del suelo, la permeabilidad de los materiales y las condiciones climáticas, que pueden influir en la infiltración de aguas subterráneas en la red de alcantarillado.

En la Tabla 2-7 se presentan los valores obtenidos, en donde se detalla la distribución de los caudales en los distintos tramos.

Tabla 2-7 Estimación de caudales del tramo inicial y final

QAS	Qil	Qinf	Qtot
348.81	40.97	9.68	399.47
420.17	50.08	12.95	483.20

2.2 Estimación de población y caudales futuros

- **Cálculo de población futura**

Para la estimación de la población proyectada dentro de un horizonte temporal de 25 años se utilizó una metodología basada en datos demográficos oficiales y factores de crecimiento poblacional. El cálculo partió de la población actual y se aplicó un factor de crecimiento de 1.167, según los valores proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC).

Posteriormente, se estimó la densidad de ocupación habitacional considerando un promedio de 3.7 personas por vivienda, valor obtenido a partir de registros censales y tendencias de crecimiento urbano en la zona de estudio. Con base en esta proyección, se obtuvo un total de 51,611 usuarios para el primer tramo del sistema y 63,089 usuarios para el segundo tramo, tal como se detalla en la Tabla 2-8.

Tabla 2-8 Estimación de población futura

Áreas de Aporte	# Instalaciones		Población
	Parcial	Acumulado	
Rio Machángara			
INTERCEPTOR CAMAL	13949	13949	51,611
INTERCEPTOR TRAMO FINAL	3102	17051	63,089

Esta proyección demográfica permite anticipar la demanda futura del sistema de alcantarillado y garantizar su capacidad operativa en el largo plazo. Además, estos valores sirven como referencia para la planificación de expansiones o refuerzos en la red, asegurando que la infraestructura pueda responder eficientemente al crecimiento de la población sin comprometer su funcionalidad ni generar sobrecargas en el sistema de drenaje.

- **Cálculo de longitud de colectores futuros**

Como parte del análisis y dimensionamiento del sistema de alcantarillado, se realizó el cálculo de la longitud de los colectores, tanto en su extensión parcial como en su acumulado, proyectado para el año 2050. Esta estimación permite evaluar la capacidad de la red para atender la demanda futura y garantizar su operatividad bajo las condiciones de crecimiento poblacional previstas.

Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 2-9, donde se presenta la distribución de los tramos, considerando las longitudes individuales de cada segmento y su correspondiente sumatoria acumulada. Esta información es clave para la planificación de ampliaciones en la red, asegurando que la infraestructura pueda responder de manera eficiente al incremento en los caudales generados por el crecimiento urbano.

Tabla 2-9 Longitud de colectores año 2050

Longitud Colectores (m)	
Parcial	Acumulado
10,653.38	10,653.38
3,591.57	14,244.95

- **Cálculo de caudales futuros**

A partir de los datos recopilados durante el estudio, se procedió al cálculo de los caudales de aguas servidas (Qil), así como de los caudales de infiltración, con el objetivo de determinar el caudal total esperado en la red de alcantarillado tanto en el tramo inicial como en el tramo final, proyectado para el año 2050. El cálculo de estos caudales es esencial para evaluar la capacidad hidráulica del sistema y prever posibles sobrecargas que puedan comprometer su operatividad.

Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 2-10, donde se detalla la distribución de los caudales en los distintos tramos, permitiendo una evaluación precisa del comportamiento hidráulico del sistema y facilitando la toma de decisiones en cuanto a su diseño y optimización.

Tabla 2-10 Estimación de caudales para el año 2050

QAS	Qil	Qinf	Qtot
402.32	47.79	10.65	460.76
484.60	58.42	14.24	557.26

2.3 Elaboración del modelo virtual en el software

El software SewerGEMS es una herramienta avanzada de modelación hidráulica con capacidad para representar el comportamiento de los flujos en condiciones dinámicas y su integración con sistemas de información geográfica (SIG).

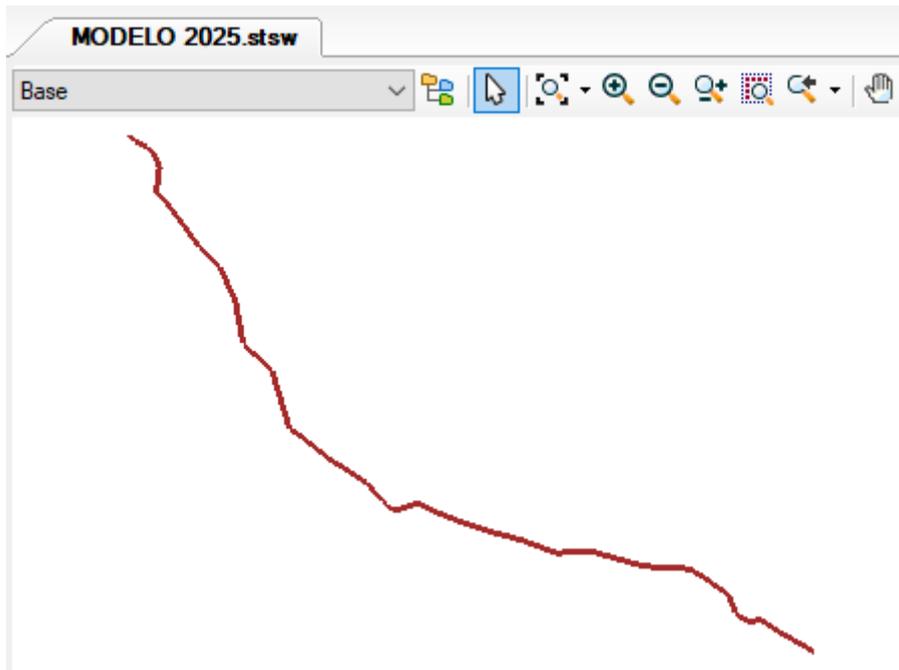
En el proceso de configuración del modelo, se han definido los elementos fundamentales del sistema, incluyendo tuberías y pozos de inspección, a los cuales se les han asignado propiedades específicas en función de los datos proporcionados por ETAPA EP. Entre los parámetros configurados en la modelación se encuentran:

- Diámetro, longitud y material de las tuberías, que influyen directamente en la capacidad de conducción del flujo y en la generación de pérdidas de carga.
- Cotas de entrada y salida de los pozos de inspección, que permiten determinar las pendientes hidráulicas y el comportamiento del flujo en el sistema.
- Rugosidad de las conducciones, definida mediante coeficientes que representan la resistencia al flujo dentro de las tuberías.
- Condiciones de carga y caudales afluentes, establecidos en puntos estratégicos del modelo para simular diferentes escenarios de operación.

Este enfoque de simulación es fundamental para la toma de decisiones en proyectos de saneamiento, ya que permite prever posibles fallos en la infraestructura, analizar soluciones de ampliación o rehabilitación y garantizar que el sistema cumpla con los estándares técnicos y ambientales establecidos en la normativa vigente.

A continuación, se procede con la configuración del modelo hidráulico dentro de SewerGEMS. Se ingresa la geometría de la red, ya sea mediante la importación de un levantamiento topográfico o dibujando manualmente las tuberías y nodos.

Figura 2-1 Configuración del modelo hidráulico en SewerGEMS



El software permite definir las propiedades de cada componente, como materiales de tubería, diámetros y longitudes. En esta fase, se establecen los pozos de inspección (MH) y se conectan los tramos de alcantarillado entre sí, garantizando la continuidad hidráulica.

Realizado el diseño configuramos los detalles tanto de los pozos como las tuberías (diámetros, cotas de terreno, etc.) de cada tramo, esenciales para el cálculo de pendientes.

Figura 2-2 Detalle de tubería tramo 1 desde CO-1 a CO-22

Label	Length (Scaled) (m)	Section Type	Diameter (mm)	Manning's n	Slope (Calculated) (m/m)
CO-1	27,6	Circle	500,0	0,013	0,019
CO-2	44,9	Circle	500,0	0,013	0,020
CO-3	42,0	Circle	450,0	0,013	0,024
CO-4	43,9	Circle	450,0	0,013	0,011
CO-5	84,8	Circle	400,0	0,013	0,014
CO-6	57,2	Circle	450,0	0,013	0,037
CO-7	91,0	Circle	600,0	0,013	0,015
CO-8	89,5	Circle	600,0	0,013	0,017
CO-9	98,6	Circle	600,0	0,013	0,015
CO-10	75,4	Circle	600,0	0,013	0,015
CO-11	49,2	Circle	600,0	0,013	0,018
CO-12	70,1	Circle	600,0	0,013	0,020
CO-13	79,7	Circle	600,0	0,013	0,019
CO-14	63,5	Circle	600,0	0,013	0,018
CO-15	68,9	Circle	600,0	0,013	0,018
CO-16	104,9	Circle	600,0	0,013	0,016
CO-17	101,5	Circle	600,0	0,013	0,015
CO-18	76,6	Circle	600,0	0,013	0,021
CO-19	90,5	Circle	600,0	0,013	0,035
CO-20	80,2	Circle	600,0	0,013	0,018
CO-21	71,3	Circle	600,0	0,013	0,018
CO-22	84,5	Circle	600,0	0,013	0,014

Figura 2-3 Detalle de tubería tramo 1 desde CO-23 a CO-46

Label	Length (Scaled) (m)	Section Type	Diameter (mm)	Manning's n	Slope (Calculated) (m/m)
CO-23	22,7	Circle	600,0	0,013	0,015
CO-24	11,9	Circle	600,0	0,013	0,011
CO-25	14,3	Circle	600,0	0,013	0,010
CO-26	7,5	Circle	600,0	0,013	0,010
CO-27	78,8	Circle	600,0	0,013	0,020
CO-28	82,8	Circle	600,0	0,013	0,011
CO-29	68,9	Circle	600,0	0,013	0,013
CO-30	115,9	Circle	600,0	0,013	0,019
CO-31	118,7	Circle	600,0	0,013	0,021
CO-32	119,2	Circle	600,0	0,013	0,021
CO-33	34,8	Circle	600,0	0,013	0,021
CO-34	52,7	Circle	600,0	0,013	0,020
CO-35	23,3	Circle	600,0	0,013	0,023
CO-36	100,8	Circle	600,0	0,013	0,020
CO-37	84,9	Circle	600,0	0,013	0,020
CO-38	79,4	Circle	600,0	0,013	0,019
CO-39	81,6	Circle	600,0	0,013	0,022
CO-40	77,8	Circle	600,0	0,013	0,017
CO-41	82,9	Circle	600,0	0,013	0,010
CO-42	65,6	Circle	600,0	0,013	0,007
CO-43	54,0	Circle	600,0	0,013	0,007
CO-44	38,8	Circle	600,0	0,013	0,009
CO-45	75,9	Circle	600,0	0,013	0,016
CO-46	132,4	Circle	600,0	0,013	0,019

El siguiente paso es configurar los caudales de diseño previamente calculados para el año 2025 y 2050. En SewerGEMS, se pueden ingresar diferentes patrones de consumo y contribuciones de caudal para cada área de la red. El software permite simular diferentes escenarios, como horas pico, y analizar el comportamiento del sistema bajo cargas extremas. Para este proyecto usaremos un caudal constante (base flow).

En particular, se han definido puntos de ingreso de caudal en el pozo 1 y el pozo 2, los cuales han sido seleccionados como referencias para evaluar el comportamiento del flujo en distintos tramos de la red. La asignación de caudales en estos puntos permite analizar la capacidad de conducción del sistema, detectar posibles sobrecargas y optimizar el diseño para mitigar riesgos de desbordamiento.

Figura 2-4 Ingreso de caudal en los tramos MH-1 y MH-22 en el 2025

Label	Load Definition	Pattern	Base Flow (L/s)
MH-1	Sanitary Pattern Load	Fixed	399,47
MH-22	Sanitary Pattern Load	Fixed	83,74

Figura 2-5 Ingreso de caudal en los tramos MH-1 y MH-22 en el 2050

Label	Load Definition	Pattern	Base Flow (L/s)
MH-1	Sanitary Pattern Load	Fixed	460,76
MH-22	Sanitary Pattern Load	Fixed	96,50

Asimismo, se verifica el cumplimiento de criterios hidráulicos, como velocidades mínimas o coeficientes de diseño para evitar sedimentación y prevenir erosión o desgaste de las tuberías. El software facilita la identificación de problemas de capacidad insuficiente o inundaciones en puntos críticos de la red, y puede mostrar los resultados dentro del modelo mediante la configuración de colores, los cuales nos indicaran que tuberías actúan por encima de su capacidad.

Figura 2-6 Clasificación de porcentaje de capacidad por color

The screenshot displays the 'Color Maps' configuration window in SewerGEMS. On the left, the 'Properties' panel is set to 'Flow / Capacity (Design)' for '<All Elements>'. The 'Color Maps' panel on the right shows a table defining color ranges for capacity percentages:

Index	Value <= (%)	Color
0	80,0	0; 255; 0
1	100,0	255; 255
2	200,0	255; 0; 0
*		

Below the table, the 'Above Range Color' is set to red and the 'Above Range Size' is set to 1.

Una vez ejecutadas las simulaciones, SewerGEMS genera reportes detallados y perfiles hidráulicos que muestran el comportamiento de la red en distintos escenarios. Esta información es útil para ajustar diámetros de tuberías o modificar pendientes si es necesario. También se puede optimizar la red buscando la solución más económica y eficiente.

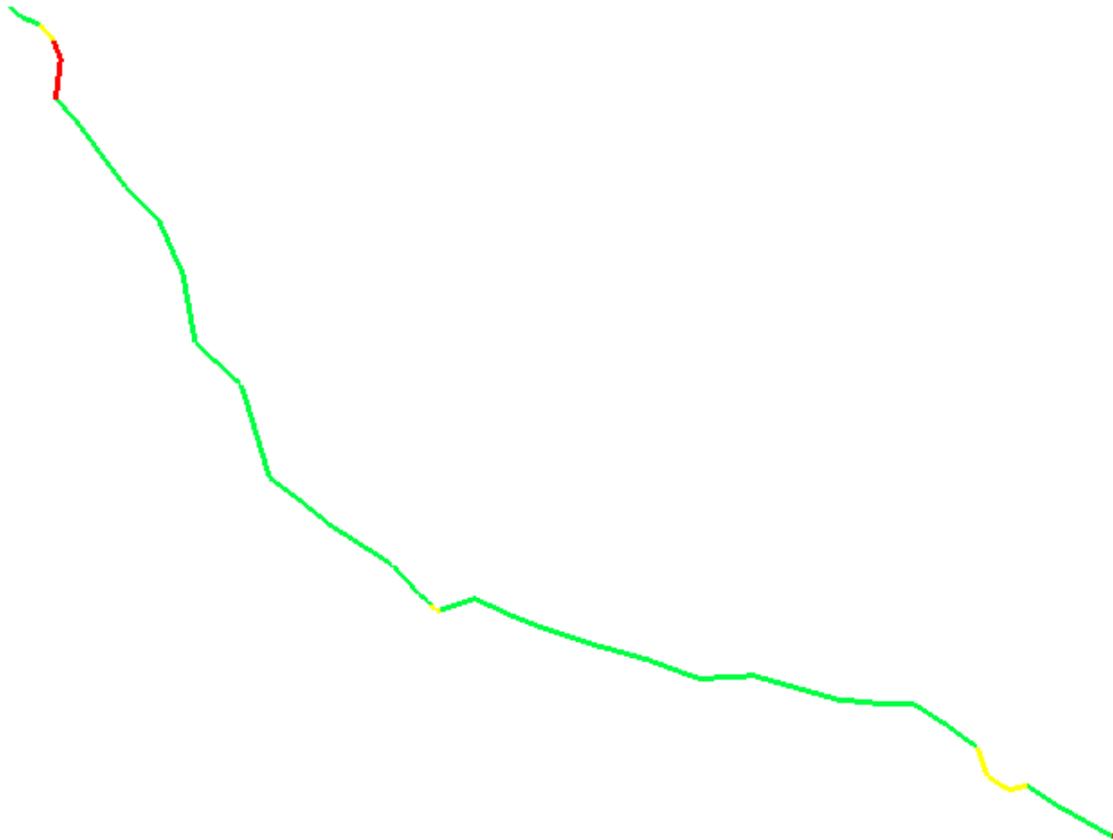
Además, la modelación en SewerGEMS facilita la generación de perfiles hidráulicos, lo que permite visualizar las variaciones de altura del agua dentro de las tuberías, identificar zonas con riesgo de colapso por insuficiencia de capacidad y evaluar la eficiencia del sistema en distintas condiciones.

3. Capítulo 3: Análisis de resultados

3.1 Análisis de resultados para el diseño del 2025

Después de haber realizado la simulación con los datos previamente expuestos, el programa nos dio los siguientes resultados que constan en la Figura 3-1 para el año 2025.

Figura 3-1 Resultados de datos para el año 2025



A continuación, se muestra el perfil del sistema, en donde se puede observar la línea de carga hidráulica (HGL) en color azul, la cual indica el nivel del agua dentro de las tuberías. Si esta línea supera el nivel del terreno, existe el riesgo de desbordamiento. También se presenta la línea de energía (EGL) en color rojo. Esta representa la energía total del flujo; si esta se encuentra muy por encima de la tubería, podría indicar una presión excesiva o pérdidas importantes por fricción.

Figura 3-2 Perfil del modelado hidráulico

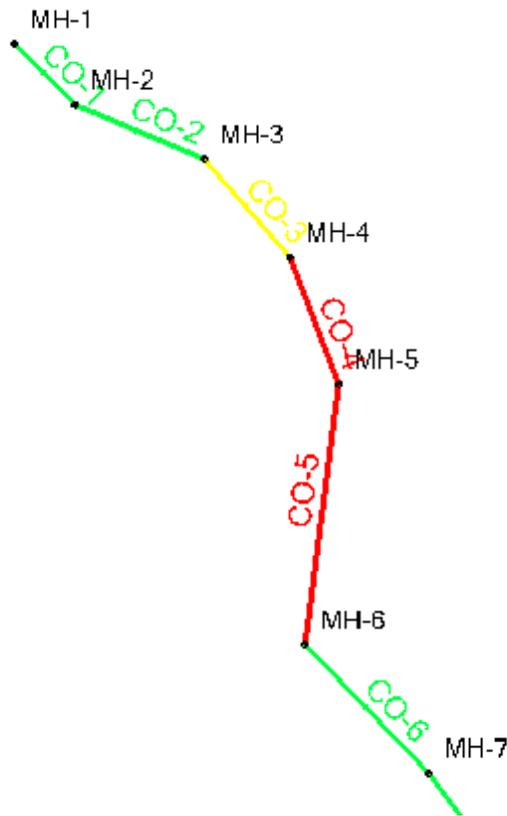


En base a los resultados obtenidos el programa cambió el color de las tuberías como previamente lo habíamos ajustado, y advierte el comportamiento en tres zonas principales.

- **Zona 1 (MH-3 a MH-6):**

La zona 1 es la más crítica y se encuentra ubicada en el sector Patamarca, cerca del parque industrial. A partir de los resultados del modelo en SewerGEMS, se identificaron condiciones de sobrecarga en las tuberías CO-4 y CO-5, las cuales presentan caudales superiores a su capacidad máxima como se explica en la Figura 3-2.

Figura 3-3 Perfil de tuberías con caudales superiores a su capacidad



Esto genera un flujo presurizado en conducciones que originalmente están diseñadas para flujo libre, lo cual podría provocar un posible desbordamiento en pozos aguas arriba.

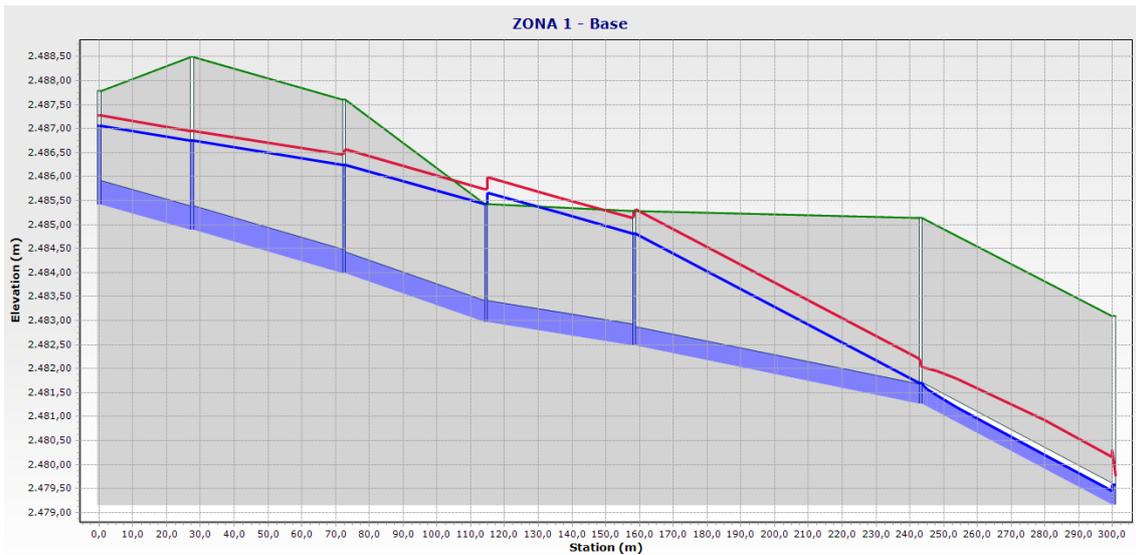
En este caso, el problema ocurre con el pozo numero 4 (MH-4). Este está ubicado entre CO-3 y CO-4, presenta condiciones de inundación en el modelo. Esta situación puede ser resultado de diferencias importantes entre el caudal que llega por CO-3 y la capacidad de evacuación de CO-4.

Figura 3-4 Pozo MH-4 condiciones de inundación

ID	Label	Elevation (Ground) (m)	Elevation (Invert) (m)	Elevation (Rim) (m)	Is Overflowing?	Is Ever Overflowing?
30	MH-1	2.487,78	2.485,41	2.487,78	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31	MH-2	2.488,49	2.484,89	2.488,49	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32	MH-3	2.487,60	2.483,98	2.487,60	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33	MH-4	2.485,42	2.482,97	2.485,42	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
34	MH-5	2.485,28	2.482,48	2.485,28	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
35	MH-6	2.485,14	2.481,27	2.485,14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
36	MH-7	2.483,09	2.479,16	2.483,09	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

En el perfil longitudinal de la zona se identifican ciertas condiciones hidráulicas relevantes.

Figura 3-5 Perfil Longitudinal de la zona



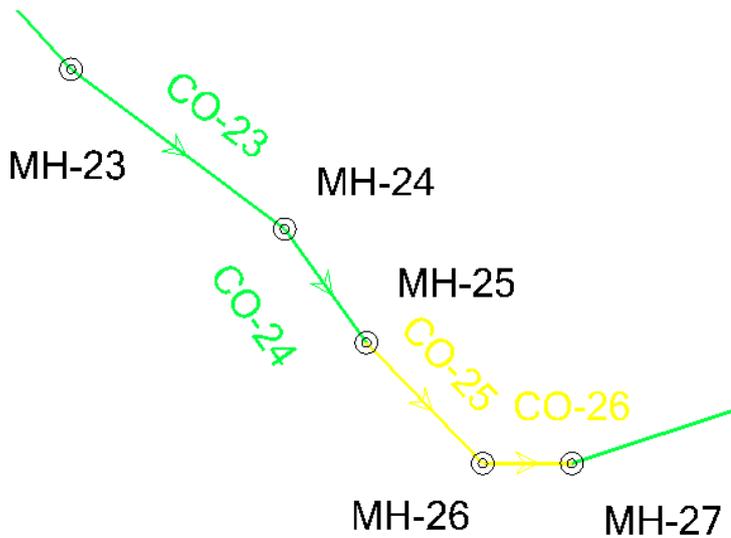
En las cercanías de la estación, 120 m se observa un cambio abrupto en la HGL, lo cual sugiere la presencia de una caída pronunciada o una variación significativa en la pendiente. Esta condición puede provocar pérdidas de energía o acumulación de aire en el sistema.

Por otro lado, se detectan zonas con pendientes reducidas, particularmente en el sector cercano a la estación 160 m, donde tanto la HGL como la EGL se presentan casi paralelas al perfil del terreno. Esta condición puede dar lugar a velocidades bajas, incrementando el riesgo de sedimentación dentro de las tuberías.

- **Zona 2 (MH-25 a MH-27)**

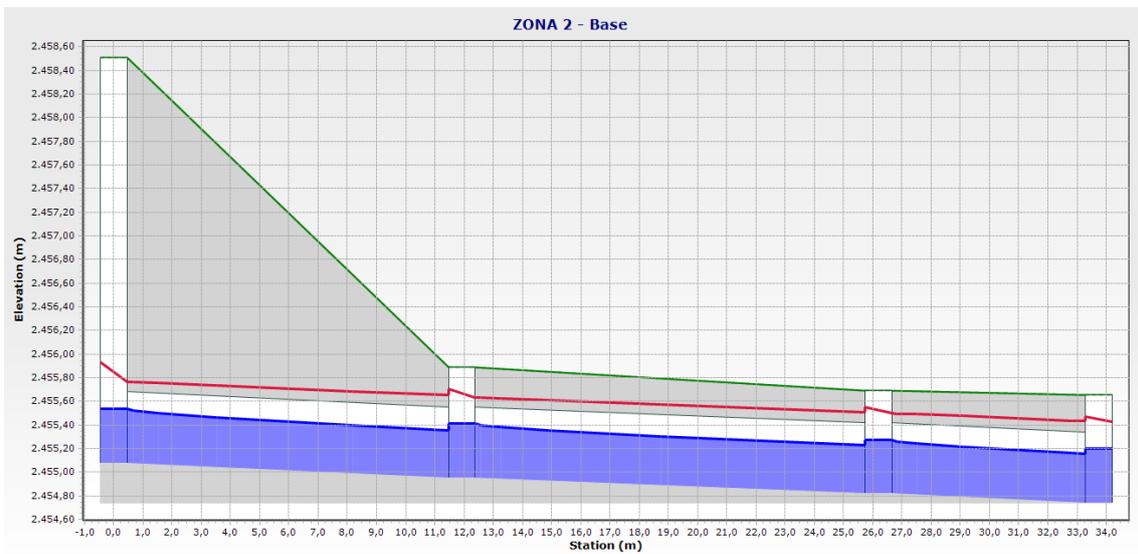
Otra sección en la cual se podrían aplicar mejoras va desde el pozo 25 hasta el pozo 27, su diagrama es el siguiente Figura 3-6

Figura 3-6 Perfil de tuberías pozo 25 a pozo 27 para mejoras



Se observa que la línea de carga hidráulica (HGL) permanece en todo momento por debajo del terreno natural, lo que indica un funcionamiento adecuado sin condiciones de presurización ni riesgo de desbordamiento superficial.

Figura 3-7 Perfil de carga hidráulico pozo 25 a pozo 27



Sin embargo, en el intervalo comprendido entre las estaciones 1600 m y 1650 m se presenta un cambio abrupto en la rasante del terreno. Este comportamiento coincide con una ligera elevación en la HGL, posiblemente atribuible a la disipación localizada de energía o ajustes en la pendiente hidráulica del sistema.

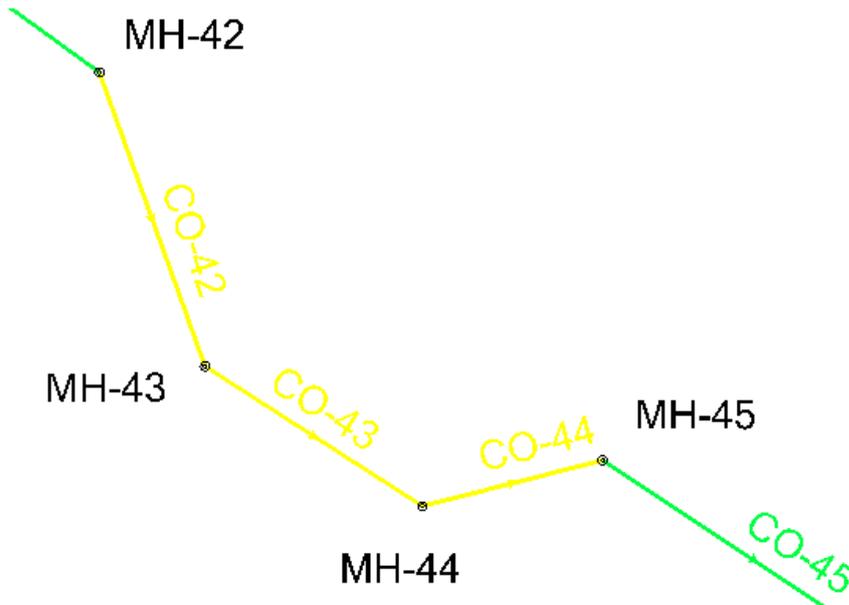
También se identifican pequeños incrementos en la HGL los cuales podrían estar relacionados con turbulencias locales o variaciones mínimas en las cotas de conexión

entre tuberías y cámaras. No obstante, dichas fluctuaciones no comprometen el funcionamiento general del sistema.

- **Zona 3 (MH-42 a MH-45)**

Finalmente, existe una última sección en la que existen observaciones y en donde se podrían sugerir mejoras Figura 3-8:

Figura 3-8 Perfil de tuberías pozo 42 a pozo 45



A lo largo del perfil, igual que en el caso anterior, la línea de carga hidráulica (HGL) se mantiene por debajo de la rasante del terreno y dentro de las tuberías, indicando que el sistema opera sin presurización ni riesgos de desbordamiento.

Figura 3-9 Perfil de carga hidráulico pozo 42 a pozo 45

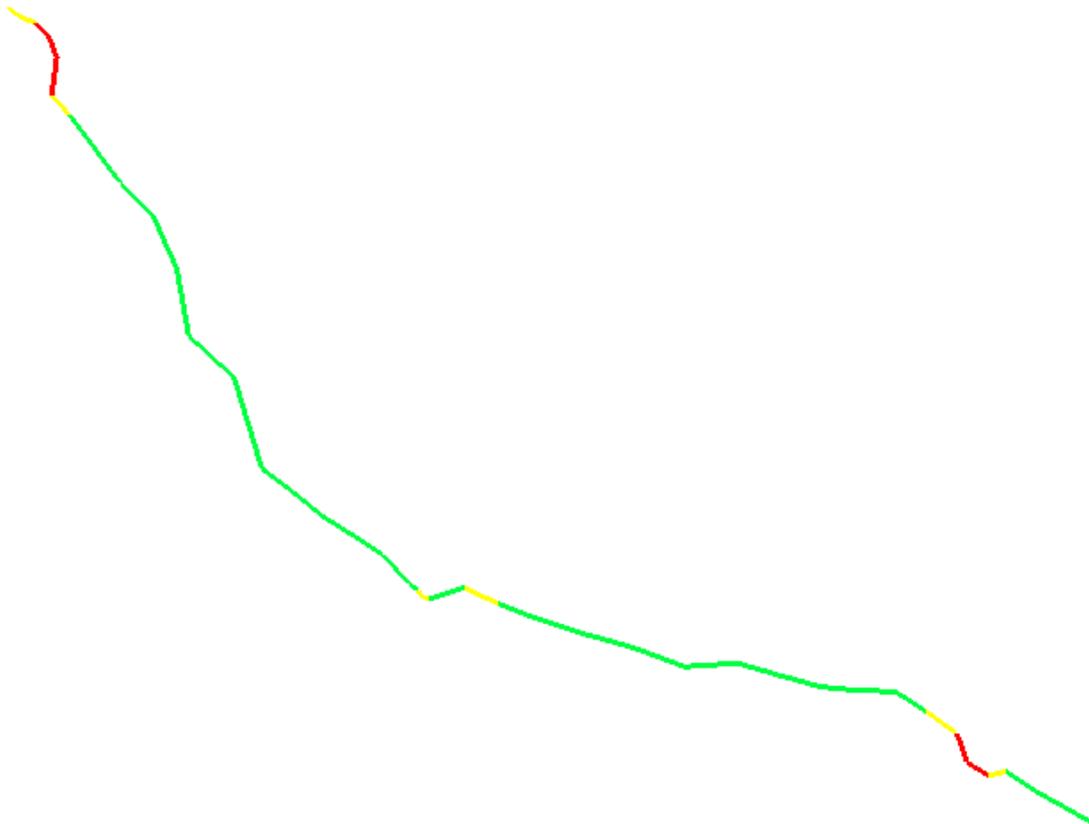


En las cercanías de la estación 3100 m se aprecia un ligero ascenso en la EGL y una pequeña ondulación en la HGL, posiblemente asociada a una estructura de inspección o cambio en el área de sección del conducto. Aun así, las condiciones no indican riesgo de sobrecarga ni pérdida significativa de eficiencia.

3.2 Análisis de resultados para el diseño del 2050

Teniendo en cuenta los resultados del modelado del interceptor en el año 2025, es de esperar que existan más fallas relacionadas a la capacidad de las tuberías, sobre todo en las zonas que presentaban advertencias leves con caudales menores Figura 3-10.

Figura 3-10 Perfil de tuberías con su máxima capacidad



El tramo inicial del interceptor presenta una condición crítica debido a su dimensionamiento y sobrecarga, como se lograba apreciar en el modelo del 2025.

Figura 3-11 Condiciones críticas del interceptor

ID	Label	Diameter (mm)	Start Node	Stop Node	Capacity (Full Flow) (L/s)	Flow / Capacity (Design) (%)
77	CO-1	500,0	MH-1	MH-2	518,12	88,9
78	CO-2	500,0	MH-2	MH-3	537,59	85,7
79	CO-3	450,0	MH-3	MH-4	441,88	104,3
80	CO-4	450,0	MH-4	MH-5	301,88	152,6
81	CO-5	400,0	MH-5	MH-6	248,58	185,4
82	CO-6	450,0	MH-6	MH-7	547,62	84,1
83	CO-7	600,0	MH-7	MH-8	759,88	60,6

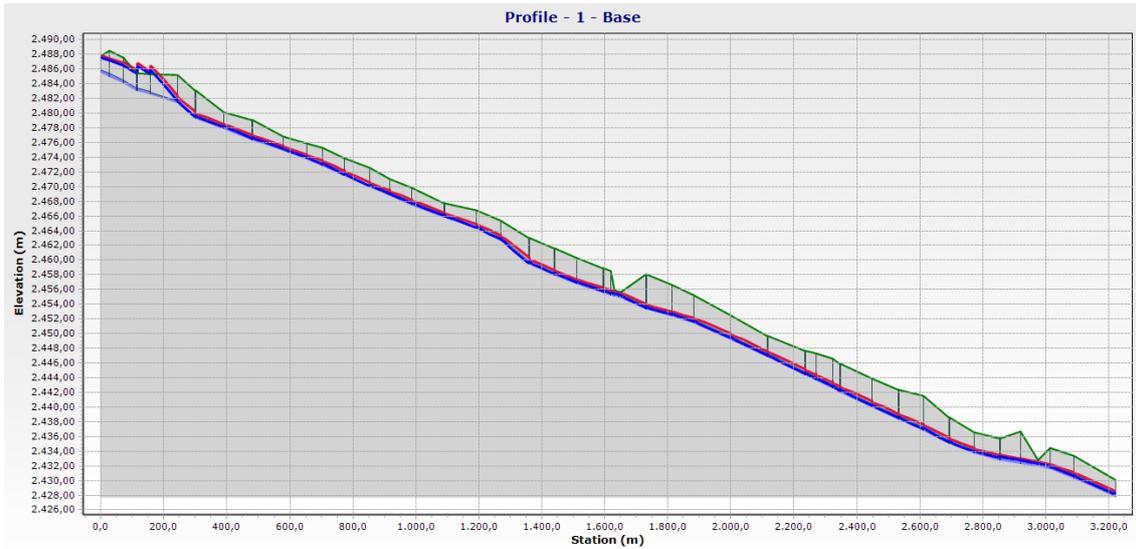
Además, el programa identificó una nueva zona que, si bien antes no presentaba condiciones de sobrecarga, para el 2050 las tuberías entre los pozos número 42 y 44 experimentan una operación fuera de los límites de diseño como se muestra en la Figura 3-12

Figura 3-12 Condiciones con sobrecarga ente pozo 42 y pozo 44 año 2050

ID	Label	Diameter (mm)	Start Node	Stop Node	Capacity (Full Flow) (L/s)	Flow / Capacity (Design) (%)
115	CO-39	600,0	MH-39	MH-40	918,24	60,7
116	CO-40	600,0	MH-40	MH-41	802,92	69,4
117	CO-41	600,0	MH-41	MH-42	619,15	90,0
118	CO-42	600,0	MH-42	MH-43	528,64	105,4
119	CO-43	600,0	MH-43	MH-44	525,83	106,0
120	CO-44	600,0	MH-44	MH-45	594,53	93,7
121	CO-45	600,0	MH-45	MH-46	781,11	71,3
122	CO-46	600,0	MH-46	MH-47	849,43	65,6

La elevación progresiva de la línea de gradiente hidráulico (HGL) a lo largo del interceptor refleja un aumento en la carga hidráulica esperada para el escenario proyectado al año 2050 Figura 3-13. Si bien el sistema opera en su mayoría bajo condiciones de flujo a gravedad, los tramos más críticos nos muestran elevaciones puntuales en las líneas HGL y EGL, lo que permite identificar zonas con potenciales problemas de capacidad o presión excesiva.

Figura 3-13 Perfil hidráulico esperada para el año 2050

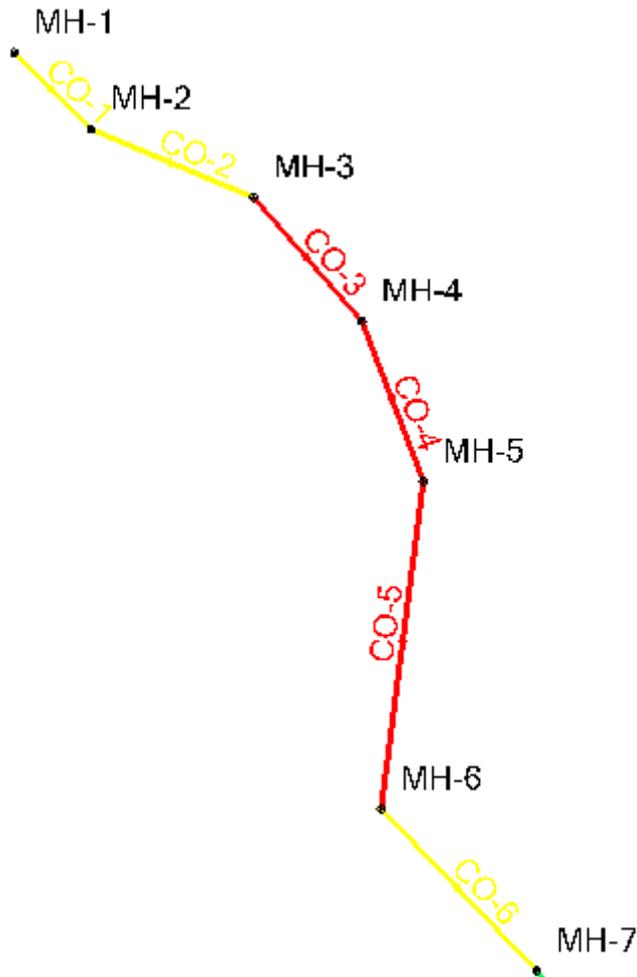


A diferencia del modelo actual, tal como se esperaba, para el año 2025 existen dos zonas en las que se requieren reformas por existencia de sobrecarga y otras dos que deberían ser objeto de estudio a largo plazo. El análisis se realizó de la siguiente manera:

- **Zona 1 (MH-1 a MH-7):**

La Zona 1 abarca los pozos MH-1 hasta el MH-7, e incluye las conducciones CO-1 a CO-6. En el plano se observa que las conducciones CO-3, CO-4 y CO-5 son las más críticas en cuanto a desempeño hidráulico.

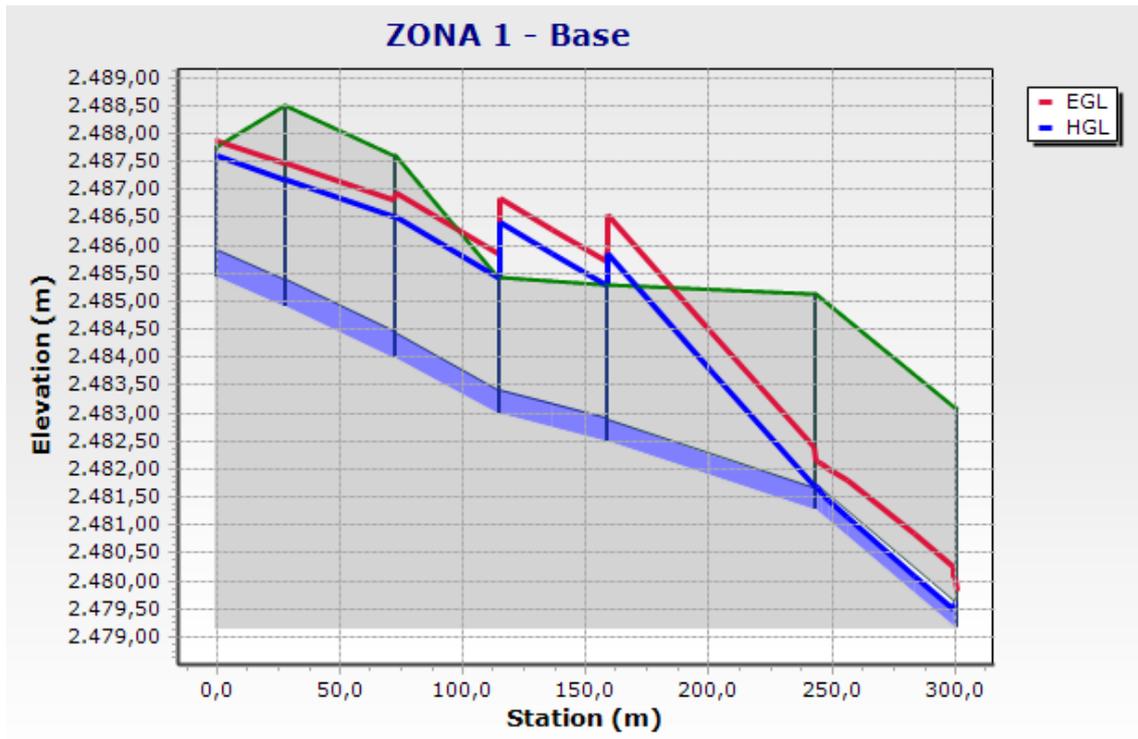
Figura 3-14 Perfil zona 1 pozos MH-1 a MH-7 2050



A pesar de que las tuberías CO-1, CO-2 y CO-6 no presentan signos de sobrecarga, sus diámetros reducidos respecto a las tuberías aguas abajo generan una condición desfavorable de transición de flujo, forzando a las conducciones CO-3, CO-4 y CO-5 a operar por encima de su capacidad de transporte.

En el perfil de gradientes se identifica un comportamiento que evidencia el inicio de condiciones de sobrecarga a partir de CO-3 Figura 3-15. Este tramo presenta un aumento en la línea de gradiente hidráulico (HGL), la cual supera en ciertos puntos al nivel del terreno (EGL), lo que indica sobrecarga hidráulica. Esta situación compromete el funcionamiento del sistema y eleva el riesgo de inundación en los pozos MH-4 y MH-5, tal como se observa en MH-4, donde la HGL muestra un repunte que denota incapacidad de descarga hacia el siguiente tramo.

Figura 3-15 Perfil de gradientes zona 1 2050

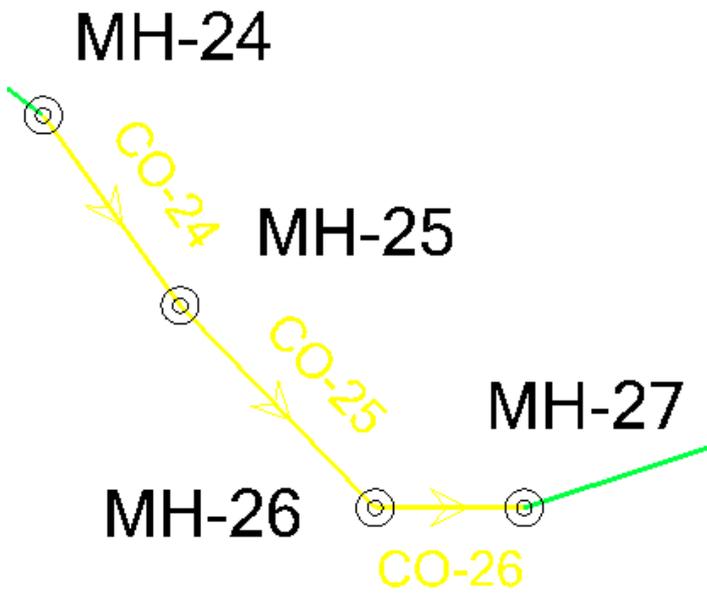


El tramo CO-5, de igual forma, evidencia un comportamiento que rebasa su capacidad de diseño, reflejado en el estrechamiento entre la HGL y el conducto, con una pendiente reducida que propicia acumulación de carga y pérdida de eficiencia hidráulica.

- **Zona 2 (MH-24 a MH-27):**

Esta zona abarca el tramo del interceptor sanitario conformado por los pozos MH-24 al MH-27, con las tuberías CO-24, CO-25 y CO-26 Figura 3-16.

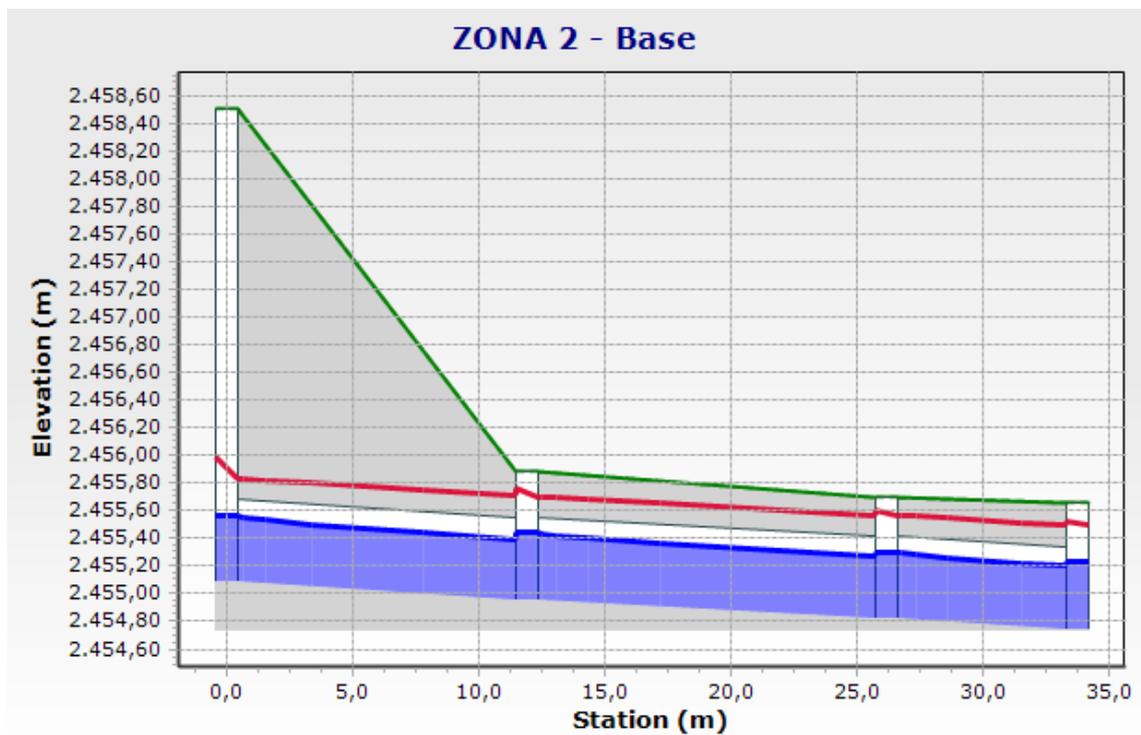
Figura 3-16 Perfil zona 2 interceptor sanitario 2050



El tramo está en el límite de su capacidad hidráulica, lo cual es aceptable, pero no óptimo para futuras cargas si se espera crecimiento poblacional o conexión de nuevos ramales.

Los gradientes se mantienen constantes, sin sobresaltos visibles, lo que indica flujo uniforme.

Figura 3-17 Perfil de gradientes zona 2 2050

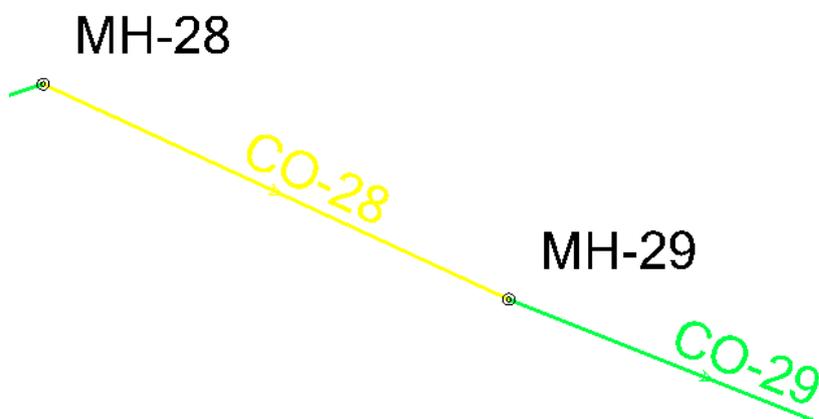


La pendiente del terreno y del colector parecen estar bien coordinadas, evitando pendientes invertidas o cambios bruscos.

- **Zona 3 (MH-28 a MH-29):**

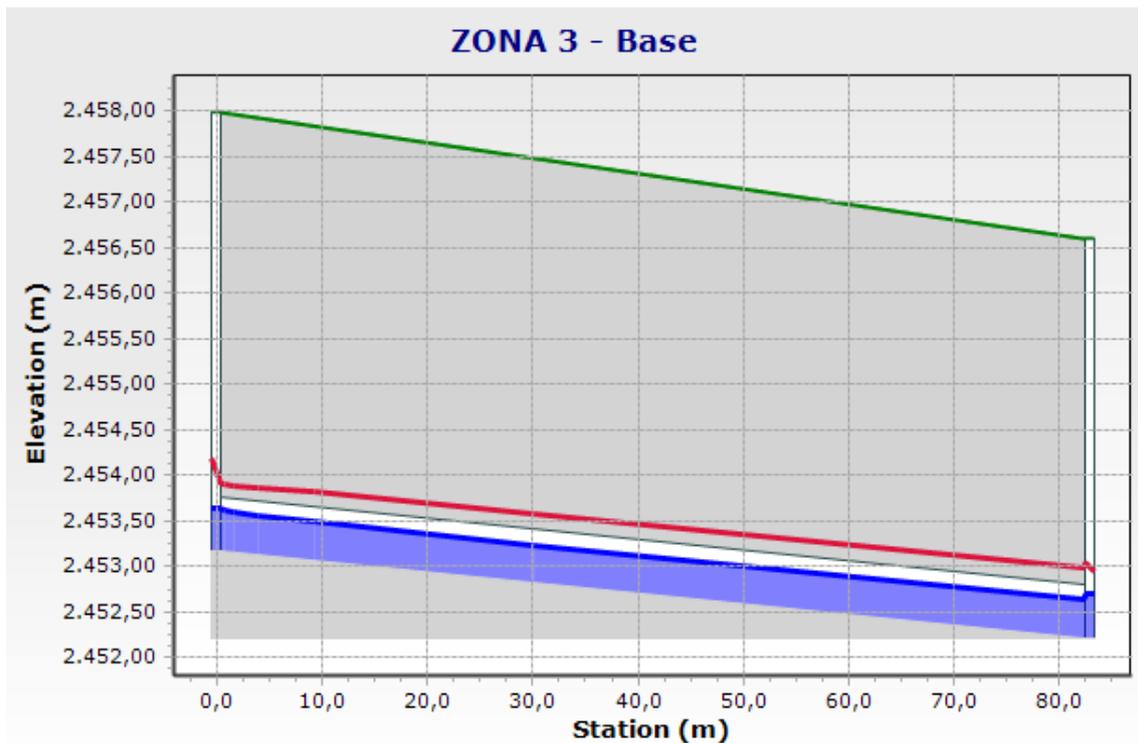
Como en el caso anterior, la tubería CO-28 opera a más del 80% de su capacidad, por lo que se debería realizar una corrección con la finalidad de evitar sobrecargas en un futuro cercano.

Figura 3-18 Perfil zona 3 interceptor sanitario 2050



El perfil indica un flujo uniforme, como se evidencia en la Figura 3-19

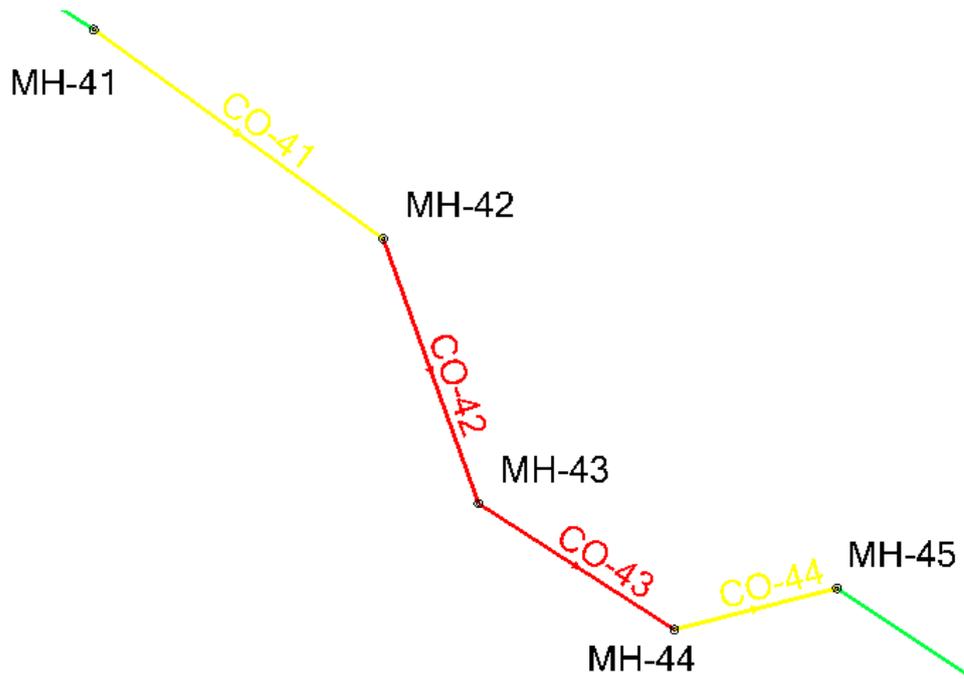
Figura 3-19 Perfil con gradiente hidráulica 2050



- **Zona 4 (MH-41 a MH-45):**

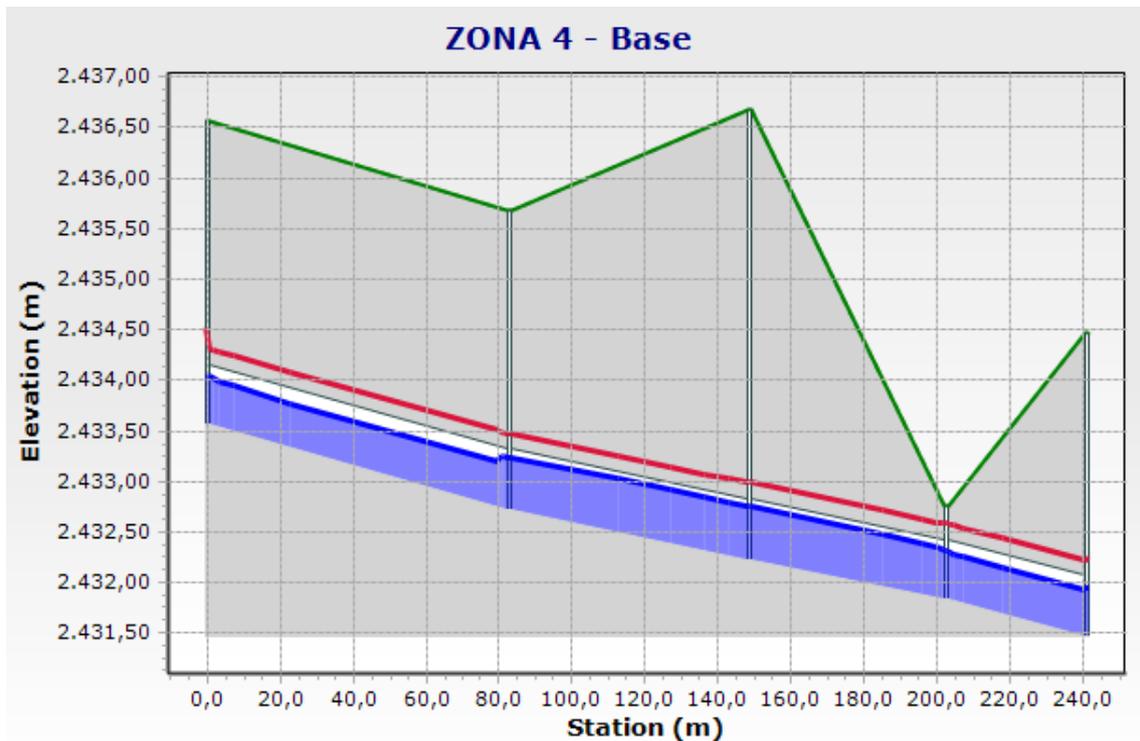
En la imagen del trazado se observan los pozos MH-41 al MH-45 y las tuberías CO-41, CO-42, CO-43 y CO-44. En base a la Figura 3-20 podemos decir que las tuberías CO-42 y CO-43 están sobrecargados y que CO-41 y CO-44 están al límite.

Figura 3-20 Perfil zona 4 interceptor sanitario 2050



El gradiente hidráulico (HDL) rebasa al gradiente de energía (EGL) en las zonas centrales lo que coincide con los tramos CO-42 y CO-43 en el plano y se puede interpretar como sobrecarga y requieren intervención, pues operan sobre su capacidad.

Figura 3-21 Gradiente hidráulica zona 4 2050



El mismo se mantiene por debajo de la rasante en los extremos, lo que concuerda con los tramos CO-41 y CO-44 que están en amarillo, por lo que deben ser monitoreados ya que están cerca del límite.

4. Capítulo 4: Recomendaciones y optimizaciones

Después de haber realizado el estudio, y haber interpretado correctamente los resultados, lo más recomendable es ampliar el estudio a otras zonas involucradas en el funcionamiento del interceptor sanitario del río Machángara. Esto permitiría tener una visión más completa del sistema, pues podrían sumarse nuevas viviendas, barrios o industrias que descarguen sus aguas al mismo colector.

También es necesario llevar a cabo las correcciones necesarias en los tramos que, como se muestra las evaluaciones, actualmente trabajan por encima de su capacidad. En especial, se deben revisar las tuberías que presentan sobrecarga o los pozos donde se ha detectado riesgo de desbordamiento. Estas mejoras incluyen principalmente cambios en el diámetro de las tuberías y ajustes en las pendientes, como se puede evidenciar en la siguiente tabla, en donde, al cambiar los diámetros, se eliminan las fallas críticas por capacidad.

Figura 4-1 Resultados con nuevos diámetros

ID	Label	Diameter (mm)	Start Node	Stop Node	Capacity (Full Flow) (L/s)	Flow / Capacity (Design) (%)
77	CO-1	500,0	MH-1	MH-2	518,12	77,1
78	CO-2	500,0	MH-2	MH-3	537,59	74,3
79	CO-3	500,0	MH-3	MH-4	585,22	68,3
80	CO-4	600,0	MH-4	MH-5	650,14	61,4
81	CO-5	600,0	MH-5	MH-6	732,89	54,5
82	CO-6	600,0	MH-6	MH-7	1.179,37	33,9
83	CO-7	600,0	MH-7	MH-8	759,88	52,6
84	CO-8	600,0	MH-8	MH-9	797,74	50,1

También es importante mejorar la información catastral relacionada con las redes de alcantarillado. Muchos planos y datos disponibles presentan inconsistencias o están desactualizados, lo que puede afectar la precisión del modelo hidráulico. Por ello, es necesario trabajar con las autoridades responsables para actualizar esta información y así tener una base confiable que refleje mejor la realidad del sistema.

Finalmente, sería muy útil la creación de un sistema de monitoreo permanente del interceptor, es decir, implementar sensores que registren niveles de agua y caudales en puntos estratégicos, con el fin de hacer un seguimiento continuo del comportamiento del sistema. Esto ayuda a detectar problemas a tiempo y nos permite comprobar si los modelos realizados se ajustan a lo que ocurre realmente.

5. Capítulo 5: Presupuesto de obras de mejoramiento

Ya que la evaluación arrojó un único error crítico actualmente (Zona 1), se realizó el cálculo de costos teniendo como referencia la base de datos de presupuestos proporcionada por ETAPA EP del mes de marzo y logramos definir los rubros de nuestro proyecto expuestos en las siguientes tablas.

Tabla 5-1 Presupuesto de Replanteo y Nivelación

Códigos	Rubro - Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
1	REPLANTEO Y NIVELACION				
1.1	Replanteo	km	0,3	616,5	184,95
1.2	Referenciación con hitos de hormigón (Bms)	u	1	64,5	64,5
1.3	Nivelación	m	299,22	0,38	113,7
1.4	Desbroce destronque y limpieza, a mano (incluye remoción y reposición de estructuras menores)	m2	303,71	1,66	504,16
1.5	Desbroce desbosque y limpieza, a máquina (incluye remoción y reposición de estructuras menores)	m2	303,71	0,19	57,7

Tabla 5-2 Presupuesto de Excavación a Mano

2	EXCAVACION A MANO				
2.1	Excavación a mano en Suelo sin clasificar, Profundidad entre 0 y 2 m	m3	119,9	13,79	1653,42
2.2	Excavación a mano en Suelo sin clasificar, Profundidad entre 2 y 4 m	m3	59	16,35	964,65
2.3	Excavación a mano en Terreno Conglomerado, Profundidad entre 0 y 2 m	m3	60	17,06	1023,6
2.4	Excavación a mano en Terreno Conglomerado, Profundidad entre 2 y 4 m	m3	29,5	24,52	723,34

Tabla 5-3 Presupuesto de Excavación Mecánica

3	EXCAVACION MECANICA				
3.1	Excavación mecánica en roca de 0 a 2 m, de profundidad,	m3	60	23,32	1399,2
3.2	Excavación mecánica en roca de 2 a 4 m, de profundidad,	m3	29,5	23,97	707,12
3.3	Excavación mecánica en suelo conglomerado de 0 a 2 m de profundidad,	m3	60	3,89	233,4
3.4	Excavación mecánica en suelo conglomerado de 2 a 4 m de profundidad,	m3	29,5	4,61	136
3.5	Excavación mecánica en suelo de alta consolidación de 0 a 2 m de profundidad,	m3	60	14,55	873
3.6	Excavación mecánica en suelo de alta consolidación de 2 a 4 m de profundidad,	m3	29,5	16,47	485,87
3.7	Excavación mecánica en suelo sin clasificar de 0 a 2 m de profundidad,	m3	839,6	1,77	1486,09
3.8	Excavación mecánica en suelo sin clasificar de 2 a 4 m de profundidad,	m3	412,7	1,96	808,89

Tabla 5-4 Presupuesto de Entibado, Relleno y Desalojo

4	ENTIBADO, RELLENO Y DESALOJO				
4.1	Preparación de fondo de zanja con material granular	m2	182,9	3,58	654,78
4.2	Relleno compactado con equipo liviano	m3	1605,17	5,49	8812,38
4.3	Tapado de zanjas con maquina	m3	67,6	1,91	129,12
4.4	Tapado manual de zanjas	m3	16,9	5,23	88,39
4.5	Cargada de material a mano	m3	234,5	4,92	1153,74
4.6	Cargada de Material a maquina	m3	938	1,18	1106,84
4.7	Transporte de material hasta 5km	m3	1172,4	1,49	1746,88
4.8	Servicio de disposición final de escombros	m3	1172,4	0,74	867,58
4.9	Transporte de materiales más de 5 Km	m3-km	47482,2	0,26	12345,37
4.10	Entibado Discontinuo	m2	195,64	10,42	2038,57
4.11	Material de Reposición (Incluye esponjamiento)	m3	802,59	13,16	10562,08

Tabla 5-5 Presupuesto de Suministro y Colocación de Tubería

5	SUMINISTRO Y COLOCACION DE TUB - ACCS				
5.1	Sum, Tubería PVC para Alcant, U/E DNE=650 mm (dimin= 558 mm) min. serie 5, Tipo B (Inc. Sello Elastomérico)	m	299,22	94,46	28264,32
5.2	Colocación Tubería PVC Alcant. D=650 mm	m	300	2,77	831
5.3	Pozo de revisión de h=0 a 2,5 m, Tapa y Brocal tipo A	u	3	467,54	1402,62
5.4	Pozo de revisión de h=0 a 3,0 m, Tapa y Brocal tipo A	u	1	538,34	538,34
5.5	Pozo de revisión de h=0 a 4,0 m, Tapa y Brocal tipo A	u	3	702,23	2106,69

Tabla 5-6 Presupuesto de Adicionales

6	ADICIONALES				
6.1	Abatimiento del nivel freático	Hora	8	7,42	59,36
6.2	Catastro de alcantarillado	Km	0,3	238,64	71,59

Tabla 5-7 Presupuesto de Plan de Prevención y Mitigación de Impactos

7	PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS				
7.1	Suministro de plástico	m2	30	1,24	37,2
7.2	Instalación de plástico	m2	100	0,51	51
7.3	Suministro de Paso peatonal	m	1	62,78	62,78
7.4	Instalación de Paso peatonal	m	10	4,47	44,7
7.5	Bermas de contención y control de sedimentos	m	1	10,68	10,68
7.6	Suministro de Señales A-0001 a A-0003; A-0005 a A-0009	u	1	147,72	147,72
7.7	Suministro de Señales A-0019	u	1	230,32	230,32
7.8	Instalación de Señales A-0001 a A-0023	u	2	20	40
7.9	Suministro de Letrero Informativo Tipo 1 (2.40x1.20 m)	u	1	515,22	515,22
7.10	Instalación de Letrero Informativo Tipo 1 (2.40x1.20 m)	u	1	63,45	63,45
7.11	Suministro de Malla de seguridad	m	299,22	2,44	730,1
7.12	Instalación de Malla de seguridad	m	299,22	0,2	59,84
7.13	Suministro de Poste Delineador D-0001	u	15	17,88	268,2
7.14	Instalación de Poste Delineador D-0001	u	15	1,03	15,45
7.15	Suministro de Conos F-0004	u	2	26,21	52,42
7.16	Instalación de Conos F-0004	u	20	1,03	20,6
7.17	Suministro de Cintas B-0001 a B-0005	m	299,22	0,06	17,95
7.18	Instalación de Cintas B-0001 a B-0005	m	299,22	0,05	14,96
7.19	Revegetación con especies herbáceas	ha	0,02	12001,54	240,03

Dádonos como resultado un total de NOVENTA Y NUEVE MIL OCHOSCIENTOS CUARENTA Y CINCO CON 14/100 USD.

Tabla 5-8 Presupuesto total de mejoramiento de obra

SUBTOTAL	86821,86
IVA 15%	13023,28
TOTAL	99845,14

Conclusiones

Realizar la modelación y evaluación del interceptor sanitario del río Machángara nos permitió comprender con claridad el comportamiento hidráulico de la red en condiciones actuales y futuras. A través del análisis de los gradientes hidráulicos y de energía, se identificaron tramos críticos que podrían comprometer el funcionamiento del sistema, lo cual proporciona una base técnica sólida para la toma de decisiones y planificación de mejoras en la infraestructura sanitaria de la cuenca.

Se consolidó exitosamente la información catastral, topográfica y técnica del sistema existente, lo que permitió estructurar una base de datos confiable y completa para alimentar el modelo hidráulico. Esta etapa fue fundamental para brindarnos un escenario apegado a la realidad de la red.

La revisión de fundamentos hidráulicos y conceptos de modelación permitió aplicar correctamente los principios de flujo en canales cerrados, condiciones de frontera, pérdidas por fricción y gradientes, facilitando así el uso eficaz del software de simulación para el análisis de redes sanitarias.

Se desarrolló un modelo hidráulico detallado del interceptor, el cual fue calibrado y ejecutado para dos escenarios: el actual y el proyectado para el año 2050. Esto permitió visualizar la evolución del comportamiento del sistema bajo condiciones de mayor demanda, anticipando posibles sobrecargas y pérdidas de capacidad.

El análisis reveló que varias tuberías (como CO-3, CO-4, CO-5, CO-42 y CO-43) operan por encima de su capacidad actualmente y a futuro, además se presentó un pozo con indicios de inundación. A partir de esto, se plantearon propuestas de optimización que incluyen el aumento del diámetro en tramos críticos y la mejora de pendientes, con el fin de garantizar la operatividad del sistema ante escenarios de crecimiento urbano y mayor carga sanitaria.

Bibliografía

- Agua, M. d. (2007). *Instalaciones sanitarias-alcantarillado pluvial, sanitario y tratamiento de las aguas residuales*. La Paz, Bolivia.
- Blanco, A., Pujadas, P., Fuente, A., & Aguado de Cea, A. (2010). Análisis comparativo de los modelos constitutivos del hormigón reforzado con fibras. *UPCommons*, 61(256), 83-101. doi:<http://hdl.handle.net/2117/11260>
- Butler, D., & Davies, J. (2011). *Urban Drainage*. New York, EEUU.
- Cabrera. (2015).
- Cabrera, J. (s.f.). *Evaluación hidráulica y modelamiento del interceptor sanitario del río Tomebamba en el tramo comprendido entre la Av. de las Américas y la Ciudadela de los Ingenieros*. Universidad del Azuay, Cuenca.
- Castillo, C., & Ullaguari, E. (2018). *Diseño del colector combinado en el margen izquierdo de la quebrada Calihuayco para la parroquia Pintag, cantón Quito, provincia de Pichincha-Ecuador*. Quito.
- Díaz-Kovalenko, I., Larrea-Rosas, K., & Barros-Naranjo, J. (2022). El sector de la construcción en la economía ecuatoriana, importancia y perspectivas. *Revista Ciencias Sociales y Económicas UTEQ*, 6(2), 58-69. doi:10.18779/csye.v6i2.598
- Ep, E. (s.f.).
- EP, E. (s.f.). *ETAPA EP*. Obtenido de ETAPA EP: <https://www.etapa.net.ec/agua-potable-y-saneamiento/alcantarillado-y-saneamiento/>
- Espingares García, M., & Pérez López, J. (1985). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. Granada.
- ETAPA. (2009). *Proyecto de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento II fase*. Cuenca.
- ETAPA. (2016). *Aplicación de la capacidad de la planta de tratamiento de agua potable de tixán: módulo II*. Cuenca.
- ETAPA EP. (2024). *ETAPA EP*. Obtenido de <https://www.etapa.net.ec/institucional/empresa/>

- Franco, J., Cusme, C., & Stay, D. (2023). La gestión integral de residuos de construcción y demolición, un enfoque hacia la sostenibilidad de las ciudades. *South Florida*, 4(6), 2254-2277. doi:<https://doi.org/10.46932/sfjdv4n6-004>
- Gonzales, L., & Vallejos, M. (2020). *Efectos Sociales del Desabastecimiento en Agua Potable y Saneamiento Básico*. Lima.
- Harmon. (1918).
- Hernández, S., & Cruz, M. (2010). Aplicación innovadora de materiales constructivos en arquitectura y edificación sustentables. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, 5(7), 37-48. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=477976544001>
- López, R. A. (1995). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). *Agua, saneamiento e higiene en la agenda 2030 para el desarrollo sostenible*. Obtenido de OMS: <https://www.un.org>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2018). *OPS (Organización Panamericana de la Salud)*.
- SIAPA. (2014). *Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades del Alcantarillado*. Guadalajara.
- Taco, F. (2012). *LAS AGUAS SERVIDAS Y SU INCIDENCIA EN LA SALUBRIDAD DE LOS HABITANTES DEL BARRIO PILACOTO DE LA PARROQUIA GUAYTACAMA DEL CANTÓN LATACUNGA PROVINCIA DE COTOPAXI*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ambato.
- Vásquez, M., Gonzabay, L., Vicuña, T., & Coello, G. (2024). Impacto de la Inversión Extranjera Directa (IED), en el Crecimiento Económico del Ecuador: una Revisión Sistemática. *Reincasol*, 3(5), 767-792. doi:[https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(5\)767-792](https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(5)767-792)
- Veintimilla, M. (2015). *EVALUACIÓN HIDRÁULICA Y MODELAMIENTO DEL INTERCEPTOR SANITARIO DEL RÍO YANUNCAY EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE EL TENIS CUENCA CLUB Y LOS TRES PUENTES*. Universidad del Azuay, Cuenca.

Zuñiga, C., & Zambrano, R. (2020). *Alcantarillado sanitario y pluvial y su incidencia en la salud de la población de la ciudad de Milagro.*