



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO PARA LA
ZONA URBANA DEL GAD PARROQUIAL DE NONO, PROVINCIA PICHINCHA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Civil

AUTOR: Edison Adrian Hernandez Delgado

TUTORA: Belén Shakira Tapia Montero

Quito-Ecuador
2026

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Edison Adrian Hernandez Delgado con documento de identificación N° 1751468123; manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 20 de febrero del 2026

Atentamente,



Edison Adrian Hernandez Delgado
1751468123

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Edison Adrian Hernandez Delgado con documento de identificación N° 1751468123 expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Rediseño del sistema de alcantarillado combinado para la zona urbana del GAD parroquial de Nono, provincia Pichincha” el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 20 de febrero del 2026

Atentamente,



Edison Adrian Hernandez Delgado
1751468123

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Belén Shakira Tapia Montero con documento de identificación N° 0250072170, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: REDISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO PARA LA ZONA URBANA DEL GAD PARROQUIAL DE NONO, PROVINCIA PICHINCHA, realizado por Edison Adrian Hernandez Delgado con documento de identificación N° 1751468123, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 20 de febrero del 2026

Atentamente,



Ing. Belén Shakira Tapia Montero, MSc.
0250072170

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres, quienes siempre han sido el pilar detrás de este proyecto en cada etapa de mi vida. Gracias por trabajar duro, gracias por ser tan pacientes, gracias por no dejarme rendir cuando las cosas se pusieron difíciles. De hecho, he logrado todo hasta la fecha gracias a ustedes. A mis amigos, por estar presentes en cada etapa, por caminar a través de este proceso y por compartirlo conmigo. Y su apoyo y confianza proporcionaron un impulso para seguir adelante hasta que completé este objetivo.

A mi familia, a mis primos en particular, por la cercanía, motivación y apoyo continuo. Hizo una gran diferencia en este viaje tenerlos creyendo en mí. Este trabajo es un hito logrado, así como el respaldo y la confianza de todas las personas que fueron parte de este proceso.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto de titulación se ha completado con la ayuda de varias personas a lo largo de este proceso académico. Estoy profundamente agradecido con mis padres y mi familia por su apoyo constante, paciencia y motivación, que fueron fundamentales para avanzar y lograr este objetivo. Gracias a mis profesores del programa de Ingeniería Civil por el conocimiento y la orientación proporcionados a lo largo de mi formación profesional, lo que contribuyó al desarrollo de este trabajo. Un agradecimiento especial al tutor y al revisor del proyecto de grado por su orientación y aportes técnicos, que ayudaron a fortalecer la calidad de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I	
ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	1
1.1. Introducción	1
1.2. Problemas de estudio.....	1
1.2.1. Antecedentes	2
1.2.2. Importancia y alcance.....	2
1.2.3. Delimitación	3
1.3. Justificación.....	6
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	7
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	8
2.1. Alcantarillado	8
2.2. Tipos de alcantarillado	8
2.2.1. Alcantarillado separado.....	8
2.2.2. Alcantarillado sanitario	8
2.2.3. Alcantarillado pluvial.....	8
2.2.4. Alcantarillado combinado	9
2.3. Ecuación de Manning.....	9
2.4. Componentes del sistema de alcantarillado sanitario.....	11
2.4.1. Acometidas:.....	11
2.4.2. Alcantarillas:	11
2.4.3. Colectores:.....	11
2.4.4. Aliviaderos:	11
2.4.5. Emisarios interceptores:	11
2.5. Distancia entre pozos	12
2.6. Catastro.....	12
2.7. Topografía	12
2.8. Modelado numérico.....	13
2.9. Bases de diseño	13
2.10. Población de diseño.....	13
2.10.1. Método geométrico	14
2.10.2. Método aritmético	14

2.10.3. Método exponencial	15
2.11. Área de aporte o tributaria.....	16
2.12. Aportación caudal residual (Qs).....	16
2.12.1. Caudal doméstico	16
2.12.1. Caudal comercial.....	17
2.12.2. Caudal industrial	17
2.12.3. Caudal de infiltración	17
2.12.1. Caudal de conexiones Ilícitas/Erradas.....	18
2.13. Aportación caudal agua lluvia.....	19
2.13.1. Flujo caudal pluvial (Qp)	19
2.13.2. Factor de escorrentía	19
2.13.3. Intensidad de lluvia	21
2.14. Caudal de diseño	22
2.15. Caudal medio diario (QmD).....	22
2.16 Caudal máximo horario	23
2.16. Dotación	24
2.17. Hidrología.....	24
2.18. Caudal combinado.....	25
2.19. Hidráulica de las redes de recolección	25
2.19.1. Flujo en condiciones llenas	25
2.19.2. Flujo en condiciones parcialmente llenas.....	27
2.19.3. Relación Q/Qo.....	27
2.19.4. Relación: V/Vo, y/D, R/Ro, HD	28
2.19.5. Velocidad	28
2.19.5.1. Velocidad máxima.....	28
2.20. Pendiente	29
2.20.1. Creación del modelo numérico	29
2.20.2. Gestión de alternativas	30
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA	31
3.1. Tipo de investigación	31
3.2. Método de investigación	31
3.3. Técnicas de recolección de información	32
3.4. Proceso técnico de Ingeniería Civil.....	32
3.4.1. Levantamiento catastral.....	32
3.4.2. Levantamiento topográfico	34

3.4.2.1. Altimetría	34
3.4.2.2. Planimetría.	34
3.4.2.3. Ajuste RTK.	34
3.4.2.4. Sistema de coordenadas UTM.....	35
3.4.2.5. Cotas de proyecto.	35

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO EXISTENTE 36

3.1. Parámetros base para la evaluación.....	36
3.1.1. Áreas tributarias	36
3.1.2. Análisis poblacional	37
3.1.2.1. Tasa de crecimiento.....	37
3.1.2.2. Población flotante.....	38
3.1.2.3. Estimación de la población futura.....	39
3.1.3. Dotación	40
3.2. Análisis de caudales	41
3.2.1. Análisis de aporte sanitario	41
3.2.1.1. Caudal de aguas domésticas (Qdom)	41
3.2.1.2. Caudal de infiltración (Qinf).....	42
3.2.1.3. Conexiones erradas (QCE).....	42
3.2.1.4. Caudal medio diario (Qmed).....	43
3.2.1.5. Caudal máximo horario (QMH).....	43
3.2.1.6. Caudales unitarios (qunitarios).....	43
3.2.2. Análisis de aporte pluvial	44
3.2.2.1. Método racional (Estudio Hidrológico)	44
3.2.2.2. Caudal pluvial	48
3.2.3. Caudal combinado.....	48
3.3. Hidráulica de las redes de recolección	50
3.3.1. Flujo en condiciones llenas, caudal y relación Qd/Qll.....	50
3.3.2. Capacidad de llenado	51
3.3.2.1. Relación: V/V_o , y/D , R/R_o , HD	52
3.3.3. Resultado Velocidad, Radio hidráulico, Tirante y fuerza tractiva.	52

CAPÍTULO V

MODELACIÓN EN PROGRAMA COMPUTACIONAL 54

4.1. Evaluación del sistema de alcantarillado combinado en SewerGems.....	54
4.1.1. Simbología en pozos	54
4.1.1.1. Simbología en tubería.....	54
4.1.2. Información de la infraestructura de la red	55
4.2. Escenarios.....	57
4.2.1. Alcantarillado combinado	58

CAPÍTULO VI	
ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO	62
5.1. Parámetros para considerar para el rediseño	62
5.1.1. Período de diseño	62
5.1.2. Áreas tributarias	62
5.1.3. Análisis poblacional	63
5.1.3.1. Tasa de crecimiento.....	63
5.1.3.2. Población flotante.....	64
5.1.3.3. Estimación de la población futura.....	64
5.1.1. Dotación	66
5.2. Análisis de caudales	66
5.2.1. Análisis de aporte sanitario	66
5.2.2. Diagnóstico técnico del sistema	66
5.2.3. Planteamiento de alternativas.....	67
5.2.4. Propuesta del nuevo diseño del sistema de alcantarillado.....	67
5.2.5. Rediseño	68
5.2.5.1. Condiciones de diseño.....	73
CONCLUSIONES.....	84
RECOMENDACIONES.....	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
ANEXOS	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de caudal de infiltración según la complejidad del sistema.	18
Tabla 2. Aportes máximos por conexiones erradas.....	19
Tabla 3. Coeficiente de escorrentía según cobertura, uso de suelo y pendiente.	20
Tabla 4. Coeficientes de retorno en aguas servidas domésticas.....	22
Tabla 5. Coeficiente de mayoración y minoración según la EMAAP-Q, 2009.	23
Tabla 6. Parámetros de dotación media futura.	24
Tabla 7. Coeficiente "n" de rugosidad de Manning.	26
Tabla 8. Velocidades máximas admisibles por material de la tubería.	29
Tabla 9. Población de los censos oficiales INEC.....	37
Tabla 10. Tasa de crecimiento.....	38
Tabla 11. Días festivos en Ecuador 2025.	38
Tabla 12. Población 2025 con método geométrico.	39
Tabla 13. Población 2025 con método aritmético.....	40
Tabla 14. Población 2025 con método exponencial.....	40
Tabla 15. Población final para el análisis de la red actual.	41
Tabla 16. Caudales unitarios del año 2025.....	44
Tabla 17. Estacion Iñaquito.....	46
Tabla 18. Ejemplo de obtención de coeficiente de escorrentía ponderado 46	46
Tabla 19. Ecuaciones de intensidad de lluvia de la estación meteorológica Iñaquito..... 47	47
Tabla 20. Períodos de retorno para diferentes ocupaciones del área..... 47	47
Tabla 21. Ejemplo de obtención del caudal pluvial. 48	48
Tabla 22. Resultados obtenidos del análisis..... 52	52
Tabla 23. Población 2055 con método geométrico. 64	64
Tabla 24. Población 2055 con método aritmético..... 65	65
Tabla 25. Población 2025 con método exponencial..... 65	65
Tabla 26. Población final para el rediseño. 66	66
Tabla 27. Rediseño de sistema de alcantarillado separado datos pluviales..... 69	69
Tabla 28. Rediseño de sistema de alcantarillado separado datos sanitarios..... 71	71
Tabla 29. Resultados de las condiciones de diseño sanitario en Excel. 73	73
Tabla 30. Resultados de las condiciones de diseño pluvial en Excel..... 78	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del sistema de alcantarillado.....	4
Figura 2. Mapa del área de aportación a la red.	5
Figura 3. Tipos de sistemas de alcantarillado.	9
Figura 4. Ficha catastral del pozo 1.	33
Figura 5. Ejemplo de áreas tributarias obtenidas	36
Figura 6. Estaciones cercanas al proyecto.....	45
Figura 7. Distribución de pozos.	54
Figura 8. Asignación de los parámetros en SewerGems.....	56
Figura 9. Ejemplo de escenario para análisis sanitario	57
Figura 10. Reporte de la red actual combinada en SewerGems.....	58
Figura 11. Áreas de aportación adicionales	63
Figura 12. Resultados de las condiciones de diseño sanitario en programa computacional. 77	
Figura 13. Resultados de las condiciones de diseño pluvial en programa computacional ...	81
Figura 14. Trazado de la nueva red pluvial 2055.....	82
Figura 15. Perfiles de la red pluvial	83

RESUMEN

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo evaluar el estado actual del sistema de alcantarillado combinado que opera en la zona urbana de la parroquia Nono, cantón Quito, provincia de Pichincha, el cual se extiende desde el pozo de cabecera ubicado en la vía Nono–Quito hasta el punto de restitución hacia la planta de tratamiento localizada en la vía San Martín.

Para el desarrollo del estudio se realizó un levantamiento catastral detallado de los colectores y pozos existentes, así como el análisis topográfico del sector y un análisis poblacional. Finalmente se realizó un modelo computacional del sistema de alcantarillado en un software especializado para redes de alcantarillado, mediante el cual se evaluó el comportamiento hidráulico de la red existente y se identificaron las principales deficiencias en su capacidad de conducción debido al caudal pluvial.

Como resultado de la evaluación se logró obtener que para 3.84km de tubería se transporta hasta 12.60 L/s de caudal sanitario y 2713,799 L/s de caudal pluvial en sus tramos finales, con diámetros de tuberías que parten desde los 200 mm hasta los 500 mm que en su mayoría son de concreto.

El análisis comparativo de alternativas determinó que la solución más eficiente corresponde a la implementación de un sistema de alcantarillado separado en donde se presentaron diseños actualizados de la red pluvial y sanitaria siguiendo los parámetros que dicta la normativa vigente.

Palabras clave: alcantarillado, drenaje pluvial, catastro, modelo computacional.

ABSTRACT

The objective of this degree project is to evaluate the current state of the combined sewer system operating in the urban area of the parish of Nono, canton of Quito, province of Pichincha, which extends from the head well located on the Nono–Quito road to the point of restitution to the treatment plant located on the San Martín road.

To carry out the study, a detailed cadastral survey of the existing collectors and wells was conducted, as well as a topographic analysis of the sector and a population analysis. Finally, a computer model of the sewerage system was created using specialized software for sewerage networks, which was used to evaluate the hydraulic behavior of the existing network and identify the main deficiencies in its flow capacity due to storm water runoff.

The evaluation showed that 3.84 km of pipe carries up to 12.60 L/s of sanitary flow and 2713.799 L/s of storm water flow in its final sections, with pipe diameters ranging from 200 mm to 500 mm, most of which are made of concrete.

The comparative analysis of alternatives determined that the most efficient solution is the implementation of a separate sewer system, with updated designs for the stormwater and sanitary networks in accordance with the parameters set forth in current regulations.

Keywords: sewerage, storm drainage, cadastre, computational

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1. Introducción

En el Distrito Metropolitano de Quito, la planificación y ejecución de proyectos de saneamiento se rige por la normativa técnica establecida por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y saneamiento, la cual promueve soluciones que aseguren una operación segura, eficiente y que se adapte a las condiciones de demanda sanitaria y pluvial. En este contexto el presente proyecto se enfoca en la zona urbana de la parroquia de Nono, donde se desarrolla la evaluación del sistema de alcantarillado combinado y plantear alternativas de mejora. Para ello, se ejecutaron actividades de levantamiento topográfico y catastral, inspección pozos y colectores, estimación de caudales sanitarios y pluviales, y modelación hidráulica mediante herramientas computacionales especializadas. Esta metodología permitió evaluar el comportamiento del sistema ante diferentes escenarios de operación y sustentar técnicamente la selección de la solución más adecuada y actualizada de la red.

1.2. Problemas de estudio

En los últimos años, el incremento sostenido de la actividad turística en la parroquia de Nono ha generado un aumento significativo en los caudales que deben ser conducidos por la red de alcantarillado existente. A esta situación se suma la ocurrencia de eventos de precipitación intensa, registrándose entre los meses de abril y mayo lluvias de hasta 152 mm en un periodo de 24 horas (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Nono, 2025).

Debido a la ausencia de un sistema de drenaje pluvial en las vías, las aguas de escorrentía superficial se transportan por las calles y se acumulan en sectores de descarga concentrada, incorporándose al sistema de alcantarillado sanitario y generando sobrecargas hidráulicas. Esta condición ha provocado deficiencias operativas en el sistema combinado existente, añadiendo carga adicional al sistema de alcantarillado existente.

En concordancia con el diagnóstico elaborado por el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Nono (2020), resulta indispensable desarrollar un estudio integral que permita evaluar el estado actual del sistema de alcantarillado combinado, para identificar sus limitaciones y proponer soluciones orientadas a su repotenciación.

1.2.1. Antecedentes

El sistema de alcantarillado de la parroquia de Nono se encuentra en funcionamiento desde hace aproximadamente 25 años. La red está conformada en su mayor parte por tuberías de hormigón, las cuales, bajo condiciones normales de operación, presentan una vida útil estimada de hasta 100 años, de acuerdo con estándares técnicos aplicables a sistemas de saneamiento (Ameritex Pipe & Products, 2022).

Sin embargo, durante la etapa de construcción del sistema no se consideraron criterios hidráulicos, tales como el cálculo de caudales pluviales, la proyección del crecimiento poblacional ni la ubicación estratégica de los pozos de inspección. Adicionalmente, a lo largo de su vida útil no se han ejecutado de forma periódica procesos de limpieza y mantenimiento preventivo, lo que ha favorecido el deterioro interno de las tuberías y ha reducido su capacidad operativa.

1.2.2. Importancia y alcance

De acuerdo con el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Nono (2025) el periodo lluvioso se extiende de diciembre a mayo, alcanzando su punto más crítico en los primeros meses del año.

Las precipitaciones elevadas provocan desbordamientos del sistema en la salida del agua por la tapa de los pozos, generando condiciones insalubres, pues dicho sistema de evacuación aloja partículas sólidas y material fecal. En este contexto, el sistema sufre obstrucciones y pérdidas de capacidad hidráulica que, junto al desgaste de componentes y la falta de mantenimiento oportuno, aumentan la probabilidad de fallos en la red y/o el colapso de este.

En conjunto, esta dinámica representa un peligro directo y multifacético para la salud pública, el ambiente urbano y la infraestructura local.

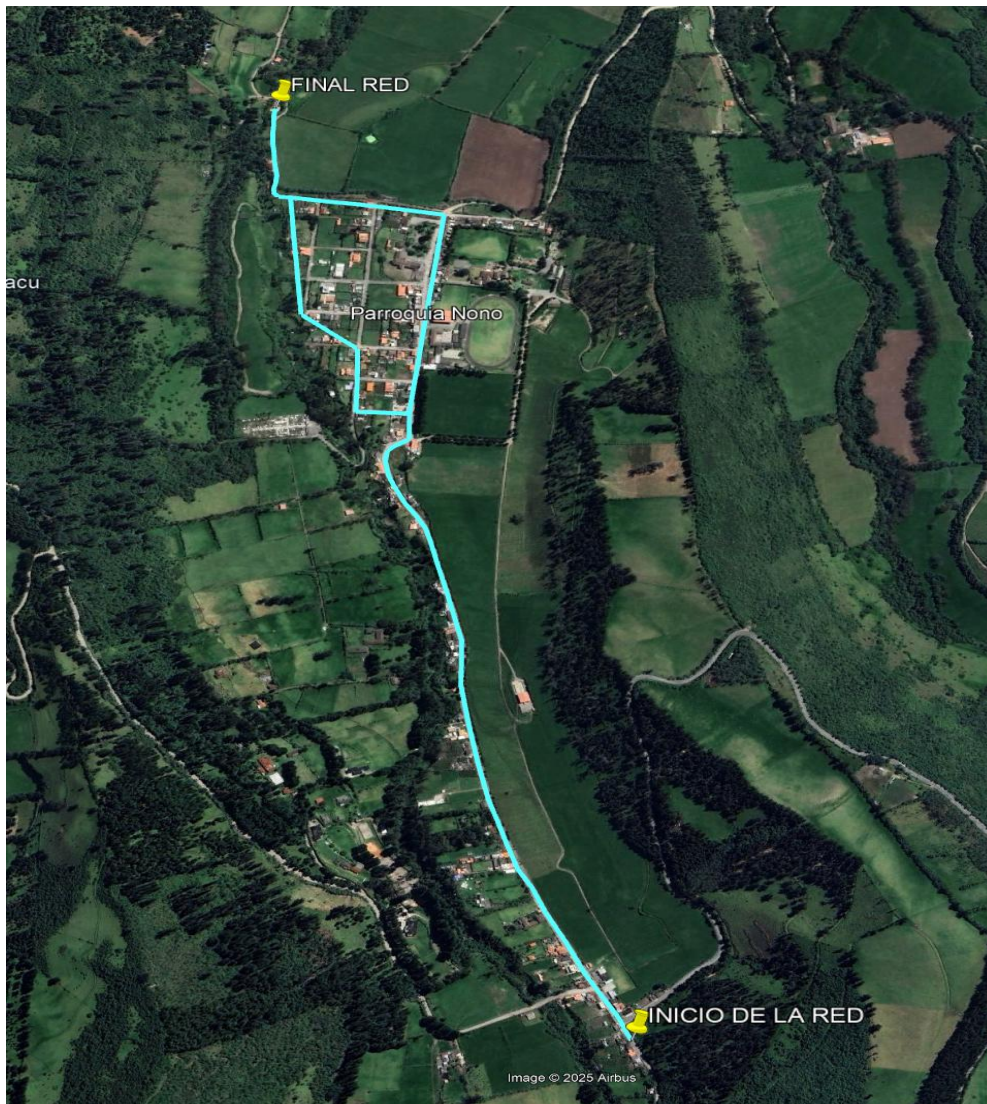
El área urbana de la parroquia de Nono, donde opera un sistema de alcantarillado combinado, es el objetivo principal de este estudio, para evaluar su estado actual y proponer un nuevo diseño que optimice la infraestructura, considerando el área de contribución a la red y la población local; en este contexto, se analizará el estado de los pozos y colectores mediante un levantamiento catastral detallado de la infraestructura existente. Además, a partir de la topografía de la zona se elaborará planimetría y perfiles longitudinales para comprender mejor el funcionamiento y los problemas de la red; de esta manera, con estos datos y el uso de software especializado (SewerGEMS y Civil 3D), se estudiarán diferentes alternativas para proponer un nuevo sistema de alcantarillado para la zona urbana de la parroquia de Nono.

1.2.3.Delimitación

El estudio se limitará al área urbana de la parroquia de Nono. Dicho proyecto se enfocará en la red de colectores y pozos existentes comenzando en el pozo de cabecera ubicado en la entrada de la parroquia desde la vía Nono-Quito (coordenadas iniciales: Zona 17 M, Abscisa Este 770170.00 m, Norte 9991193.00 m) cruzando todo el sector más poblado del centro urbano que incluye el barrio central y sus vías adyacentes hasta concluir en el punto de restitución a la planta de tratamiento en la vía San Martín (coordenadas finales: Zona 17 M, Abscisa Este 769436.00 m E, Norte 9993030.00 m S).

Figura 1

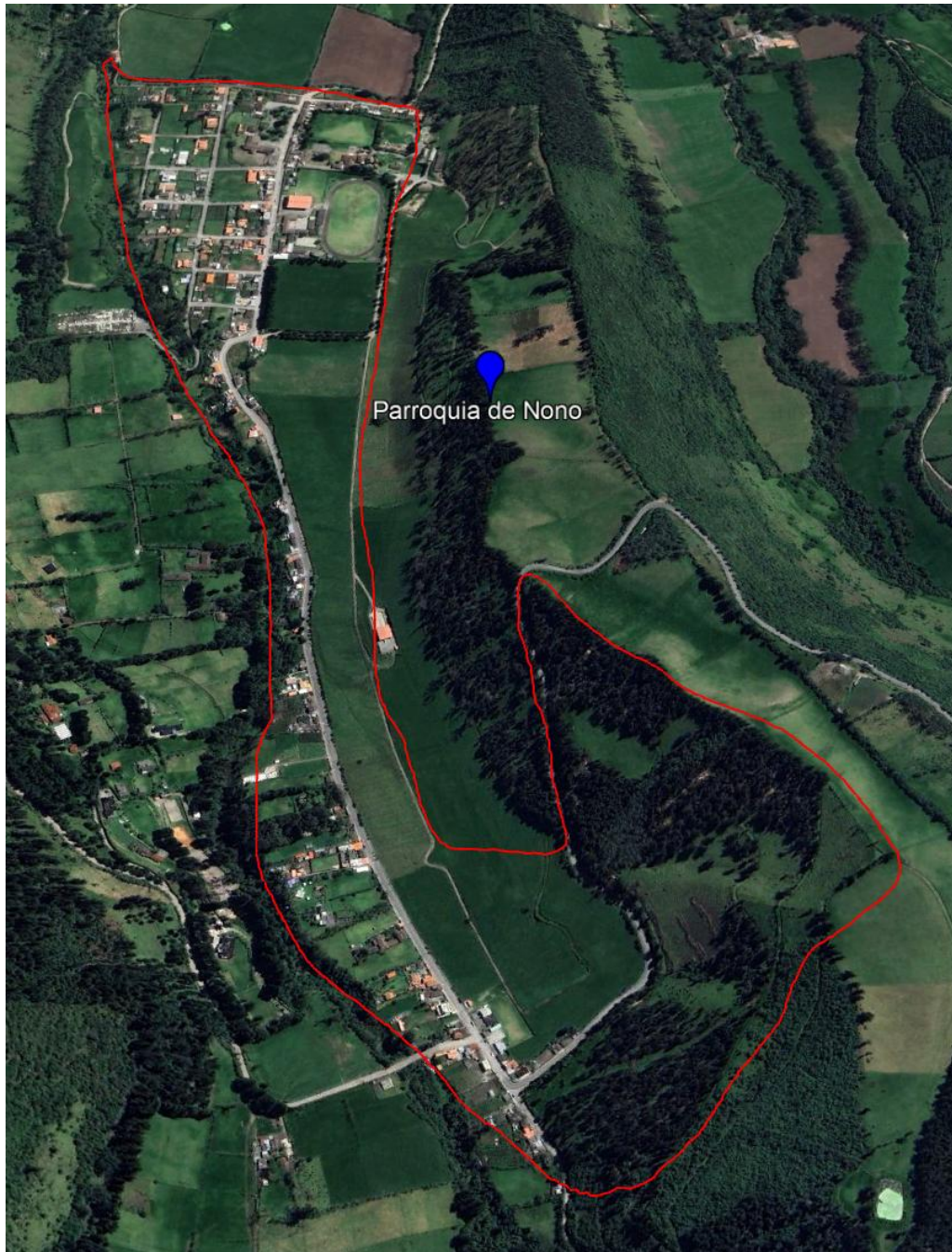
Mapa del sistema de alcantarillado.



Nota. La línea azul delimita el trazado del sistema del alcantarillado combinado con una extensión de 3.6 km. Elaborado por: El autor a través de Google Earth Pro.

Figura 2

Mapa del área de aportación a la red.



Nota. La línea roja delimita el trazado del área de aportación, con una extensión de 47 ha.
Elaborado por: El autor a través de Google Earth Pro.

1.3. Justificación

Este estudio reviste una importancia para el GAD parroquial de Nono, sus habitantes y visitantes, al abordar una problemática que compromete la calidad de vida en el sector; por lo tanto, se justifica por la necesidad de evaluar y diagnosticar el sistema existente mediante los conocimientos de Ingeniería Civil, así como de buscar alternativas para formular un nuevo diseño que optimice su funcionamiento, salvaguardando la salud pública, preservando el entorno natural y fomentando un desarrollo urbano ordenado y seguro.

Los principales beneficiarios serán los residentes del lugar, quienes obtendrán mejores condiciones sanitarias e infraestructurales, y el turismo, pilar económico de la parroquia, que se fortalecerá con un entorno más limpio y seguro.

En cuanto a la factibilidad, el proyecto cuenta con recursos técnicos, humanos y académicos necesarios para desarrollar el catastro y análisis hidráulico del sistema, asegurando un diagnóstico preciso del estado actual y una propuesta de rediseño viable y sustentable.

El alcance del proyecto comprende el diagnóstico técnico del sistema de alcantarillado combinado de Nono, la evaluación hidráulica, la elaboración de un nuevo diseño optimizado que mejore su eficiencia operativa con un periodo de diseño de 30 años. De esta manera se contará con sustentos técnicos para intervenciones futuras del GAD parroquial, contribuyendo al bienestar y desarrollo sostenible de Nono.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Rediseñar el sistema de alcantarillado combinado de la zona central de la parroquia de Nono, provincia de Pichincha, mediante levantamiento catastral, topográfico y modelación computacional, considerando su capacidad hidráulica y estado actual, para la presentación de una propuesta de solución conforme a la normativa vigente.

1.4.2. Objetivos específicos

Realizar el levantamiento topográfico y catastral de la red de alcantarillado combinado de la zona central de Nono, utilizando equipos especializados, métodos precisos y visitas técnicas, con el fin que se obtengan datos geométricos, espaciales y estructurales que describan el estado actual del sistema y su entorno.

Calcular los caudales sanitarios (domésticos e infiltración) en el sistema de alcantarillado combinado, considerando el crecimiento poblacional proyectado con los datos del último censo nacional, evaluando así el impacto en la capacidad de la red.

Definir los caudales pluviales en el sistema de alcantarillado combinado, mediante el análisis hidrológico de registros pluviométricos y la estimación basada en periodos de retorno, evaluando la contribución al flujo total y su efecto en la capacidad de la infraestructura.

Analizar la respuesta hidráulica del sistema de alcantarillado combinado existente mediante modelación numérica, simulando escenarios con caudales combinados, analizando su capacidad y estado actual

Estructurar alternativas de solución para el sistema de alcantarillado combinado, mediante la integración de datos del levantamiento catastral, la modelación hidráulica y la evaluación técnica, seleccionando y representando en planos la mejor propuesta de diseño de acuerdo con la normativa vigente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Alcantarillado

Los sistemas de alcantarillado están diseñados para recolección, conducción y disposición final de las aguas residuales generadas por actividades humanas, así como las provenientes de lluvias (Mina & Vásquez, 2016). Su objetivo principal es recoger y transportar de forma segura las aguas residuales provenientes de usos domésticos, comerciales e industriales, con el fin de minimizar los impactos ambientales y reducir los riesgos para la salud pública. Debido a que estos sistemas gestionan aguas contaminadas, es necesario definir su correcto funcionamiento mediante inspecciones y mantenimientos periódicos (Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS), 2023).

2.2. Tipos de alcantarillado

Existen diversos tipos de sistemas de alcantarillado, entre los cuales destacan los convencionales, que incluyen:

2.2.1. Alcantarillado separado

Este sistema está diseñado para separar las aguas residuales de las aguas pluviales, gestionando cada tipo de manera independiente (Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2019).

2.2.2. Alcantarillado sanitario

Su función principal es la recolección exclusiva de aguas residuales generadas por actividades domésticas, comerciales e industriales (Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2019).

2.2.3. Alcantarillado pluvial

Está destinado a la evacuación de las aguas pluviales, es decir, el agua que proviene de la escorrentía superficial debido a las lluvias (Comisión Nacional del Agua, 2019).

$$V = \frac{1}{n} R h^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

V: Velocidad media del flujo (m/s).

n: Coeficiente de rugosidad de Manning, (adimensional).

Rh: Radio hidráulico, área mojada dividida por el perímetro mojado (m).

S: Pendiente hidráulica o de energía (m/m).

Para conductos circulares, como los comúnmente empleados en redes de alcantarillado, la ecuación se adapta considerando el diámetro y el llenado parcial o total. En condiciones de flujo lleno, el radio hidráulico se calcula como $Rh=D/4$, donde D es el diámetro interno del tubo. El caudal Q se obtiene multiplicando la velocidad por el área de la sección transversal:

$$Q = AxV = \frac{1}{n} x R h^{2/3} x S^{1/2}$$

El coeficiente n varía según el material y el estado de conservación del conducto. Por ejemplo:

Para tuberías de concreto: $n=0.012-0.015$

Para PVC o polietileno: $n=0.009-0.011$

Para hierro fundido: $n=0.013-0.015$

Estos valores se ajustan de acuerdo con normativas locales, como la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 5 Parte 4 (INEN, 2015), que recomienda rangos específicos para diseños en Ecuador. La ecuación de Manning es particularmente útil en la evaluación de sistemas combinados, ya que permite simular escenarios de flujo sanitario y pluvial, identificando velocidades mínimas para evitar sedimentación (generalmente 0.6 m/s) y máximas para prevenir erosión (hasta 3.0 m/s) (Chow, 1959; French, 2007).

2.4. Componentes del sistema de alcantarillado sanitario

Un sistema de alcantarillado sanitario está formado por varios componentes fundamentales que aseguran una correcta recolección, conducción y gestión de las aguas residuales, aportando a la defensa de la salud pública y del medio ambiente. Seguidamente, se detallan los elementos fundamentales:

2.4.1. Acometidas:

Componentes que vinculan las aguas residuales producidas en viviendas, edificios o locales comerciales con el sistema público de alcantarillado, posibilitando así su incorporación al sistema global (Comisión Nacional del Agua, 2019).

2.4.2. Alcantarillas:

Conductos subterráneos ubicados bajo las vías urbanas que canalizan las aguas residuales hacia los colectores, optimizando el flujo en entornos urbanos (Comisión Nacional del Agua, 2019).

2.4.3. Colectores:

Tuberías de mayor diámetro que recogen las aguas que vienen de las alcantarillas y las llevan a los sistemas de tratamiento o a colectores principales (Comisión Nacional del Agua, 2019).

2.4.4. Aliviaderos:

Estructuras diseñadas para retener temporalmente el exceso de agua, especialmente durante lluvias intensas, previniendo inundaciones y desbordamientos en el sistema (Comisión Nacional del Agua, 2019).

2.4.5. Emisarios interceptores:

Componentes que transportan las aguas residuales recolectadas por los colectores hacia plantas de tratamiento o, en algunos casos, hacia puntos de descarga controlada en el medio natural.

Estos elementos operan de forma integrada con el objetivo de garantizar una gestión eficaz y sostenible de las aguas residuales, reduciendo al mínimo los efectos sobre la salud pública y el medio ambiente (Rodríguez & López, 2025).

2.5. Distancia entre pozos

La distancia entre los pozos de revisión es un factor clave en el diseño de los sistemas de alcantarillado ya que garantiza que las tuberías puedan ser inspeccionadas limpiadas y mantenidas adecuadamente asegurando un funcionamiento eficiente y prolongado del sistema. Según lo estipulado en el Código Ecuatoriano de la Construcción (CPE-INEN-5 1992) y las Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de la EMAAP-Q (2009) la distancia máxima entre pozos no debe exceder los 100 metros en línea recta. Sin embargo, en tuberías con diámetros menores a 200 mm esta distancia puede reducirse hasta los 60 metros mientras que en tramos con gran pendiente o cambios de alineación se recomienda emplear distancias más cortas para facilitar la maniobra de equipos de limpieza especializados.

2.6. Catastro

Para que los sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario funcionen y se mantengan con eficacia, es fundamental el catastro técnico de redes. Este procedimiento posibilita el registro exacto de la localización y las propiedades técnicas de los componentes del sistema. Esto simplifica el diagnóstico de inconvenientes como pérdidas físicas o fallas en el alcantarillado combinado y sanitario, además de respaldar la toma de decisiones para optimizarlo (Delgado, 2025).

2.7. Topografía

La topografía es la disciplina que investiga las maneras de establecer las ubicaciones que tienen que ver con puntos por encima o debajo de la superficie terrestre, incorporando mediciones de distancia, dirección y elevación en un entorno tridimensional. Esta disciplina es fundamental para la producción de datos, exactos que respalden la creación, el desarrollo y el

mantenimiento de infraestructuras como los sistemas de alcantarillado sanitario (Lliguin & Tinoco, 2022)

Los levantamientos topográficos ofrecen información importante, como las curvas de nivel. En el contexto del catastro de redes, la topografía asegura el posicionamiento exacto de los pozos y otros elementos del sistema.

2.8. Modelado numérico

Utilizando metodologías avanzadas de hidráulica e hidrología, se ha empleado software especializado de análisis hidráulico para el diseño, evaluación y optimización de sistemas de alcantarillado sanitario, pluvial y combinado. Estos programas permiten la simulación y gestión eficiente de redes de alcantarillado asegurando que funcionen correctamente bajo diversas condiciones operativas. (Bentley Systems, 2024) Las funciones principales del software son el análisis hidráulico y de flujo, la optimización del diseño y la evaluación de capacidad y rendimiento.

2.9. Bases de diseño

Los fundamentos de diseño son los criterios clave que guían el desarrollo, la evaluación y la optimización de un sistema de alcantarillado combinado. Estos principios aseguran la eficiencia, la sostenibilidad y el cumplimiento de las normativas técnicas aplicables. Entre estas se encuentran las Normas de Diseño para Sistemas de Alcantarillado de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS, 2009) y el Código Ecuatoriano de la Construcción (INEN, 1992).

2.10. Población de diseño

La población de diseño es un elemento fundamental para determinar las dimensiones de un sistema de alcantarillado, definiendo la carga hidráulica que la red debe soportar, asegurando su capacidad para gestionar flujos combinados de aguas residuales y pluviales. Este cálculo se fundamenta en la población actual y su proyección a futuro para el horizonte de diseño debido

a que la parroquia de Nono presenta una tasa de crecimiento del 2,19% anual y un incremento acumulado del 24,23% en la última década (INEC, 2022).

En el presente estudio se emplean los métodos geométrico, aritmético y exponencial, de conformidad con lo establecido con el RAS-2000.

2.10.1. Método geométrico

El método geométrico es aplicable a poblaciones que presentan un crecimiento sostenido asociado a una actividad económica relevante y a procesos de expansión urbana. Este tipo de poblaciones generalmente dispone de áreas aptas para su desarrollo, las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores restricciones técnicas, lo que justifica el uso de este método para la proyección poblacional (RAS – 2000, noviembre de 2000, Título B, p.30).

La población futura se determina mediante la siguiente expresión matemática:

$$Pf = Pa * (1 + r)^n$$

Donde:

Pf: proyección futura o proyectada

Pa: población actual o inicial

r: tasa de crecimiento geométrico de la población, expresada en forma decimal

n: periodo de diseño considerado para la proyección (años)

Este método asume que la población crece de manera proporcional en cada periodo, lo que permite representar de forma adecuada escenarios de crecimiento continuo a mediano y largo plazo.

2.10.2. Método aritmético

El método aritmético se fundamenta en el supuesto de un crecimiento poblacional constante a lo largo del tiempo. En este enfoque se considera que el crecimiento vegetativo se mantiene en equilibrio con factores como la mortalidad y los procesos migratorios, dando como

resultados incrementos absolutos similares en cada periodo analizado. (RAS – 2000, noviembre de 2000, Titulo B, p.30).

La población futura se estima mediante la siguiente expresión:

$$Pf = Pa + ka * n$$

Donde:

Pf: proyección futura o proyectada

Pa: población actual o inicial

ka: tasa de crecimiento aritmético

n: periodo de diseño (años)

La tasa de crecimiento aritmético representa el crecimiento promedio de población por unidad de tiempo, calculado a través de datos censales, y es utilizada para proyectar la población bajo un comportamiento demográfico lineal.

2.10.3.Método exponencial

El método exponencial requiere la disponibilidad de información proveniente de al menos tres censos poblacionales, lo que permite obtener un valor promedio estadísticamente representativo de la tasa de crecimiento.

Este método es recomendado para poblaciones que presentan un desarrollo significativo y amplias posibilidades de expansión territorial, ya que considera un crecimiento no lineal, más acorde con dinámicas demográficas complejas. (RAS – 2000, noviembre de 2000, Titulo B, p.30).

La población futura se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Pf = Pa * e^{k(ni)}$$

Donde:

Pf: población futura

Pa: población actual

k: tasa de crecimiento geométrica promedio de la población

n: periodo de diseño (años)

2.11. Área de aporte o tributaria

Se conoce como área tributaria o de aporte al agregado de superficies que aportan aguas residuales y pluviales a cada segmento del sistema de alcantarillado. Estas áreas se establecen al dividir el área total del proyecto en subáreas, con el fin de repartir equitativamente los caudales pluviales y sanitarios según las particularidades de cada sección de tubería. La zonificación se realiza considerando la topografía del terreno, los usos del suelo (residencial, comercial, industrial, institucional y público) y las proyecciones de desarrollo urbano definidas en el PDOT de Nono 2020-2024. En el caso de Nono, con un área urbana de 17 hectáreas aproximadamente, se deben incluir las zonas de expansión futura para garantizar un diseño sostenible (Comisión Nacional del Agua, 2019)

2.12. Aportación caudal residual (Qs)

Las aguas residuales provienen de las actividades o procesos realizados por los seres humanos, industrias que necesitan ser desaguadas a través de la red de alcantarillado. En Nono, estas aguas provienen de diversas fuentes, cada una con características específicas:

2.12.1. Caudal doméstico

Se trata de las aguas producidas por actividades diarias en los hogares, como el aseo personal, la preparación de alimentos y el lavado de ropa. En Nono, donde la población es de aproximadamente 3,000 habitantes en el área urbana (INEC, 2022), estas aguas representan el principal aporte al sistema de alcantarillado sanitario, con una dotación promedio de 100-170 l/hab/día según normativas locales (Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, 2023).

El caudal medio diario de aguas servidas domesticas se determina en función de la dotación de agua potable adoptada, el número de habitantes proyectados y el consumo diario por persona. Este parámetro permite estimar el volumen promedio de aguas residuales generadas diariamente por la población servida, constituyéndose en un elemento fundamental para el diseño del sistema.

$$Qas = \frac{Dot * Hab}{86400}$$

Donde:

Qas: Caudal de aguas servidas domesticas [L/s].

Hab: Habitantes [hab].

Dotación: Dotación [L/hab/día].

2.12.1. Caudal comercial

Provenientes de actividades en restaurantes, hostales y pequeños comercios, estas aguas son relevantes en Nono debido a su creciente actividad turística, especialmente en el centro urbano. Estas aguas pueden incluir grasas y otros contaminantes que requieren un manejo adecuado para evitar obstrucciones.

2.12.2. Caudal industrial

Aunque menos comunes en Nono, dado su carácter predominantemente rural, las aguas industriales pueden incluir efluentes de pequeñas actividades agroindustriales o talleres. Estas aguas suelen tener una carga contaminante más alta, requiriendo un diseño robusto del sistema para su manejo.

2.12.3. Caudal de infiltración

La infiltración ocurre cuando aguas subterráneas ingresan al sistema a través de fisuras, juntas defectuosas o pozos no impermeables. En Nono, la topografía irregular y la presencia de

suelos altamente permeables incrementan este aporte, afectando la capacidad hidráulica del sistema.

En los sistemas de alcantarillado sanitario es inevitable la presencia de infiltraciones de aguas subsuperficiales, principalmente de origen freático. Estas infiltraciones se producen a través de fisuras en las tuberías, uniones mal ejecutadas, conexiones con pozos de inspección y otras estructuras que no presentan una impermeabilización adecuada. (EMAAP-Q, 2009).

La magnitud de este aporte depende del nivel de complejidad del sistema y de las condiciones constructivas de la red.

Tabla 1
Parámetros de caudal de infiltración según la complejidad del sistema.

Nivel de complejidad del sistema	Infiltración alta (l/s-ha)	Infiltración media (l/s-ha)	Infiltración baja (l/s-ha)
Bajo y medio	0.1-0.3	0.1-0.3	0.05-0.2
Medio alto y alto	0.15-0.4	0.1-0.3	0.05-0.2

Nota. Se presenta los coeficientes para los caudales de infiltración. Fuente: Normas EMAAP-Q (2009).

2.12.1. Caudal de conexiones Ilícitas/Erradas

Las conexiones erradas, como el ingreso de aguas pluviales a la red sanitaria debido a instalaciones inadecuadas, son un problema significativo en Nono. Estas conexiones sobrecargan el sistema, especialmente durante las lluvias intensas de abril, con precipitaciones de hasta 152 mm en 24 horas, según el PDOT Nono (2020-2024).

Las conexiones erradas corresponden a los aportes de agua que ingresan al sistema de alcantarillado sanitario debido a conexiones inadecuadas de bajantes de techos, patio u otras superficies que deberían evacuar aguas lluvias por un sistema independiente. Estos aportes están directamente relacionados con la calidad del control de las conexiones domiciliarias y con la disponibilidad de sistemas adecuados de drenaje pluvial. (EMAAP-Q, 2009).

Los coeficientes máximos de aporte por conexiones erradas se encuentran definidos según lo expuesto en la Tabla 2.

Tabla 2

Aportes máximos por conexiones erradas.

Aportes máximos por conexiones erradas con sistema pluvial	
Nivel de complejidad del sistema	Aporte (l/s/ha)
Bajo y medio	0.2-2
Medio alto y alto	0.1-1

Nota. Los aportes máximos representan caudales adicionales generados por conexiones erradas al sistema pluvial. Fuente: Normas EMAAP-Q (2009).

2.13. Aportación caudal agua lluvia

2.13.1. Flujo caudal pluvial (Q_p)

Haciendo uso del método racional, el cual es aplicable para cuencas menores o iguales a 200 hectáreas con características hidrológicas simples según la normativa EMAAP-Q (2009), se establece lo siguiente.

$$Q_p = \frac{C * I * A}{360}$$

Donde:

Q_p = Caudal pluvial (L/s)

C= Coeficiente de escorrentía

A= Área residencial bruta de drenaje (Ha)

D= Intensidad de lluvia (mm/h)

2.13.2. Factor de escorrentía

Este factor agrupa variables como condiciones meteorológicas, permeabilidad del suelo y usos del terreno. Para obtener precisión, se sugieren valores mínimos en función del tipo de superficie y pendiente del terreno. Con base en ello, se consideraron los valores establecidos en la Tabla 3 tomando en cuenta nuestro periodo de retorno de evaluación de 5 años.

Tabla 3

Coefficiente de escorrentía según cobertura, uso de suelo y pendiente.

Descripción del área	Periodo de retorno (Años)		
	2	5	10
Asfáltico	0,73	0,77	0,81
Concreto/techo	0,75	0,80	0,83
Zonas verdes (jardines, parques, etc) cubierta de pasto el 50%			
Plano 0-2%	0,32	0,34	0,37
Promedio 2-7%	0,37	0,40	0,43
Pendiente superior a 7%	0,40	0,43	0,45
Zonas verdes (jardines, parques, etc) cubierta de pasto el 50% al 75% del área			
Plano 0-2%	0,25	0,28	0,30
Promedio 2-7%	0,33	0,36	0,38
Pendiente superior a 7%	0,37	0,40	0,42
Zonas verdes (jardines, parques, etc) cubierta de pasto mayor al 75% del área			
Plano 0-2%	0,21	0,23	0,25
Promedio 2-7%	0,29	0,32	0,35
Pendiente superior a 7%	0,34	0,37	0,40
Áreas de cultivo			
Plano 0-2%	0,31	0,34	0,36
Promedio 2-7%	0,35	0,36	0,38
Pendiente superior a 7%	0,39	0,42	0,44
Pastizales			
Plano 0-2%	0,25	0,28	0,30
Promedio 2-7%	0,33	0,36	0,38
Pendiente superior a 7%	0,37	0,40	0,42
Bosques			
Plano 0-2%	0,22	0,25	0,28
Promedio 2-7%	0,31	0,34	0,36
Pendiente superior a 7%	0,35	0,39	0,41

Nota. Valores usados para determinar un coeficiente de escorrentía según las características de la superficie. Fuente: Norma EMAAP-Q (2009).

Para el caso del presente estudio, fue necesario determinar un coeficiente de escorrentía ponderado, debido a la presencia de diferentes áreas que contribuyen al sistema pluvial, entre las que se incluyen las zonas verdes, las vías (calles principales, transversales y pasajes) y las áreas de viviendas. Y para esto se emplea la fórmula descrita a continuación.

$$C_{ponderado} = \frac{\sum(C_i.A_i)}{\sum A_i}$$

Donde:

C_i: Coeficiente de escorrentía

A_i: Área del terreno [Ha]

Estas superficies de aporte se encuentran distribuidas y representadas en el plano presentado en el ANEXO 1

2.13.3. Intensidad de lluvia

La intensidad de lluvia se define como el espesor de la lámina de agua precipitada por unidad de tiempo determinado y se expresa comúnmente en milímetros por hora (mm/h). Esta magnitud es fundamental en el análisis hidrológico y en el diseño de sistemas de drenaje, ya que permite caracterizar la severidad con la que ocurren las precipitaciones en un área determinada y, en consecuencia, estimar caudales de escorrentía para obras civiles como alcantarillado pluvial, drenajes urbanos y estructuras de control de inundaciones.

Para estudios hidrológicos en Ecuador, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) ha desarrollado relaciones entre intensidad, duración y frecuencia (IDF) basadas en datos pluviométricos observados en estaciones distribuidas en distintas regiones del país. Estas ecuaciones permiten determinar la intensidad de lluvia asociada a un periodo de retorno (TR) específico y una duración de precipitación dada, lo cual es esencial para el diseño de obras hidráulicas que deben responder a eventos de lluvia extremos con cierta probabilidad de ocurrencia.

2.14. Caudal de diseño

En este caso, el caudal de diseño del alcantarillado combinado será la suma de las contribuciones de aguas lluvias y aguas residuales.

$$Qd = Qs + Qp$$

Donde:

Qd = Caudal de diseño (L/s) / (m³/s)

Qs = Caudal sanitario (L/s) / (m³/s)

Qp = Caudal pluvial (L/s) / (m³/s)

2.15. Caudal medio diario (QmD)

Si se trata de un proyecto que busca ampliar o modificar servicios de alcantarillado sanitario ya existentes, y si hay registros fiables de caudales durante al menos los últimos 12 meses seguidos, la descarga media diaria medida será igual al caudal medio diario correspondiente a cada año registrado. (EMAAP-Q, 2009)

El caudal medio diario se determina a partir de caudal de aguas domésticas, al cual se le aplica un coeficiente de retorno. Este coeficiente representa la fracción del agua potable consumida que retorna al sistema en forma de aguas residuales. (EMAAP-Q, 2009).

Los rangos del coeficiente de retorno dependen del nivel de complejidad del sistema y se encuentran especificados en la Tabla 4 mostrada a continuación.

Tabla 4

Coeficientes de retorno en aguas servidas domésticas.

Coeficientes de retorno en aguas servidas domésticas	
Nivel de complejidad del sistema	Coeficientes de retorno
Bajo y medio	0.7-0.8
Medio alto y alto	0.8-0.85

Nota. Los coeficientes de retorno indican la proporción de aguas servidas domesticas que retorna al sistema de alcantarillado. Fuente: Normas EMAAP-Q (2009).

Una vez seleccionado el coeficiente de retorno, se aplica la fórmula mostrada a continuación para obtener el valor de caudal medio diario. El coeficiente seleccionado fue 0.8 tanto para la evaluación como para el rediseño.

$$Q_{med} = Q_{dom} * R$$

Donde:

Q_{med} : Caudal medio diario domestico

Q_{dom} : Caudal de aguas domésticas

R: Coeficiente de retorno

2.16 Caudal máximo horario

El caudal máximo horario corresponde al mayor consumo registrado durante una hora dentro de un periodo anual, sin considerar el caudal de incendios. Este parámetro se obtiene a partir del caudal medio diario, multiplicado por un coeficiente de mayoración, el cual toma en cuenta la simultaneidad en el uso de los aparatos sanitarios (RAS-2000).

$$Q_{MH} = Q_{med} * M$$

Donde:

Q_{MH} : Caudal máximo horario [L/s]

Q_{med} : Caudal medio horario [L/s]

M: Coeficiente de mayoración

Según lo expuesto en la EMAAP-Q para el cálculo del coeficiente de mayoración

Tabla 5

Coeficiente de mayoración y minoración según la EMAAP-Q, 2009.

Coeficientes de mayoración		Coeficientes de minoración	
1,1<K1<1,4		0,6<B1<0,8	
	1,43<K1<2,66		0,30<B1<0,56
1,3<K1<1,9		0,5<B1<0,7	

Nota. Tabla de coeficientes de mayoración y minoración para la determinación del caudal máximo horario de aguas residuales. Fuente: Normas EMAAP-Q (2009).

2.16. Dotación

La dotación se refiere al volumen de agua asignado por persona diariamente. Este valor es fundamental para determinar el caudal de aguas residuales que fluirá hacia el sistema de alcantarillado. Los valores normativos de dotación futura se presentan en la Tabla 6, donde se consideran el clima y el número de habitantes.

Tabla 6

Parámetros de dotación media futura.

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

Nota: La dotación se establece considerando las condiciones climáticas y el tamaño de la población. Fuente: SSA. Normas para el estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales (1993).

2.17. Hidrología

La hidrología desempeña un papel crucial en este proyecto, ya que permite diseñar y gestionar sistemas hidráulicos mediante el uso de modelación numérica. Entre las aplicaciones principales de la hidrología se encuentran:

Llevar a cabo estudios de planificación para prevenir inundaciones y delimitar zonas de riesgo.

Determinar el volumen de escorrentía superficial.

Controlar el caudal en función de los cambios en el uso del suelo.

Diseñar infraestructura hidráulica, empleando modelos matemáticos que simulen el comportamiento hidrológico de la cuenca estudiada.

Entender de manera precisa el comportamiento hidrológico de ríos, arroyos o lagos resulta esencial para identificar áreas vulnerables a fenómenos hidrometeorológicos extremos (Torres, 2017).

2.18. Caudal combinado

El sistema de alcantarillado construido en la parroquia de Nono en el año 2001 corresponde a un sistema combinado, el cual recibe tanto aportes sanitarios como pluviales. Este sistema dispone una descarga principal hacia el PTAR de Nono y posteriormente al Río Pichán.

2.19. Hidráulica de las redes de recolección

2.19.1. Flujo en condiciones llenas

Se definieron los parámetros necesarios para el análisis del flujo en conductos circulares bajo condiciones de llenado completo, los cuales se detallan a continuación

- Área mojada (A_o):

$$A_o = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

- Perímetro mojado (P_o):

$$P_o = \pi \cdot D$$

- Radio hidráulico (R_o):

$$R_o = \frac{A_o}{P_o} = \frac{D}{4}$$

Para el cálculo de la velocidad y el caudal se utilizó la ecuación de Manning, la cual considera la rugosidad del material del conducto.

$$V_o = \frac{1}{n} \cdot R_o^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

Donde:

Vo: Velocidad del flujo en condición de conducto lleno (m/s)

n: Coeficiente de rugosidad de Manning

Ro: Radio hidráulico del conducto

S: Pendiente hidráulica del conducto

La selección del coeficiente “n” de Manning está en función del material de la tubería del sistema. Dichos valores se representan en la siguiente tabla.

Tabla 7

Coeficiente "n" de rugosidad de Manning.

Material de revestimiento	Coeficiente “n”
Tuberías de PVC/PEAD/PRFV	0.011
Tuberías de hormigón (con buen acabado)	0.013
Tuberías de hormigón con acabado regular	0.014
Mampostería de piedra juntas con mortero de cemento	0.02
Mampostería de piedra partida acomodada (sin juntas)	0.032
Ladrillo juntas con mortero de cemento	0.015
Tierra (trazo recto y uniforme) sin vegetación.	0.025

Nota. Distintos coeficientes para materiales para usar en la evaluación y rediseño. Fuente: Normas EMAAP-Q (2009).

Con base en la ecuación de Manning, se determinó el caudal a conducto lleno (QLL)

$$Q_{LL} = V_o * \frac{\pi x D^2}{4}$$

Donde:

Qo= caudal correspondiente al flujo en sección completamente llena [m³/s]

D: diámetro interno de la tubería [m]

Vo: Velocidad en condiciones llenas[m/s]

2.19.2. Flujo en condiciones parcialmente llenas

Un conducto circular opera en condiciones parcialmente llenas cuando transporta un caudal menor al que puede conducir en la tubería completamente llena.

Las fórmulas para utilizar en el cálculo en las secciones parcialmente llenas son:

- Ángulo central mojado (θ):

$$\theta = 2 * \cos^{-1}\left(1 - \frac{2y}{D}\right)$$

- Área mojada (A_o):

$$A_o = \frac{D^2}{4} * (\theta - \sin \theta)$$

- Perímetro mojado (P_o):

$$P_o = \frac{D}{4} * \theta$$

- Radio hidráulico (R_o):

$$R_o = \frac{A_o}{P_o}$$

2.19.3. Relación Q/Q_o

La relación hidráulica Q/Q_o corresponde al cociente entre el caudal que circula por un tramo de tubería en condiciones normales (Q) y el caudal que dicho tramo es capaz de conducir con sección llena (Q_o).

Resultados de esta relación cercanos a la unidad indican que la tubería opera próxima a su capacidad máxima, mientras que valores superiores a los límites establecidos evidencian posibles problemas de sobrecarga y riesgo de colapso hidráulico, a continuación, se muestra la fórmula que se obtiene de la relación con las fórmulas antes expuestas.

$$\frac{Qd}{Q_{LL}} = \frac{A}{A_{LL}} * \frac{V}{V_{LL}} = \frac{1}{2*\pi} * (\theta - \sin\theta) * \left(\frac{\theta - \sin\theta}{\theta}\right)^{2/3}$$

2.19.4.Relación: V/V_o , y/D , R/R_o , HD

Un sistema de alcantarillado opera predominantemente en sección parcial, por lo que es necesario determinar las relaciones hidráulicas que permitan analizar su comportamiento. Para este análisis se emplean las propiedades hidráulicas de la sección circular, las cuales vinculan las condiciones de flujo a sección llena y parcialmente llena y se obtienen a partir de la geometría del segmento circular y de la ecuación de Manning.

- Relación velocidad a partir de Manning:

$$\frac{V}{V_{LL}} = \left(\frac{\theta - \sin\theta}{\theta} \right)^{2/3}$$

- Relación área:

$$\frac{A}{A_{LL}} = \frac{\theta - \sin\theta}{2 * \pi}$$

- Relación de radio hidráulico:

$$\frac{R}{R_{LL}} = \frac{\theta - \sin\theta}{\theta}$$

2.19.5.Velocidad

2.19.5.1.Velocidad máxima

La velocidad máxima permitida según el material de la tubería se especifica en la siguiente tabla.

Tabla 8*Velocidades máximas admisibles por material de la tubería.*

Material de la tubería	Velocidad máxima (m/seg)
Tuberías de Hormigón simple hasta 60 cm. de diámetro	4.5
Tuberías de Hormigón armado hasta 60 cm. de diámetro o mayores.	6
Hormigón armado en obras para grandes conducciones 210/240 kg/cm ² . Grandes conducciones	6.0 – 6.5
Hormigón armado en obra 280/350 kg/cm ² . Grandes conducciones	7.0 – 7.5
PEAD, PVC, PRFV	7.5
Acero	9.0 ó mayor
Hierro dúctil o fundido a ser utilizado en rápidas y/o tramos cortos	9.0 ó mayor

Nota. Las velocidades referenciales para concreto será 6m/s. Fuente: Normas EMAAP-Q (2009).

2.20. Pendiente

Con base en las cotas de proyecto inicial y final, así como en la longitud de la tubería, obtenida a partir del estudio catastral, se calculó la pendiente correspondiente a cada tramo mediante la siguiente ecuación.

$$S\% = \frac{\text{Cota de terreno inicial} - \text{Cota de terreno final}}{\text{Longitud}} \times 100$$

2.20.1. Creación del modelo numérico

La modelación hidráulica del sistema de alcantarillado combinado se realizará con el programa SewerGems, que permite representar el comportamiento de la red en condiciones reales y proyectadas. Para ello, se construirá la topología del sistema incorporando datos catastrales y topográficos, junto con la información técnica de longitudes, diámetros y materiales obtenidos en el catastro. Se integrarán además las elevaciones del terreno y cotas de proyecto para simular el flujo gravitacional. Las demandas sanitarias, pluviales e infiltraciones se determinarán a partir de registros hidrológicos y proyecciones poblacionales. Finalmente, se

simularán escenarios de operación normales y extremos de lluvia para evaluar el desempeño hidráulico del sistema.

2.20.2. Gestión de alternativas

En función de los resultados obtenidos del catastro, el análisis topográfico y la modelación hidráulica, se desarrollará una propuesta técnica orientada a mitigar los problemas de sobrecarga hidráulica presentes en el sistema de alcantarillado, para lo cual se plantearán diversas alternativas de solución que respondan a las condiciones específicas del área de estudio, entre las medidas consideradas se incluirá:

- Implementación de separadores de caudal que permitan dividir de manera eficiente las aguas pluviales de las aguas residuales, reduciendo así la presión sobre los colectores existentes durante eventos de lluvia
- Evaluar la ampliación de los diámetros de tuberías en aquellos tramos identificados como críticos, donde se evidencien limitaciones de capacidad hidráulica o posibles puntos de colapso.
- Red de alcantarillado separado.

Cada una de estas alternativas será sometida a un análisis comparativo en términos de viabilidad técnica, impacto ambiental y facilidad de implementación, este análisis culminará con la presentación de una propuesta integral respaldada mediante planos técnicos, hojas de cálculo y documentos gráficos que permitan visualizar el nuevo diseño del sistema o, en su defecto, las optimizaciones necesarias para garantizar su correcto funcionamiento a mediano y largo plazo.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

El estudio adopta un enfoque exploratorio-explicativo, como señalaron Cando y Leime (2025), para evaluar el estado actual del sistema de alcantarillado combinado en el área urbana de la parroquia de Nono, examinando su comportamiento en relación con factores como el terreno, la densidad de población y las precipitaciones. Esa es la razón detrás de la combinación de recopilación y análisis de datos empíricos junto con la realización del estudio de la operación de la red para identificar problemas específicos, como bloqueos y desbordamientos. Al concentrarse en las condiciones específicas de la realidad urbana de Nono, este enfoque proporciona un diagnóstico integral que contribuye a dar forma a las mejoras en la infraestructura de alcantarillado.

3.2. Método de investigación

El estudio es una amalgama de varios enfoques inductivos y deductivos para realizar una evaluación exhaustiva del sistema de alcantarillado combinado en la parroquia de Nono y se basa en enfoques deductivos. Se han formulado hipótesis de acuerdo con teorías y normativas técnicas que reflejan el comportamiento hidráulico y estructural de la red, mientras que el método inductivo involucra evidencia empírica que fue recopilada en el campo mediante levantamientos catastrales y observaciones técnicas para validar estas hipótesis. Como señala Newman (2006), "las conclusiones del razonamiento deductivo son válidas solo si las premisas son verdaderas" (p. 182). Al combinar estos enfoques, los resultados pueden estar informados tanto por marcos teóricos como por evidencia práctica, lo que permite realizar un diagnóstico que se pueda adaptar a las condiciones locales del área urbana de Nono.

3.3. Técnicas de recolección de información

Con base en esto, la síntesis de información teórica/tecnológica representa el nivel básico para el desarrollo del estudio donde se establecerán la base de conocimiento fundamental y los criterios para ayudar al diseño del sistema de alcantarillado combinado de manera integral. Con este fin, se realizó una revisión bibliográfica, con el objetivo de identificar fuentes académicas/libros especializados/artículos científicos/tesis sobre el diseño y evaluación de sistemas de alcantarillado, enfatizando estudios de investigación que se llevan a cabo en contextos rurales/condiciones ambientales similares a las de la parroquia de Nono. Existen regulaciones y normas locales y regionales que se aplican, entre ellas las promulgadas por el Distrito Metropolitano de Quito y la Comisión Nacional del Agua (2019) que serán examinadas para determinar que el proyecto cumplirá con los requisitos de criterios técnicos y estará de acuerdo con el marco legal vigente.

3.4. Proceso técnico de Ingeniería Civil

3.4.1. Levantamiento catastral

En el catastro se elaboró una base de datos digital, utilizando herramientas como Excel o Sistemas de Información Geográfica (SIG), donde se registró datos sobre la ubicación, dimensiones, materiales y estado físico de las tuberías, pozos de inspección y conexiones. Posteriormente, una inspección directa en campo, abriendo cuidadosamente las tapas de los pozos con herramientas manuales para observar su interior. Cada pozo se identifica con un código georreferenciado y se registró las profundidades, diámetros, materiales y condiciones estructurales, complementando con fotografías. Para la medición de los conductos se empleó instrumentos de precisión como flexómetros y equipos láser, lo que permite obtener diámetros reales y detectar posibles deformaciones o desgastes. Estos datos aseguran la confiabilidad del análisis técnico y facilitan la gestión, mantenimiento y planificación de ampliaciones o rehabilitaciones del sistema de alcantarillado.

Los datos recolectados se registraron en una ficha catastral, la cual contiene la información de cada pozo a ser analizado. Ficha que se muestra a continuación, tomando como referencia la realizada con los datos del pozo número 1.

Figura 4

Ficha catastral del pozo 1.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
TOLUEN

REDISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO PARA LA ZONA URBANA DEL GAD PARROQUIAL DE NONO, PROVINCIA PICHINCHA

Plantilla de catastro de pozos de la red de alcantarillado combinado existente

Realizado por:	Edison Hernández	Pozo No.	1	P-1
Fecha catastro:	20-05-2025	Cota tapa:	2864,053	msnm
		H pozo:	1,79	m

Partes	Tipo de material			Estado del material		
	O	HF	HA	Bueno	Regular	Malo
Tapa d=0.60	x	x			x	
Paredes			x	x		
Zócalo			x	x		
Fondo			x	x		
Peldaños	x			x		
Estado General				x		
Diám. Pozo b (m)	1					

Simbología	TIPO		MATERIAL		ESTADO			ÁREA			h. invert	Observaciones:
	Rejilla	Ventana	HF	HA	Bueno	Regular	Malo	L (m)	B(m)	D(m)	(m)	
S-1	x					x		0,50	0,37		0,45	Sumideron llenos de tierra, pozo con peldaños de varillas.
S-2	x		x			x		0,50	0,37		0,5	

Descripción	Simbología	Diámetro (mm)	h. tub (m)	Cota Batea (msnm)	h. invert (m)	Material (tipo)	Long (m)	Conexiones		
								Cota Batea (msnm)	h. invert (m)	Material (tipo)
Colectores:	C-1	200	0	2862,26	1,99	Concreto	79,47			
	C-									
	C-									
Sumideros:	C-S-1	180	0,51	2862,77	1,280	PVC	3,1			
	C-S-2	180	0,81	2863,07	0,98	PVC	1,9			
	C.S-									
	C.S-									

Detalles referenciales del pozo:

FOTOGRAFÍAS:

UBICACIÓN:

ALCANTARILLADO DE LA ZONA URBADA DE LA PARROQUIA DE NONO*
LEVANTAMIENTO DEL SISTEMA EXISTENTE

CALLE:	Tramo conecta a vía Nono
AÑO TAPA:	2006
TIPO DE CALZADA:	Adoquinado
VEREDA:	Hormigon
OBSERVACIONES:	El pozo inicial se en encuentra a una cota considerable con respecto del pozo 2

Nota. Ejemplo del formato de la ficha técnica empleada para la recolección de datos del levantamiento catastral. Elaborado por: El autor.

3.4.2. Levantamiento topográfico

Se realizó un levantamiento topográfico en la zona urbana de Nono para determinar altitudes, pendientes y características del terreno que afectan el flujo de la red de alcantarillado, además de eso se utilizó instrumento de antena GNSS para un método RTK (Real-Time Kinematic), generando curvas de nivel de la zona de estudio.

3.4.2.1. Altimetría

También llamada hipsometría, es la rama de la topografía que se centra en las técnicas para medir y representar la altura de puntos respecto a un plano de referencia (Llingui, J & Tinoco, 2022). Esto permitió visualizar el relieve del terreno por donde se desarrolla la red de alcantarillado combinado de la parroquia de Nono.

3.4.2.2. Planimetría.

La obtención de mediciones precisas requiere distintos instrumentos y técnicas, incluyendo distanciómetros, cintas métricas, estaciones totales y sistemas de posicionamiento global (GPS). La correcta selección y calibración de estos equipos es esencial para asegurar la confiabilidad de los resultados en levantamientos planímetros (Pérez, 2020).

La planimetría se concentra en la representación de la superficie terrestre en un plano bidimensional, midiendo distancias horizontales y ángulos entre puntos del terreno. Los sistemas GPS han transformado este campo, esto permitió obtener coordenadas precisas en tiempo real y facilitando la creación de mapas y planos con gran precisión para los datos esenciales de este proyecto.

3.4.2.3. Ajuste RTK.

Para el Posicionamiento Cinemático en Tiempo Real (RTK) se empleó dos receptores que recogen datos de manera continua: la estación base, ubicada en un punto de coordenadas conocidas, y un receptor móvil que capturó información en los puntos de interés en este caso se tomó en cada tapa de pozo existente.

3.4.2.4. *Sistema de coordenadas UTM.*

Para el procesamiento y configuración de puntos se utilizó el sistema UTM (Universal Transverse Mercator) WGS84 debido a la zona del proyecto que nos encontramos, así poder importar y generar las curvas de nivel necesaria para la obtención de datos como son las cotas reales de cada pozo.

3.4.2.5. *Cotas de proyecto.*

Se presento las alturas y elevaciones establecidas para cada pozo para indicar la posición relativa de componentes como tuberías, pozos de inspección o el terreno dentro del sistema. Su correcta determinación es primordial para garantizar el diseño, la construcción y la operación adecuada de la infraestructura, cumpliendo con los estándares y normativas específicas del proyecto. (López, 2018).

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO EXISTENTE

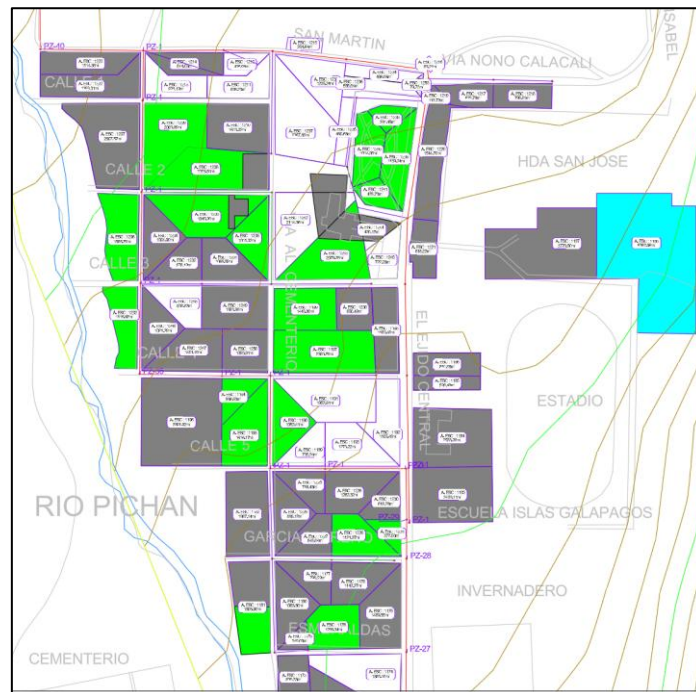
3.1. Parámetros base para la evaluación

3.1.1. Áreas tributarias

La delimitación de las áreas tributarias se realizó considerando criterios geométricos acordes a la forma de cada sector de la zona de estudio. En los casos en que las áreas presentaron una configuración rectangular, estas se dividieron por la mitad en su lado menor y, posteriormente, se trazó una línea inclinada a 45° tomando como referencia el lado más corto, lo que permitió definir un área de drenaje conformada por un triángulo y un trapecio. Las áreas tributarias correspondientes a cada tramo se presentan a detalle en los anexos correspondientes.

Figura 5

Ejemplo de áreas tributarias obtenidas



Nota. Distribución de las áreas de aportación actuales en la parroquia de Nono. Elaborado por: El autor.

3.1.2. Análisis poblacional

El análisis poblacional se realizó únicamente para la zona urbana de la parroquia de Nono, debido a que es el único sector que dispone de un sistema de alcantarillado. Cabe señalar que únicamente el 19 % de la población total de la parroquia cuenta actualmente con este servicio, por lo que este estudio se limita al área cubierta por la red existente y la debida reducción de la población total de la parroquia.

Tabla 9

Población de los censos oficiales INEC.

Provincia	Cantón	Parroquia	Año	Población
Pichincha	DMQ	Nono	2022	2938
Pichincha	DMQ	Nono	2010	1678
Pichincha	DMQ	Nono	2001	1724
Pichincha	DMQ	Nono	1990	1455
Pichincha	DMQ	Nono	1982	1678

Nota. Se muestra los datos oficiales de los censos en diferentes años. Elaborado por: El autor.

3.1.2.1. Tasa de crecimiento

De acuerdo con la información estadística recopilada para la parroquia de Nono, a partir de los censos poblacionales realizados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), se evidencia una variación en el crecimiento poblacional a lo largo del tiempo. El análisis de los datos censales muestra un incremento poblacional significativo a partir del año 2001 lo que refleja una tendencia de crecimiento exponencial.

La información detallada del crecimiento poblacional se presenta en la Tabla 10, la cual constituye la base para el análisis demográfico y la proyección de la población en la cual se escogió el valor de 4.93% para este estudio.

Tabla 10*Tasa de crecimiento.*

Año	Población (INEC)	Tasa de crecimiento
1982	1678	-
1990	1455	-
2001	1724	1.69%
2010	1678,5	-0.13%
2022	2938	4.93%

Nota. Se obtuvo la tasa de crecimiento con los datos reales de los censos y documentos oficiales y con lo expuesto en el PDYOT de Nono. Elaborado por: El autor.

3.1.2.2. Población flotante

Dado que la parroquia de Nono se ha consolidado como destino turístico y actualmente recibe una cantidad significativa de visitantes, fue necesario considerar la población flotante dentro del análisis del sistema de alcantarillado combinado, de manera que el estudio refleje de forma más realista las condiciones de uso y la demanda generada por esta población, como se expone en la Tabla 11.

Tabla 11*Días festivos en Ecuador 2025.*

Fechas	Descripción	Cantidad de días
Miércoles 01 de enero	Año nuevo	1
Lunes 03 y martes 04 de marzo.	Carnaval	2
Viernes 18 de abril.	Viernes santo	1
Viernes 02 de mayo.	Día del trabajo	1
Viernes 23 de mayo.	Batalla de Pichincha	1
Lunes 11 de agosto.	Primer grito de la independencia	1
Viernes 10 de octubre.	Independencia de Guayaquil	1
Descanso obligatorio los días 03 y 04 de noviembre.	Día de difuntos e independencia de Cuenca	2
Jueves 25 de diciembre.	Navidad	1
Sábado y Domingo	Fines de semana	104
	TOTAL	115

Nota. Días de feriado en el Ecuador donde se incrementa la visita de turistas en la parroquia Nono, de igual forma se consideran los fines de semana debido a la cercanía de la parroquia con el Distrito Metropolitano de Quito. Elaborado por: El autor.

$$\frac{115 \text{ días}}{365 \text{ días}} \times 100\% = 31,507\%$$

3.1.2.3. *Estimación de la población futura*

Para este caso, se analizará la estimación de la población de Nono en el año 2025, puesto que, los últimos datos de censo se remontan al año 2022, los valores con distintos métodos se muestran a continuación.

3.1.2.3.1. *Método geométrico. Aplicando el método geométrico para la estimación de la población en el año 2025 se obtuvo lo siguiente.*

Tabla 12

Población 2025 con método geométrico.

Datos	Valor	Unidad
Po	2,938	hab
to	2022	-
tf	2025	-
r	4,93%	hab/año
n	3	años
Pf	3394	hab

Nota. Datos de población inicial del 2022. Elaborado por: El autor.

Obteniendo una población de 3394 habitantes.

3.1.2.3.2. *Método aritmético.* El método aritmético para la estimación de la población en Nono para el año 2025 arroja los siguientes resultados.

Tabla 13*Población 2025 con método aritmético.*

Datos	Valor	Unidad
Po	2,938	hab
to	2022	-
tf	2025	-
k	4,93%	hab/año
Pf	2938	hab

Nota. Datos de población inicial del 2022. Elaborado por: El autor.

Obteniendo una población de 2938 habitantes.

3.1.2.3.3. **Método exponencial.** Una vez analizado el incremento exponencial de la población de Nono para el año 2025, se obtiene.

Tabla 14*Población 2025 con método exponencial.*

Datos	VALOR	UNIDAD
Po	2,938	hab
to	2022	-
tf	2025	-
k	4,93%	hab/año
n	3	años
Pf	3406	hab

Nota. Datos de población inicial del 2022. Elaborado por: El autor.

Obteniendo una población de 3406 habitantes.

3.1.3.Dotación

Según lo expuesto en la Tabla 6, la dotación media futura será de 150 l/hab/día.

3.2. Análisis de caudales

3.2.1. Análisis de aporte sanitario

El análisis se realizó considerando los diferentes tipos de caudales que intervienen en el sistema. Para ello, se tomó en cuenta tanto el aporte doméstico como el comercial, además de las infiltraciones y posibles conexiones erradas que puedan presentarse en la red.

Se contempló proyecciones de población futura utilizando tasas de crecimiento demográfico provenientes de fuentes confiables, como el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), asegurando que la infraestructura responda no solo a las condiciones actuales sino también a las necesidades de expansión en los próximos 30 años. La población futura (Pf) tuvo una reducción debido a que, según lo expuesto en el INEC, que solo el 19% de la población cuenta con el sistema de alcantarillado.

Tabla 15

Población final para el análisis de la red actual.

Año	Población	Población zona poblada	Población ajustada (flotante)	Población final
1982	1678	-	-	-
1990	1455	-	-	-
2001	1724	-	-	-
2010	1678,5	-	-	-
2022	2938	-	-	-
2025	3394	645	849	849

Nota. Datos de población del 2025 ajustados ya para el análisis. Elaborado por: El autor.

3.2.1.1. Caudal de aguas domésticas (Q_{dom})

Según lo descrito en 3.4.3.1, para el área de estudio, al encontrarse en una zona de clima frío y considerando la población futura, se adoptó una dotación de 150L/hab/día.

$$Q_{dom} = \frac{150 \left[\frac{L}{ha * s} \right] * 848,62 [hab]}{86400}$$

$$Q_{dom} = 1,473 [L/s]$$

Como resultado del cálculo, se obtuvo un caudal de aguas domesticas (Q_{dom}) de 1,473 L/s, valor que representa el aporte promedio diario generado por la población considerada y que sirve como base para los análisis posteriores del sistema.

3.2.1.2. Caudal de infiltración (Q_{inf})

Para el presente estudio se adoptó un nivel de infiltración bajo para un nivel de complejidad del sistema catalogada como bajo y medio según lo mostrado en la Tabla 2, en este estudio se adoptó un valor de 0.2.

$$Q_{inf} = 0,2 \frac{l}{[s * ha]} * 17,29 [ha]$$

$$Q_{inf} = 3,46 [L/s]$$

Al aplicar el coeficiente seleccionado y el área de aporte, se obtiene un caudal de infiltración (Q_{inf}) de 3,46 L/s, valor que representa el aporte adicional esperado al sistema por este concepto.

3.2.1.3. Conexiones erradas (Q_{CE})

Se determina.

$$Q_{inf} = 0,2 \frac{1}{[l/s * ha]} * 17,29 [ha]$$

$$Q_{inf} = 3,46 [L/s]$$

Como resultado de la aplicación del coeficiente y del área considerada, se obtiene un caudal por conexiones erradas (Q_{CE}) de 3,46 L/s, valor que representa un aporte significativo al sistema de alcantarillado.

3.2.1.4. Caudal medio diario (Q_{med})

Para el presente proyecto se adoptó un coeficiente de retorno del 0.8, valor que se ajusta a las recomendaciones normativas para sistemas de complejidad media.

$$Q_{med} = Q_{dom} * R$$

$$Q_{med} = 1,473[L/s] * 0,8$$

$$Q_{med} = 1,179 [L/s]$$

Se obtiene un caudal medio diario (Q_{med}) de 1,179 L/s, el cual representa el comportamiento promedio del sistema durante un día típico de operación.

3.2.1.5. Caudal máximo horario (Q_{MH})

Según lo expuesto en la tabla 5 el coeficiente de mayoración fue de 2.66.

$$Q_{MH} = Q_{med} * M$$

$$Q_{MH} = 1,179 * 2,66$$

$$Q_{MH} = 3,135[L/s]$$

3.2.1.6. Caudales unitarios ($q_{unitarios}$)

Para el análisis del sistema existente como para el diseño propuesto, se realizó mediante el método de áreas de aportación y caudales unitarios, con el fin de determinar el caudal correspondiente a cada tramo. Para ello, cada tramo fue evaluado en función de su área de aporte, considerando los distintos tipos de uso: doméstico, infiltración, erradas, industrial, comercial e institucional. El caudal de cada tramo se obtuvo dividiendo el caudal total correspondiente a cada uso entre el área total respectiva y multiplicándolo posteriormente por el área parcial asociada a cada tramo.

Los datos se presentan en el Anexo 1, donde se detallan las áreas de aportación y en el Anexo 4 que muestra las áreas parciales empleadas para la determinación del caudal sanitario.

A continuación, se muestra la tabla con los resultados de los caudales unitarios obtenidos.

Tabla 16*Caudales unitarios del año 2025*

Caudal unitario infiltracion (2025)		
Qinf	3,46	Lt/s
Area total	17,29	Ha
Qinf	0,20	Lt/S-Ha
Caudal unitario erradas (2025)		
Qerra	3,46	Lt/s
Area total	17,29	Ha
Qerr	0,20	Lt/S-Ha
Caudal unitario industrial (2025)		
Qind	0,79	Lt/s
Area industrial	0,63	Ha
Qind	1,25	Lt/S-Ha
Caudal unitario comercial (2025)		
Qcom	0,50	Lt/s
Area comercial	1,12	Ha
Qcom	0,45	Lt/S-Ha
Caudal unitario institucional (2025)		
Qinst	0,22	Lt/s
Area institucional	0,50	Ha
Qinst	0,45	Lt/S-Ha
Caudal unitario domestico (2025)		
Qinst	3,14	Lt/s
Area institucional	15,05	Ha
Qinst	0,21	Lt/S-Ha

Nota. Se muestra la tabla con los resultados de los caudales unitarios para el cálculo parcial de cada tramo en la red actual. Elaborado por: El autor.

3.2.2. Análisis de aporte pluvial

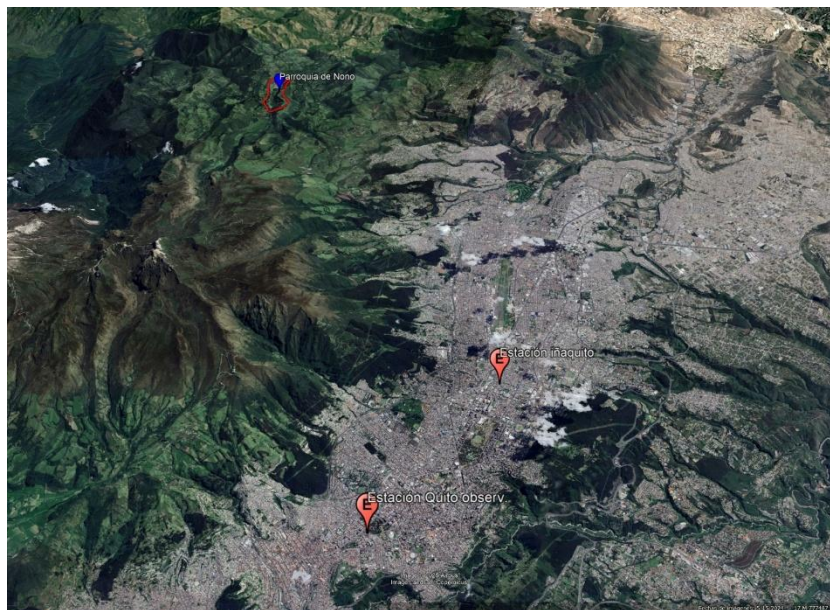
3.2.2.1. Método racional (Estudio Hidrológico)

Debido a que el proyecto abarca una superficie total de 44,38 hectáreas, se empleará el método racional, en concordancia con lo establecido en el capítulo 5 de la normativa vigente (EMAAP-Q,2009), la cual indica su aplicación en cuencas con áreas inferiores a 200 hectáreas.

Este modelo de cálculo permite estimar el caudal de escorrentía superficial generado a partir de un evento de precipitación.

Se identificará la estación hidrometeorológica para establecer los datos representativos determinando la magnitud y frecuencia de los aportes pluviales al sistema de alcantarillado en la zona de estudio. Para este análisis se usará como referencia a la estación meteorológica Iñaquito (M0024), debido a que es la más cercana a la parroquia según el (PDyOT) Parroquial NONO, 2020 – 2024, en comparación a la estación meteorológica del observatorio de Quito, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 6
Estaciones cercanas al proyecto.



Nota. Distancias referenciales de posibles estaciones meteorológicas a utilizar para el análisis pluvial. Elaborado por: El autor.

Tabla 17*Estacion Iñaquito*

Código	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud
M0024	IÑAQUITO	780131.51	9981560.42	2789.00 m

Nota. Datos de la estación meteorológica Iñaquito. Elaborado por: El autor.

3.2.2.1.1. **Coefficiente de escorrentía.** El cálculo del coeficiente de escorrentía ponderado se realizó con cada área tributaria que aporta a los colectores, todas las áreas obtenidas de planos se la paso a un formato Excel como se muestra en la tabla 19.

Tabla 18*Ejemplo de obtención de coeficiente de escorrentía ponderado*

Colectores terciarios							Coefficientes de escorrentía			
Area de aportación urbana							Concreto / Techo	Pastizal	Zona verde	
Pozo	A1 (m2)	A 1,1 (m2)	A2 (m2)	A 2,2 (m2)	A. Urbana total (m2)	A. Pluvial (m2)	A. Total (m2)	0,8	0,36	0,32
P56	1121,9		1142,27		2264,14	0	2264,14		0,54	
P57										
P57	845,04		799,22		1644,26	0	1644,26		0,80	
P55										
P62	1011,3		1570,34	544,02	3125,69	0	3125,69		0,63	
P60										
P62	1782,9	525,65	1707,39	237,81	4253,71	0	4253,71		0,52	
P37										

Nota. Se muestra ejemplo de la obtención de los coeficientes de escorrentía ponderados y dependiendo de la superficie de aporte de cada tramo. Elaborado por: El autor.

3.2.2.1.2. *Intensidad de lluvia.*

Tabla 19

Ecuaciones de intensidad de lluvia de la estación meteorológica Iñaquito.

ESTACIÓN		INTERVALOS			
CÓDIGO	NOMBRE	DE TIEMPO (min)	ECUACIONES	R	R ²
M0024	Iñaquito	5 < 30	$i = 141.7719 * T^{0.2071} * t^{-0.38044}$	0.9896	0.9794
		30 < 120	$i = 418.754 * T^{0.2196} * t^{-0.7210}$	0.9864	0.9729
		120 < 1440	$i = 1276.807 * T^{0.2196} * t^{-0.9297}$	0.9991	0.9983

Nota. Se muestra las fórmulas tomadas del INAMHI para nuestro análisis pluviométrico. Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2019).

Las intensidades de precipitación fueron determinadas en función de los intervalos de tiempo analizados para cada área de aportación y su tiempo de concentración correspondiente.

De acuerdo con la Tabla 20, se selecciona el período de retorno en función del tipo de ocupación y uso del suelo de las áreas que conforman la parroquia Nono.

Tabla 20

Períodos de retorno para diferentes ocupaciones del área.

Tipo de obra	Tipo de ocupación del área de influencia de la obra	Tr (Años)
Micro drenaje	Residencial	5
Micro drenaje	Comercial	5
Micro drenaje	Área con edificios de servicio público	5
Micro drenaje	Aeropuertos	10
Micro drenaje	Áreas comerciales y vías de tránsito intenso	10 – 25
Micro drenaje	Áreas comerciales y residenciales	25
Micro drenaje	Áreas de importancia específica	50 - 100

Nota. Período de retorno para diferentes ocupaciones del área. Fuente: EMMAPS-Q (2019).

Para el análisis actual de la red se seleccionó un periodo de diseño de 5 años. Mientras que, para el rediseño propuesto, se lo hizo con 10 años.

3.2.2.2. Caudal pluvial

Con base en las fórmulas aplicadas y la metodología establecida, se obtuvieron los siguientes resultados a partir de un formato en Excel construido.

Tabla 21

Ejemplo de obtención del caudal pluvial.

Colectores terciarios											
POZO	A. de drenaje (m²)	A. de drenaje (ha)	Long. drenaje (m)	S (%) cuenca	te (Kerby) min	Te (min)	Tf (min)	tc (min)	i (mm/hr)	C. Esco.	Q. parcial (m³/s)
P56	2264,14	0,23	37,63	0,02	17,57	17,57	0	17,575	66,487	0,542	0,023
P57											
P57	1644,26	0,16	52,91	0,02	20,10	20,10	0,5	20,604	62,585	0,800	0,023
P55											
P62	3125,69	0,31	87,33	0,05	20,82	20,82	0	20,824	62,333	0,632	0,034
P60											
P62	4253,71	0,43	68,71	0,10	15,93	15,93	0	15,930	69,021	0,518	0,042
P37											

Nota. Tabla de ejemplo de la obtención del caudal pluvial de los pozos indicados. Elaborado por: El autor.

3.2.3. Caudal combinado

Aplicando las fórmulas correspondientes y la metodología descrita, se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 22*Datos de caudales resultado de la evaluación.*

Pozos	Caudal pluvial acumulado (m3/s)	Caudal sanitario acumulado (m3/s)	Caudal combinado (m3/s)
P1	0,17311	0,00006	0,17317
P2	0,55835	0,00016	0,55852
P3	0,63301	0,00055	0,63356
P4	0,64984	0,00060	0,65043
P5	0,72701	0,00091	0,72791
P6	0,78580	0,00123	0,78703
P7	0,83423	0,00169	0,83592
P8	0,89368	0,00210	0,89578
P9	0,98925	0,00268	0,99193
P10	1,03480	0,00303	1,03783
P11	1,08160	0,00340	1,08500
P12	1,08160	0,00362	1,08522
P13	1,08160	0,00364	1,08524
P14	1,08160	0,00375	1,08534
P15	1,08160	0,00387	1,08547
P16	1,08160	0,00387	1,08547
P17	1,08160	0,00389	1,08548
P18	1,08160	0,00394	1,08554
P19	1,10269	0,00403	1,10672
P20	1,13043	0,00412	1,13455
P21	1,16369	0,00420	1,16789
P22	1,19269	0,00429	1,19697
P23	1,24374	0,00444	1,24819
P24	1,24738	0,00444	1,25182
P25	1,28377	0,00463	1,28840
P26	1,43967	0,00476	1,44443
P27	1,51238	0,00493	1,51731
P28	1,54109	0,00502	1,54611
P29	1,54747	0,00506	1,55252
P30	1,57341	0,00521	1,57862
P31	1,73604	0,00596	1,74200
P32	1,83601	0,00638	1,84240
P33	1,85274	0,00649	1,85922
P34	1,90356	0,00681	1,91037
P35	2,05352	0,00767	2,06119
P36	2,11145	0,00809	2,11954
P37	2,15478	0,00837	2,16315
P38	2,59057	0,01173	2,60230
P39	2,60094	0,01179	2,61274
P40	2,60094	0,01179	2,61274
P41	2,61224	0,01187	2,62411

P42	0,03911	0,00018	0,03929
P43	0,10928	0,00046	0,10974
P44	0,17001	0,00059	0,17060
P45	0,27107	0,00230	0,27337
P46	0,30768	0,00261	0,31030
P47	0,32840	0,00271	0,33111
P48	0,32930	0,00272	0,33202
P49	0,33433	0,00275	0,33708
P50	0,40130	0,00314	0,40444
P51	0,40567	0,00317	0,40884
P52	0,41413	0,00322	0,41735
P53	0,01723	0,00006	0,01730
P54	0,10489	0,00048	0,10536
P55	0,14796	0,00066	0,14862
P56	0,02268	0,00014	0,02282
P57	0,04555	0,00024	0,04578
P58	0,07953	0,00026	0,07979
P59	0,08202	0,00046	0,08248
P60	0,11203	0,00062	0,11265
P61	0,12957	0,00073	0,13030
P62	0,03419	0,00019	0,03438
P63	0,05185	0,00030	0,05215
P64	0,00801	0,00005	0,00806
P65	0,01213	0,00010	0,01223
P66	0,02102	0,00015	0,02117
P67	0,01087	0,00005	0,01092
P68	0,01924	0,00009	0,01932
P622	0,04223	0,00026	0,04249
PFIN	0,00000	0,00000	0,00000

Nota. Tabal de los caudales obtenidos con la evolución de caudales sanitarios y pluviales, los detalles se observarán en los anexos correspondientes. Elaborado por: El autor.

Como resultado se obtuvo un aporte de 11,79 l/s de caudal sanitario, 2600,94 l/s de caudal pluvial y un combinado de 2612,74 l/s.

3.3. Hidráulica de las redes de recolección

3.3.1. Flujo en condiciones llenas, caudal y relación Q_d/Q_{ll}

Para el cálculo de la velocidad y el caudal se utilizó la ecuación de Manning, la cual considera la rugosidad del material del conducto. En este caso, se adoptó un coeficiente de rugosidad de 0,014 para tuberías de concreto y de 0,011 para tuberías de PVC.

Tabla 23*Datos de la relación Qd/QLL.*

Pozos	Colectores terciarios				
	VLL (m/s)	QLL (m ³ /s)	Combinado Qd/QLL (adm)	Domestico Qd/QLL (adm)	Pluvial Qd/QLL (adm)
P56	1,376	0,043	0,528	0,003	0,525
P57					
P57	1,452	0,046	1,004	0,005	0,999
P55					
P62	2,220	0,070	0,493	0,003	0,490
P60					
P62	3,101	0,097	0,436	0,003	0,434
P37					

Nota. Se muestra el ejemplo de la obtención de la relación del caudal de diseño vs caudal de llenado de los pozos indicado, los resultados de los demás pozos se observarán en los anexos.
Elaborado por: El autor.

Donde:

VLL: Velocidad a tubo lleno m/s.

QLL: Caudal en condiciones llenas.

Qd/QLL: Relación caudal de diseño y caudal de llenado.

3.3.2. Capacidad de llenado

Los cálculos que se realizaron evidenciaron que los pozos cabecera y los tramos iniciales de la red cumplen con la relación de capacidad $(Q/Q_0) < 80\%$ en el caudal combinado. En el caso del caudal doméstico, se evidenció que todos los tramos de tubería satisfacen dicha relación, indicando un funcionamiento adecuado del sistema para este tipo de aporte y dejando

en evidencia que el caudal pluvial es el principal factor que afecta la capacidad hidráulica de las tuberías.

3.3.2.1. Relación: V/V_0 , y/D , R/R_0 , HD

3.3.3. Resultado Velocidad, Radio hidráulico, Tirante y fuerza tractiva.

Tabla 22

Resultados obtenidos del análisis.

Pozos	Combinado			Domestico			Pluvial			Combinado	Domestico	Pluvial
	V. (m/s)	R.H (m)	Yn (m)	V. (m/s)	R.H (m)	Yn (m)	V. (m/s)	R.H (m)	Yn (m)	F. TRAC. (kg/m ²)	F. TRAC. (kg/m ²)	F. TRAC. (kg/m ²)
P56	1,394	0,051	0,103	0,311	0,005	0,008	1,392	0,051	0,103	1,027	0,108	1,025
P57												
P57	1,655	0,061	0,165	0,382	0,007	0,010	1,655	0,061	0,164	1,364	0,151	1,364
P55												
P62	2,212	0,050	0,099	0,479	0,005	0,008	2,209	0,050	0,099	2,609	0,263	2,603
P60												
P62	2,995	0,047	0,092	0,665	0,005	0,008	2,990	0,047	0,092	4,855	0,508	4,843
P37												

Nota. Se muestra los resultados de las velocidades, radio hidráulico, tirante y la fuerza tractiva de los pozos seleccionados, los demás resultados de diferentes tramos se observarán en los anexos. Elaborado por: El autor.

Donde:

V: Velocidad(m/s)

R.H: Radio hidráulico

Yn: Tirante

F trac: Fuerza tractiva.

Todos los ejemplos de la obtención de resultados que se muestran en cada tabla fueron de los pozos P56, P57, P55, P62 y P37 en un Excel elaborado, los demás tramos se podrán observar en los anexos que corresponde al análisis pluvial, sanitario y combinado de la red de alcantarillado existente, cabe recalcar que estos análisis se lo hicieron en un Excel elaborado siguiendo la metodología descrita.

CAPÍTULO V

MODELACIÓN EN PROGRAMA COMPUTACIONAL

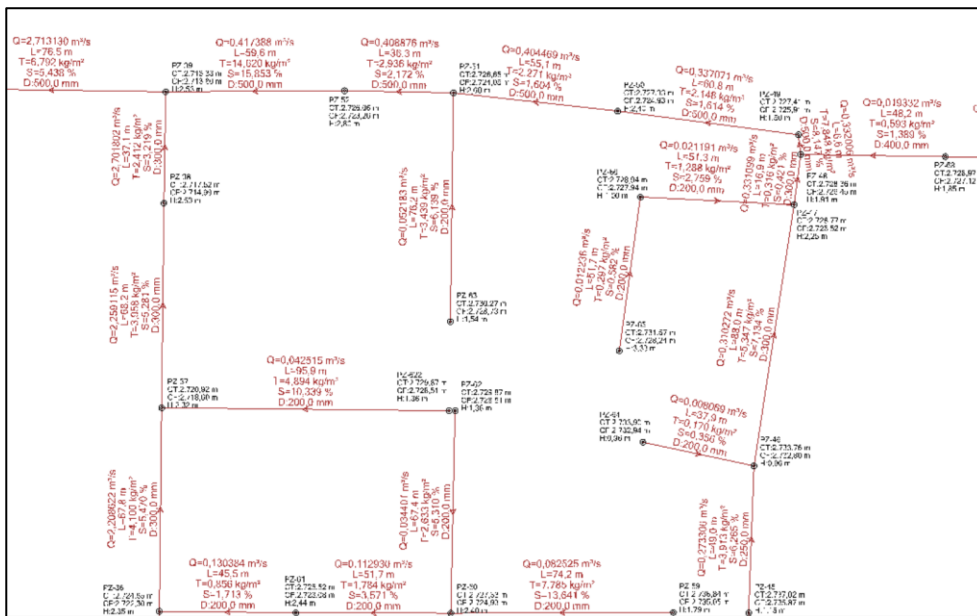
4.1. Evaluación del sistema de alcantarillado combinado en SewerGems

4.1.1. Simbología en pozos

Los pozos y tuberías se presentan completos en los anexos correspondientes, donde se incluyen los planos en planta y los perfiles longitudinales del sistema, donde se detalla información como la altura de los pozos, las longitudes de tubería, así como las cotas de tapa y de fondo. Esta información fue obtenida a partir del catastro realizado en campo y de la topografía obtenida. Posteriormente, los datos geométricos y operativos asociados a las diferentes tipologías de los elementos fueron incorporados en el software para su análisis.

Figura 7

Distribución de pozos.



Nota. Distribución de los pozos en SewerGems de un tramo de la red. Elaborado por: El autor.

4.1.1.1. Simbología en tubería

Se definió la tipología de las tuberías según los parámetros geométricos obtenidos en campo. Además, para cada tramo de tubería se establecieron características como el material,

diámetro nominal, longitud y pendiente, así como su conectividad con los pozos. En el modelo computacional, cada tramo fue identificado mediante un código único (por ejemplo, *tub-1*, *tub-2*, etc.)

4.1.2. Información de la infraestructura de la red

Se define la información recolectada en el catastro, tales como longitud real y diámetros de las tuberías de la red, en este caso se realizó en un formato Excel y como comprobación en el programa como se muestra a continuación.

Tabla 25

Datos obtenidos de la red actual.

Pozos	H. pozo (m)	Cota Tapa (msnm)	Cota Fondo (msnm)	L (m)	D (mm)	S (%)
P56	0,93	2743,138	2742,208	46,54	200	0,0201332
P57	1,56	2742,831	2741,271			
P57	1,56	2742,831	2741,271	44,2	200	0,0224208
P55	3,8	2744,08	2740,28			
P62	1,36	2729,87	2728,51	68,25	200	0,0524542
P60	2,4	2727,33	2724,93			
P62	1,36	2729,87	2728,51	96,88	200	0,1022915
P37	2,32	2720,92	2718,6			

Nota. Se muestra ejemplo de datos obtenido de la red actual en Excel. Elaborado por: El autor.

Figura 8
Asignación de los parámetros en SewerGems

Label	Start Node	Set Invert to Start?	Invert (Start) (m)	Stop Node	Invert (Stop) (m)	Length (Scaled) (m)	Catalog Class	Size	Diameter (mm)	Manning's n	Flow (m³/s)
Tub-1	PZ-1	<input checked="" type="checkbox"/>	2.862,263	PZ-2	2.848,502	79,5	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0000581
Tub-2	PZ-2	<input checked="" type="checkbox"/>	2.848,502	PZ-3	2.841,278	52,7	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0001626
Tub-3	PZ-3	<input checked="" type="checkbox"/>	2.841,278	PZ-4	2.834,150	71,3	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0005485
Tub-4	PZ-4	<input checked="" type="checkbox"/>	2.834,150	PZ-5	2.833,304	17,4	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0005961
Tub-5	PZ-5	<input checked="" type="checkbox"/>	2.833,304	PZ-6	2.829,202	58,1	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0009055
Tub-6	PZ-6	<input checked="" type="checkbox"/>	2.829,202	PZ-7	2.823,515	73,7	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0012303
Tub-7	PZ-7	<input checked="" type="checkbox"/>	2.823,515	PZ-8	2.819,995	46,9	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0016853
Tub-8	PZ-8	<input checked="" type="checkbox"/>	2.819,995	PZ-9	2.814,386	60,4	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0021031
Tub-9	PZ-9	<input checked="" type="checkbox"/>	2.814,386	PZ-10	2.806,886	87,5	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0026765
Tub-10	PZ-10	<input checked="" type="checkbox"/>	2.806,886	PZ-11	2.802,540	52,1	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0030289
Tub-11	PZ-11	<input checked="" type="checkbox"/>	2.802,540	PZ-12	2.796,802	69,9	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0034010
Tub-12	PZ-12	<input checked="" type="checkbox"/>	2.796,802	PZ-13	2.787,806	118,0	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0036207
Tub-13	PZ-13	<input checked="" type="checkbox"/>	2.787,806	PZ-14	2.784,710	42,8	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0036414
Tub-14	PZ-14	<input checked="" type="checkbox"/>	2.784,710	PZ-15	2.779,243	78,7	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0037478
Tub-15	PZ-15	<input checked="" type="checkbox"/>	2.779,243	PZ-16	2.771,628	102,4	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0038700
Tub-16	PZ-16	<input checked="" type="checkbox"/>	2.771,628	PZ-17	2.768,097	59,2	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0038700
Tub-17	PZ-17	<input checked="" type="checkbox"/>	2.768,097	PZ-18	2.765,582	48,6	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0038866
Tub-18	PZ-18	<input checked="" type="checkbox"/>	2.765,582	PZ-19	2.763,804	29,3	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0039413
Tub-19	PZ-19	<input checked="" type="checkbox"/>	2.763,804	PZ-20	2.761,164	28,8	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0040277
Tub-20	PZ-20	<input checked="" type="checkbox"/>	2.761,164	PZ-21	2.758,842	32,4	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0041186
Tub-21	PZ-21	<input checked="" type="checkbox"/>	2.758,842	PZ-22	2.755,887	35,4	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0042042
Tub-22	PZ-22	<input checked="" type="checkbox"/>	2.755,887	PZ-23	2.754,219	28,8	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0042852
Tub-23	PZ-23	<input checked="" type="checkbox"/>	2.754,219	PZ-24	2.752,316	41,9	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0044436
Tub-24	PZ-24	<input checked="" type="checkbox"/>	2.752,316	PZ-25	2.751,970	18,5	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0044436
Tub-25	PZ-25	<input checked="" type="checkbox"/>	2.751,970	PZ-26	2.749,260	37,4	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0046288
Tub-26	PZ-26	<input checked="" type="checkbox"/>	2.749,260	PZ-27	2.744,760	50,8	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0047605
Tub-27	PZ-27	<input checked="" type="checkbox"/>	2.744,760	PZ-28	2.741,730	69,4	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0049263
Tub-28	PZ-28	<input checked="" type="checkbox"/>	2.741,730	PZ-29	2.740,544	29,2	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0050175
Tub-29	PZ-29	<input checked="" type="checkbox"/>	2.740,544	PZ-30	2.739,120	37,8	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0050551
Tub-30	PZ-30	<input checked="" type="checkbox"/>	2.739,120	PZ-31	2.734,849	60,1	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0052094
Tub-31	PZ-31	<input checked="" type="checkbox"/>	2.734,849	PZ-32	2.734,346	41,0	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0059577
Tub-32	PZ-32	<input checked="" type="checkbox"/>	2.734,346	PZ-33	2.727,270	69,1	Circle - Concrete	300 mm	250,0	0,014	0,0063843
Tub-33	PZ-33	<input checked="" type="checkbox"/>	2.727,270	PZ-34	2.727,006	36,0	Circle - Concrete	300 mm	250,0	0,014	0,0064870
Tub-34	PZ-34	<input checked="" type="checkbox"/>	2.727,006	PZ-35	2.726,816	61,3	Circle - Concrete	300 mm	250,0	0,014	0,0068090
Tub-35	PZ-35	<input checked="" type="checkbox"/>	2.726,816	PZ-36	2.722,304	67,6	Circle - Concrete	300 mm	250,0	0,014	0,0076708
Tub-36	PZ-36	<input checked="" type="checkbox"/>	2.722,304	PZ-37	2.718,595	67,8	Circle - Concrete	350 mm	300,0	0,014	0,0080884
Tub-37	PZ-37	<input checked="" type="checkbox"/>	2.718,595	PZ-38	2.714,994	68,2	Circle - Concrete	350 mm	300,0	0,014	0,0083690
Tub-38	PZ-38	<input checked="" type="checkbox"/>	2.714,994	PZ-39	2.713,801	37,1	Circle - Concrete	350 mm	300,0	0,014	0,0117263
Tub-39	PZ-39	<input checked="" type="checkbox"/>	2.713,801	PZ-40	2.709,639	76,5	Circle - PVC	540	500,0	0,011	0,0117941
Tub-40	PZ-40	<input checked="" type="checkbox"/>	2.709,639	PZ-41	2.706,928	46,2	Circle - PVC	540	500,0	0,011	0,0117941
Tub-41	PZ-41	<input checked="" type="checkbox"/>	2.706,928	PZ-Fin	2.698,380	117,4	Circle - PVC	540	500,0	0,011	0,0118686
Tub-42	PZ-42	<input checked="" type="checkbox"/>	2.741,059	PZ-43	2.739,123	40,0	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0001781
Tub-43	PZ-43	<input checked="" type="checkbox"/>	2.739,123	PZ-44	2.737,707	69,5	Circle - Concrete	300 mm	250,0	0,014	0,0004620
Tub-44	PZ-44	<input checked="" type="checkbox"/>	2.737,707	PZ-45	2.735,871	68,0	Circle - Concrete	300 mm	250,0	0,014	0,0005856
Tub-45	PZ-45	<input checked="" type="checkbox"/>	2.735,871	PZ-46	2.732,800	49,0	Circle - Concrete	300 mm	250,0	0,014	0,0022968
Tub-46	PZ-46	<input checked="" type="checkbox"/>	2.732,800	PZ-47	2.726,521	88,0	Circle - Concrete	350 mm	300,0	0,014	0,0026134
Tub-47	PZ-47	<input checked="" type="checkbox"/>	2.726,521	PZ-48	2.726,450	16,9	Circle - Concrete	350 mm	300,0	0,014	0,0027120
Tub-48	PZ-48	<input checked="" type="checkbox"/>	2.726,450	PZ-49	2.725,910	6,6	Circle - PVC	540	500,0	0,011	0,0027174
Tub-49	PZ-49	<input checked="" type="checkbox"/>	2.725,910	PZ-50	2.724,929	60,8	Circle - PVC	540	500,0	0,011	0,0027476
Tub-50	PZ-50	<input checked="" type="checkbox"/>	2.724,929	PZ-51	2.724,045	55,1	Circle - PVC	540	500,0	0,011	0,0031386
Tub-51	PZ-51	<input checked="" type="checkbox"/>	2.724,045	PZ-52	2.723,256	36,3	Circle - PVC	540	500,0	0,011	0,0031651
Tub-52	PZ-52	<input checked="" type="checkbox"/>	2.723,256	PZ-39	2.713,801	59,6	Circle - PVC	540	500,0	0,011	0,0032164
Tub-53	PZ-53	<input checked="" type="checkbox"/>	2.747,185	PZ-54	2.745,172	25,0	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0000644
Tub-54	PZ-54	<input checked="" type="checkbox"/>	2.745,172	PZ-55	2.740,283	69,8	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0004783
Tub-55	PZ-55	<input checked="" type="checkbox"/>	2.740,283	PZ-32	2.734,346	67,0	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0006600
Tub-56	PZ-56	<input checked="" type="checkbox"/>	2.742,208	PZ-57	2.741,271	46,5	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0001377
Tub-57	PZ-57	<input checked="" type="checkbox"/>	2.741,271	PZ-55	2.740,283	44,2	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0002378
Tub-58	PZ-58	<input checked="" type="checkbox"/>	2.737,111	PZ-33	2.727,270	78,3	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0002642
Tub-59	PZ-59	<input checked="" type="checkbox"/>	2.735,049	PZ-60	2.724,929	74,2	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0004563
Tub-60	PZ-60	<input checked="" type="checkbox"/>	2.724,929	PZ-61	2.723,083	51,7	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0006235
Tub-61	PZ-61	<input checked="" type="checkbox"/>	2.723,083	PZ-36	2.722,304	45,5	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0007318
Tub-62	PZ-62	<input checked="" type="checkbox"/>	2.728,510	PZ-60	2.724,929	67,4	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0001902
Tub-63	PZ-63	<input checked="" type="checkbox"/>	2.728,725	PZ-51	2.724,045	76,2	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0002997
Tub-64	PZ-64	<input checked="" type="checkbox"/>	2.732,935	PZ-46	2.732,800	37,9	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0000545
Tub-65	PZ-65	<input checked="" type="checkbox"/>	2.728,238	PZ-66	2.727,937	51,7	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0000957
Tub-66	PZ-66	<input checked="" type="checkbox"/>	2.727,937	PZ-47	2.726,521	51,3	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0001533
Tub-67	PZ-67	<input checked="" type="checkbox"/>	2.727,690	PZ-68	2.727,120	43,6	Circle - PVC	440	400,0	0,011	0,0000484
Tub-68	PZ-68	<input checked="" type="checkbox"/>	2.727,120	PZ-48	2.726,450	48,2	Circle - PVC	440	400,0	0,011	0,0000869
Tub-622	PZ-622	<input checked="" type="checkbox"/>	2.728,510	PZ-37	2.718,595	95,9	Circle - Concrete	250 mm	200,0	0,014	0,0002588
Tub-PTAR	PZ-Fin	<input checked="" type="checkbox"/>	2.698,380	Desc-2	2.696,000	13,6	Circle - PVC	540	500,0	0,011	0,0118686

Nota. En la siguiente figura se muestra la asignación de los parámetros de la tubería de cada tramo en el programa computacional. Elaborado por: El autor.

Donde:

Invert start: Cota de salida de la tubería en el pozo.

Invert stop: Cota de entrada de la tubería en el pozo.

Length: Longitud de tubería.

Diameter: Diámetro de la tubería.

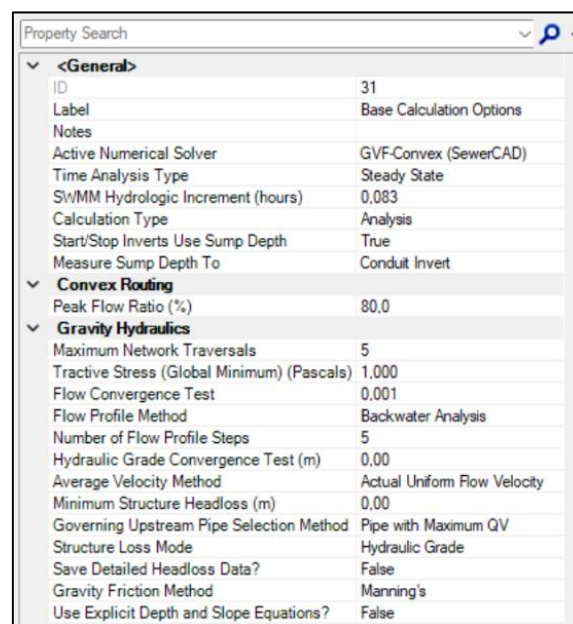
Manning: n de Manning del tipo de material.

Flow: Caudal asignado a cada tramo.

4.2. Escenarios.

Figura 9

Ejemplo de escenario para análisis sanitario



Property Search	
▼ <General>	
ID	31
Label	Base Calculation Options
Notes	
Active Numerical Solver	GVF-Convex (SewerCAD)
Time Analysis Type	Steady State
SWMM Hydrologic Increment (hours)	0,083
Calculation Type	Analysis
Start/Stop Inverts Use Sump Depth	True
Measure Sump Depth To	Conduit Invert
▼ Convex Routing	
Peak Flow Ratio (%)	80,0
▼ Gravity Hydraulics	
Maximum Network Traversals	5
Tractive Stress (Global Minimum) (Pascals)	1,000
Flow Convergence Test	0,001
Flow Profile Method	Backwater Analysis
Number of Flow Profile Steps	5
Hydraulic Grade Convergence Test (m)	0,00
Average Velocity Method	Actual Uniform Flow Velocity
Minimum Structure Headloss (m)	0,00
Governing Upstream Pipe Selection Method	Pipe with Maximum QV
Structure Loss Mode	Hydraulic Grade
Save Detailed Headloss Data?	False
Gravity Friction Method	Manning's
Use Explicit Depth and Slope Equations?	False

Nota. En la figura se muestra la captura de pantalla donde se presentación del análisis hidráulico del sistema de alcantarillado combinado existente. Elaborado por: El autor.

El método numérico para el análisis sanitario fue el GVF-Convex en donde permite la verificación de parámetros como velocidades, pendientes, relación de llenado, etc. Para el reporte de los diferentes escenarios pluvial, sanitario y combinado en conducciones parcialmente llenas con un flujo gradualmente variado.

4.2.1. Alcantarillado combinado

Figura 10
Reporte de la red actual combinada en SewerGems

Label	Start Node	Invert (Start) (m)	Stop Node	Invert (Stop) (m)	Diameter (mm)	Slope (Calculated)	Capacity (Full Flow) (m ³ /s)	Velocity (m/s)	Flow / Capacity (Design) (%)	Hydraulic Radius (Normal) (m)	Tractive Stress (Calculated)
Tub-1	PZ-1	2.862,26	PZ-2	2.848,50	200,0	17,314	0,126728	5,51	136,65	0,050	84,840
Tub-2	PZ-2	2.848,50	PZ-3	2.841,28	200,0	13,702	0,112735	17,78	495,44	0,050	67,139
Tub-3	PZ-3	2.841,28	PZ-4	2.834,15	200,0	10,000	0,096310	20,17	657,94	0,050	49,001
Tub-4	PZ-4	2.834,15	PZ-5	2.833,30	200,0	4,850	0,067074	20,71	969,93	0,050	23,767
Tub-5	PZ-5	2.833,30	PZ-6	2.829,20	200,0	7,056	0,080900	23,18	900,19	0,050	34,574
Tub-6	PZ-6	2.829,20	PZ-7	2.823,52	200,0	7,721	0,084626	25,06	930,44	0,050	37,833
Tub-7	PZ-7	2.823,52	PZ-8	2.820,00	200,0	7,505	0,083437	26,63	1.002,75	0,050	36,777
Tub-8	PZ-8	2.820,00	PZ-9	2.814,39	200,0	9,283	0,092791	28,54	966,22	0,050	45,486
Tub-9	PZ-9	2.814,39	PZ-10	2.806,89	200,0	8,574	0,089177	31,60	1.113,28	0,050	42,011
Tub-10	PZ-10	2.806,89	PZ-11	2.802,54	200,0	8,334	0,087921	33,06	1.181,42	0,050	40,836
Tub-11	PZ-11	2.802,54	PZ-12	2.796,80	200,0	8,204	0,087235	34,57	1.244,84	0,050	40,201
Tub-12	PZ-12	2.796,80	PZ-13	2.787,81	200,0	7,623	0,084088	34,57	1.291,71	0,050	37,353
Tub-13	PZ-13	2.787,81	PZ-14	2.784,71	200,0	7,241	0,081954	34,57	1.325,37	0,050	35,481
Tub-14	PZ-14	2.784,71	PZ-15	2.779,24	200,0	6,945	0,080263	34,58	1.353,43	0,050	34,033
Tub-15	PZ-15	2.779,24	PZ-16	2.771,63	200,0	7,440	0,083072	34,58	1.307,84	0,050	36,456
Tub-16	PZ-16	2.771,63	PZ-17	2.768,10	200,0	5,965	0,074386	34,58	1.460,56	0,050	29,231
Tub-17	PZ-17	2.768,10	PZ-18	2.765,58	200,0	5,171	0,069253	34,58	1.568,85	0,050	25,336
Tub-18	PZ-18	2.765,58	PZ-19	2.763,80	200,0	6,077	0,075075	34,59	1.447,25	0,050	29,775
Tub-19	PZ-19	2.763,80	PZ-20	2.761,16	200,0	9,174	0,092247	35,48	1.208,26	0,050	44,954
Tub-20	PZ-20	2.761,16	PZ-21	2.758,84	200,0	7,158	0,081482	36,64	1.412,86	0,050	35,073
Tub-21	PZ-21	2.758,84	PZ-22	2.755,89	200,0	8,356	0,088036	38,03	1.357,22	0,050	40,943
Tub-22	PZ-22	2.755,89	PZ-23	2.754,22	200,0	5,798	0,073334	39,24	1.680,90	0,050	28,410
Tub-23	PZ-23	2.754,22	PZ-24	2.752,32	200,0	4,547	0,064940	41,34	1.999,73	0,050	22,279
Tub-24	PZ-24	2.752,32	PZ-25	2.751,97	200,0	1,871	0,041657	41,47	3.127,82	0,050	9,167
Tub-25	PZ-25	2.751,97	PZ-26	2.749,26	200,0	7,241	0,081954	42,66	1.635,22	0,050	35,481
Tub-26	PZ-26	2.749,26	PZ-27	2.744,76	200,0	8,860	0,090652	47,62	1.650,46	0,050	43,413
Tub-27	PZ-27	2.744,76	PZ-28	2.741,73	200,0	4,364	0,063623	49,95	2.466,19	0,050	21,384
Tub-28	PZ-28	2.741,73	PZ-29	2.740,54	200,0	4,063	0,061392	50,86	2.602,76	0,050	19,911
Tub-29	PZ-29	2.740,54	PZ-30	2.739,12	200,0	3,769	0,059124	51,07	2.713,47	0,050	18,466
Tub-30	PZ-30	2.739,12	PZ-31	2.734,85	200,0	7,112	0,081218	51,90	2.007,45	0,050	34,847
Tub-31	PZ-31	2.734,85	PZ-32	2.734,35	200,0	1,227	0,033734	58,10	5.410,99	0,050	6,012
Tub-32	PZ-32	2.734,35	PZ-33	2.727,27	250,0	10,245	0,176750	39,24	1.089,82	0,063	62,753
Tub-33	PZ-33	2.727,27	PZ-34	2.727,01	250,0	0,733	0,047269	39,58	4.109,79	0,063	4,488
Tub-34	PZ-34	2.727,01	PZ-35	2.726,82	250,0	0,310	0,030735	40,62	6.487,13	0,063	1,898
Tub-35	PZ-35	2.726,82	PZ-36	2.722,30	250,0	6,677	0,142687	43,75	1.505,25	0,063	40,897
Tub-36	PZ-36	2.722,30	PZ-37	2.718,60	300,0	5,470	0,210015	31,25	1.051,65	0,075	40,207
Tub-37	PZ-37	2.718,60	PZ-38	2.714,99	300,0	5,281	0,206347	31,96	1.094,82	0,075	38,814
Tub-38	PZ-38	2.714,99	PZ-39	2.713,80	300,0	3,219	0,161099	38,22	1.677,11	0,075	23,658
Tub-39	PZ-39	2.713,80	PZ-40	2.709,64	500,0	5,438	1,040591	13,82	260,73	0,125	66,610
Tub-40	PZ-40	2.709,64	PZ-41	2.706,93	500,0	5,871	1,081230	13,82	250,93	0,125	71,915
Tub-41	PZ-41	2.706,93	PZ-42	2.698,38	500,0	7,283	1,204303	15,89	226,39	0,125	89,419
Tub-42	PZ-42	2.741,06	PZ-43	2.739,12	200,0	4,842	0,067018	1,25	58,65	0,053	25,150
Tub-43	PZ-43	2.739,12	PZ-44	2.737,71	250,0	2,037	0,078809	2,24	139,30	0,063	12,476
Tub-44	PZ-44	2.737,71	PZ-45	2.735,87	250,0	2,700	0,090739	3,48	188,07	0,063	16,539
Tub-45	PZ-45	2.735,87	PZ-46	2.732,80	250,0	6,265	0,138215	5,57	197,74	0,063	38,373
Tub-46	PZ-46	2.732,80	PZ-47	2.726,52	300,0	7,134	0,239840	4,39	129,37	0,075	52,437
Tub-47	PZ-47	2.726,52	PZ-48	2.726,45	300,0	0,421	0,058278	4,68	568,13	0,075	3,096
Tub-48	PZ-48	2.726,45	PZ-49	2.725,91	500,0	8,147	1,273743	5,46	26,07	0,096	76,965
Tub-49	PZ-49	2.725,91	PZ-50	2.724,93	500,0	1,614	0,566953	3,01	59,45	0,133	21,061
Tub-50	PZ-50	2.724,93	PZ-51	2.724,05	500,0	1,604	0,565233	3,13	71,56	0,142	22,271
Tub-51	PZ-51	2.724,05	PZ-52	2.723,26	500,0	2,172	0,657693	3,53	62,17	0,135	28,789
Tub-52	PZ-52	2.723,26	PZ-53	2.713,80	500,0	15,853	1,776778	7,39	23,49	0,092	143,370
Tub-53	PZ-53	2.747,19	PZ-54	2.745,17	200,0	8,066	0,086497	2,15	20,01	0,035	27,276
Tub-54	PZ-54	2.745,17	PZ-55	2.740,28	200,0	7,004	0,080599	4,36	169,86	0,050	34,317
Tub-55	PZ-55	2.740,28	PZ-56	2.734,35	200,0	8,858	0,090641	5,74	198,79	0,050	43,402
Tub-56	PZ-56	2.742,21	PZ-57	2.741,27	200,0	2,013	0,043215	0,73	52,83	0,051	10,071
Tub-57	PZ-57	2.741,27	PZ-58	2.740,28	200,0	2,234	0,045522	2,46	169,81	0,050	10,947
Tub-58	PZ-58	2.737,11	PZ-59	2.727,27	200,0	12,575	0,107999	3,76	73,91	0,057	70,539
Tub-59	PZ-59	2.735,05	PZ-60	2.724,93	200,0	13,641	0,112485	3,91	73,37	0,057	76,349
Tub-60	PZ-60	2.724,93	PZ-61	2.723,08	200,0	3,571	0,057550	3,59	196,23	0,050	17,496
Tub-61	PZ-61	2.723,08	PZ-62	2.722,30	200,0	1,713	0,039858	4,15	327,13	0,050	8,392
Tub-62	PZ-62	2.728,51	PZ-63	2.724,93	200,0	5,310	0,070179	2,22	49,02	0,050	25,820
Tub-63	PZ-63	2.728,73	PZ-64	2.724,05	200,0	6,139	0,075460	2,59	69,15	0,056	33,723
Tub-64	PZ-64	2.732,94	PZ-65	2.732,80	200,0	0,356	0,018177	0,26	44,39	0,048	1,668
Tub-65	PZ-65	2.728,24	PZ-66	2.727,94	200,0	0,582	0,023235	0,39	52,66	0,051	2,909
Tub-66	PZ-66	2.727,94	PZ-67	2.726,52	200,0	2,759	0,050586	0,67	41,89	0,047	12,627
Tub-67	PZ-67	2.727,69	PZ-68	2.727,12	400,0	1,306	0,281281	1,08	3,88	0,034	4,301
Tub-68	PZ-68	2.727,12	PZ-69	2.726,45	400,0	1,389	0,290075	1,31	6,66	0,043	5,818
Tub-622	PZ-622	2.728,51	PZ-37	2.718,60	200,0	10,339	0,097929	3,01	43,41	0,047	47,992
Tub-PTAR	PZ-Fin	2.698,38	Desc-2	2.696,00	500,0	17,507	1,867188	13,89	146,02	0,125	214,466

Nota. En la figura se muestra la captura de pantalla de la tabla de resultados generados del modelo hidráulico del sistema de alcantarillado combinado actual. Elaborado por: El autor.

Tabla 26

Resultados de red de alcantarillado combinado en el Excel elaborado.

Tubería	Qd/QLL (%)
Tub-1	138%
Tub-2	498%
Tub-3	659%
Tub-4	970%
Tub-5	901%
Tub-6	931%
Tub-7	1003%
Tub-8	967%
Tub-9	1114%
Tub-10	1182%
Tub-11	1246%
Tub-12	1292%
Tub-13	1326%
Tub-14	1354%
Tub-15	1308%
Tub-16	1461%
Tub-17	1568%
Tub-18	1447%
Tub-19	1202%
Tub-20	1394%
Tub-21	1329%
Tub-22	1634%
Tub-23	1923%
Tub-24	3005%
Tub-25	1574%
Tub-26	1597%
Tub-27	2386%
Tub-28	2519%
Tub-29	2627%
Tub-30	1946%
Tub-31	5164%
Tub-32	1045%
Tub-33	3933%
Tub-34	6216%
Tub-35	1446%
Tub-36	1010%
Tub-37	1049%

Tub-38	1616%
Tub-39	251%
Tub-40	242%
Tub-41	218%
Tub-42	59%
Tub-43	138%
Tub-44	188%
Tub-45	198%
Tub-46	130%
Tub-47	568%
Tub-48	60%
Tub-49	59%
Tub-50	72%
Tub-51	62%
Tub-52	24%
Tub-53	20%
Tub-54	131%
Tub-55	164%
Tub-56	53%
Tub-57	100%
Tub-58	73%
Tub-59	74%
Tub-60	196%
Tub-61	617%
Tub-62	49%
Tub-63	69%
Tub-64	44%
Tub-65	53%
Tub-66	42%
Tub-67	5%
Tub-68	10%
Tub-622	44%

Nota. En la figura se muestra la tabla de resultados generados del modelo hidráulico en Excel para la comparativa con el software de los pozos indicados. Elaborado por: El autor.

A partir de la modelación hidráulica realizada bajo el programa SewerGEMS y Excel, se establecieron las condiciones operativas de la red de alcantarillado teniendo en cuenta las velocidades de flujo y la relación entre el flujo de diseño y el flujo de sección completa (Q_d/Q_{LL}) para verificar el cumplimiento con los parámetros de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS–Quito).

Para las velocidades, se identificó que secciones individuales del sistema están por encima de la velocidad máxima permitida de 6 m/s, lo que resulta al desgaste en tuberías y estructuras, lo que disminuye la vida útil del sistema de alcantarillado combinado. Solo las secciones de Tub-1, Tub-42, Tub-43, Tub-44, Tub-45, Tub-46, Tub-47, Tub-48, Tub-49, Tub-50, Tub-51, Tub-52, Tub-53, Tub-54, Tub-55, Tub-56, Tub-57, Tub-58, Tub-59, Tub-60, Tub-61, Tub-62, Tub-63, Tub-64, Tub-65, Tub-66, Tub-67, Tub-68 y Tub-622 están dentro del rango de velocidad permitido. Dicho esto, se registró que las áreas Tub-64 y Tub-65 tienen velocidades inferiores a 0.60 m/s, lo cual está por debajo del valor mínimo recomendado para autolimpieza.

Los resultados de la evaluación en el programa SewerGems como en el Excel elaborado sobre la relación de llenado Q_d/Q_{LL} revela que gran parte de la red opera por encima del 80% del flujo de sección completa, sobrepasando su capacidad hidráulica máxima y limitando el margen de seguridad ante aumentos de flujo o eventos extremos. Solo las secciones Tub-42, Tub-48, Tub-49, Tub-50, Tub-51, Tub-52, Tub-53, Tub-56, Tub-58, Tub-62, Tub-63, Tub-64, Tub-65, Tub-66, Tub-67, Tub-68 y Tub-622, cumplen con los criterios mencionados de porcentaje de llenado.

CAPÍTULO VI

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO

5.1. Parámetros para considerar para el rediseño

5.1.1. Período de diseño

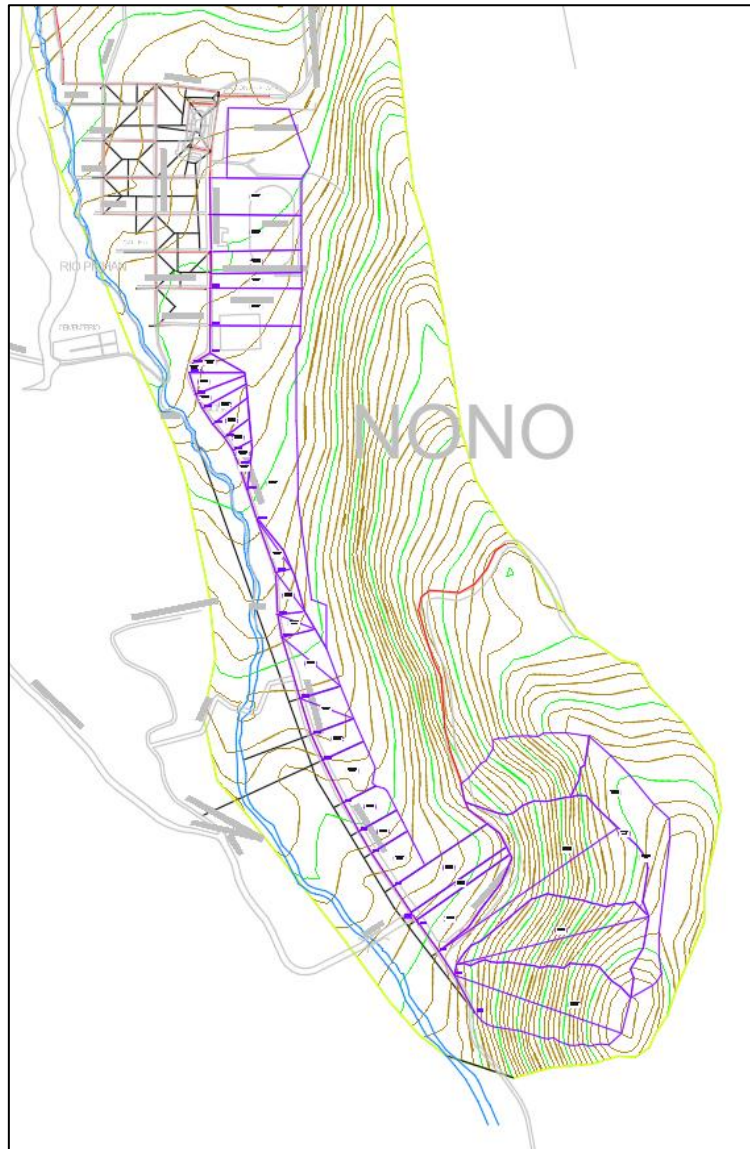
Para este proyecto se ha definido un período de diseño de 30 años, de acuerdo con la normativa para sistemas de alcantarillado establecida por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS-Q), para planificar un sistema de alcantarillado que responda de forma adecuada al crecimiento poblacional de la parroquia de Nono, así como al desarrollo de sus actividades turísticas y asegurar un funcionamiento eficiente del sistema de recolección y evacuación de aguas residuales a lo largo del tiempo.

5.1.2. Áreas tributarias

Para el diseño de los nuevos sistemas se consideró como área tributaria la posible lotización de la hacienda La Querencia, según información del GAD parroquial de Nono. Debido a su amplia extensión territorial, su incorporación permitió proyectar el crecimiento urbano futuro y estimar caudales domésticos representativos para el diseño del alcantarillado separado.

Figura 11

Áreas de aportación adicionales



Nota. Las áreas con delineado morado corresponde a la nueva área de aportación para tomar en cuenta en el rediseño sanitario. Elaborado por: El autor.

5.1.3. Análisis poblacional

Se repite el procedimiento explicado en 3.1.2. Sin embargo, en este caso la proyección es de 30 años.

5.1.3.1. Tasa de crecimiento.

De acuerdo con la información estadística recopilada para la parroquia de Nono, a partir de los censos poblacionales realizados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC),

se evidencia una variación en el crecimiento poblacional a lo largo del tiempo. El análisis de los datos censales muestra un incremento poblacional significativo a partir del año 2001 lo que refleja una tendencia de crecimiento exponencial.

La información detallada del crecimiento poblacional se presenta en la Tabla 10, la cual constituye la base para el análisis demográfico y la proyección de la población, en este caso se tomó un valor de 4.93%.

5.1.3.2. *Población flotante.*

Dado que la parroquia de Nono se ha consolidado como destino turístico y actualmente recibe una cantidad significativa de visitantes, fue necesario considerar la población flotante dentro del análisis del sistema de alcantarillado combinado, de manera que el estudio refleje de forma más realista las condiciones de uso y la demanda generada por esta población, como se expone en la Tabla 11.

5.1.3.3. *Estimación de la población futura*

5.1.3.3.1. *Método geométrico.* Aplicando el método geométrico para la estimación de la población en el año 2055 se obtuvo lo siguiente.

Tabla 23

Población 2055 con método geométrico.

DATO	VALOR	UNIDAD
Po=	2,938	hab
to=	2022	-
tf=	2055	-
r=	4,93%	hab/año
n=	33	años
Pf=	14379	hab

Nota. Datos de población inicial del 2022. Elaborado por: El autor.

Obteniendo una población de 14379 habitantes.

5.1.3.3.2. **Método aritmético.** El método aritmético para la estimación de la población en Nono para el año 2055 arroja los siguientes resultados.

Tabla 24

Población 2055 con método aritmético.

DATO	VALOR	UNIDAD
Po=	2,938	hab
to=	2022	-
tf=	2055	-
ka=	4,93	hab/año
Pf=	2940	hab

Nota. Datos de población inicial del 2022. Elaborado por: El autor.

Obteniendo una población de 2940 habitantes.

5.1.3.3.3. **Método exponencial.** Una vez analizado el incremento exponencial de la población de Nono para el año 2055, se obtiene.

Tabla 25

Población 2025 con método exponencial.

DATO	VALOR	UNIDAD
Pa=	2,938	hab
to=	2022	-
tf=	2055	-
ka=	4,93%	hab/año
n=	33	años
Pf=	14949	hab

Nota. Datos de población inicial del 2055. Elaborado por: El autor.

Obteniendo una población de 14949 habitantes.

De la misma manera los datos de la población a utilizar para el diseño con la población ajustada son de 3595 habitantes.

5.1.1. Dotación

Según lo expuesto en la Tabla 6, la dotación media futura será de 150 l/s/Hab.

5.2. Análisis de caudales

5.2.1. Análisis de aporte sanitario

El análisis se realizó considerando los diferentes tipos de caudales que intervienen en el sistema. Para ello, se tomó en cuenta tanto el aporte doméstico como el comercial, además de las infiltraciones y posibles conexiones erradas que puedan presentarse en la red.

Se contempló proyecciones de población futura utilizando tasas de crecimiento demográfico provenientes de fuentes confiables, como el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), asegurando que la infraestructura responda no solo a las condiciones actuales sino también a las necesidades de expansión en los próximos 30 años. La población futura (Pf) tuvo una reducción debido a que, según lo expuesto en el INEC, que solo el 19% de la población cuenta con el sistema de alcantarillado.

Tabla 26

Población final para el rediseño.

AÑO	POBLACIÓN	POBLACIÓN ZONA POBLADA	POBLACIÓN AJUSTADA (FLOTANTE)	POBLACIÓN FINAL
1982	1678	-	-	-
1990	1455	-	-	-
2001	1724	-	-	-
2010	1678,5	-	-	-
2022	2938	-	-	-
2055	14379	2732	3595	3595

Nota. Datos de población para 2055 ajustados para el rediseño. Elaborado por: El autor.

5.2.2. Diagnóstico técnico del sistema

A partir de la evaluación técnica del sistema de alcantarillado, se identificó que la principal problemática está relacionada con el manejo del caudal pluvial, evidenciándose un

dimensionamiento insuficiente de la red frente al aporte total de la cuenca que rodea a la zona urbana de la parroquia de Nono. Este aporte hidráulico afecta directamente el funcionamiento de los colectores y pozos de revisión existentes.

Se constató la presencia de sumideros que descargan directamente al río Pichán, no obstante, dicha infraestructura resulta insuficiente para evacuar la totalidad de la escorrentía generada durante eventos de precipitación intensa. El análisis de la relación entre el caudal de diseño y el caudal que actualmente transportan las tuberías muestra que, en la mayoría de los colectores evaluados, la capacidad hidráulica es superada, registrándose porcentajes de ocupación superiores al 100 %.

5.2.3. Planteamiento de alternativas

La alternativa inicialmente planteada consistía en la implementación de un separador de caudales; sin embargo, el análisis técnico evidenció que el sistema de alcantarillado existente se encuentra caduco, al haber superado su período de diseño. Adicionalmente, se considera que la mayoría de los colectores existentes son de hormigón, material que presenta un grado significativo de deterioro debido a su antigüedad y condiciones de operación.

Bajo estas consideraciones, se plantea como alternativa viable el rediseño integral del sistema de alcantarillado, en concordancia con las disposiciones y normativas vigentes de la EPMAPS–Quito, las cuales establecen que los nuevos proyectos deben contemplar el diseño de un sistema de alcantarillado separado.

5.2.4. Propuesta del nuevo diseño del sistema de alcantarillado

La nueva propuesta contempla la implementación de un sistema de alcantarillado separado para facilitar el análisis hidráulico y el proceso constructivo, se consideran las mismas pendientes y cotas de los pozos de revisión del sistema existente, lo cual permite una ejecución más eficiente desde el punto de vista técnico y constructivo.

Asimismo, conforme a lo expuesto en el diagnóstico, la principal problemática del sistema corresponde al manejo del caudal pluvial y debido a esto se establece la incorporación de cuatro puntos de descarga pluvial a lo largo de la red, con el objetivo de mejorar la restitución del caudal hacia el río Pichán y optimizar el funcionamiento hidráulico del sistema.

5.2.5.Rediseño

Luego de realizar los cálculos correspondientes y considerando todos los parámetros previamente descritos, el diseño del sistema propuesto se desarrolló conforme a la normativa vigente de la EPMAPS–Quito, aplicando los mismos criterios y procedimientos empleados en la evaluación del sistema existente. No obstante, se adoptaron nuevos parámetros de diseño, tales como un período de retorno (TR) de 10 años, un período de diseño o año horizonte fue de 30 con una población futura proyectada al año 2055, con el fin de garantizar un funcionamiento adecuado del sistema frente a las condiciones hidráulicas actuales y futuras.

A continuación, se presenta un ejemplo representativo del cálculo de diseño aplicado a un tramo del sistema; sin embargo, el análisis completo y detallado de todos los tramos evaluados se presenta en el anexo correspondiente, donde se incluyen los resultados y procedimientos utilizados.

El análisis de diseño para el caudal sanitario se realizó con el cambio de tubería a 250mm PVC debido a que no afecta directamente a caudal en condiciones llenas u otro parámetro, para este nuevo diseño se obtuvieron resultados generales de 35,40 l/s de caudal sanitario y del pluvial 6989,66 l/s.

Tabla 27*Rediseño de sistema de alcantarillado separado datos pluviales.*

Rediseño pluvial			
Pozos	Caudal pluvial acumulado (m3/s)	Tubería	Diámetro Pluvial
P1	0,3079		
P2	1,0120	Tub1	500
P3	1,1689	Tub2	500
P4	1,2207	Tub3	700
P5	1,4339	Tub4	700
P6	1,5917	Tub5	700
P7	1,7078	Tub6	800
P8	1,8778	Tub7	1000
P9	2,1148	Tub8	1000
P10	2,2596	Tub9	1000
P11	2,4287	Tub10	1000
P12	2,6048	Tub11	1000
P13	2,6048	Tub12	1000
P14	0,0000	Tub13	1000
P15	0,1937	Tub14	0
P16	0,2978	Tub15	300
P17	0,3354	Tub16	364
P18	0,3731	Tub17	364
P19	0,4138	Tub18	400
P20	0,4718	Tub19	400
P21	0,5311	Tub20	400
P22	0,5876	Tub21	400
P23	0,6339	Tub22	500
P24	0,6934	Tub23	500
P25	0,0000	Tub24	600
P26	0,0673	Tub25	0
P27	0,5497	Tub26	500
P28	0,6974	Tub27	500
P29	0,7612	Tub28	600
P30	0,7675	Tub29	600
P31	0,7933	Tub30	600
P32	0,0246	Tub31	1000
P33	1,7865	Tub32	1000
P34	1,8036	Tub33	1000
P35	1,8565	Tub34	1400
P36	0,0000	Tub35	0

P37	1,6355	Tub36	700
P38	1,7225	Tub37	800
P39	1,8157	Tub38	1000
P40	1,8350	Tub39	1000
P42	0,3095	Tub41	0
P43	0,6553	Tub42	500
P44	0,8551	Tub43	600
P45	1,2106	Tub44	600
P46	1,3969	Tub45	600
P47	1,4631	Tub46	700
P48	1,4645	Tub47	800
P49	1,4722	Tub48	800
P50	0,0000	Tub49	1300
P51	0,0409	Tub50	0
P52	0,0529	Tub51	250
P53	0,0228	Tub52	250
P54	0,7986	Tub53	250
P55	0,8620	Tub54	600
P56	0,4163	Tub55	900
P57	0,7140	Tub56	600
P58	0,0894	Tub57	1000
P59	0,6686	Tub58	250
P60	0,7258	Tub59	400
P61	0,7625	Tub60	600
P62	0,5771	Tub61	600
P63	0,0919	Tub62	500
P64	0,0181	Tub63	250
P65	0,0191	Tub64	250
P66	0,0383	Tub65	250
P67	0,0409	Tub66	300
P68	0,0625	Tub67	300
P622	0,8568	Tub68	400
PFIN	1,8350	Tub69	1000

Nota. Se evidencia el caudal pluvial y diámetros nuevos de tubería. Elaborado por: El autor.

Tabla 28*Rediseño de sistema de alcantarillado separado datos sanitarios.*

Rediseño sanitario			
Pozos	Caudal domestico acumulado (m3/s)	Tubería	Diámetro Sanitario (mm)
P1	0,00265		250
P2	0,00873	Tub1	250
P3	0,00947	Tub2	250
P4	0,00971	Tub3	250
P5	0,01075	Tub4	250
P6	0,01148	Tub5	250
P7	0,01210	Tub6	250
P8	0,01289	Tub7	250
P9	0,01400	Tub8	250
P10	0,01468	Tub9	250
P11	0,01547	Tub10	250
P12	0,01630	Tub11	250
P13	0,01648	Tub12	250
P14	0,01682	Tub13	250
P15	0,01716	Tub14	250
P16	0,01729	Tub15	250
P17	0,01741	Tub16	250
P18	0,01755	Tub17	250
P19	0,01775	Tub18	250
P20	0,01797	Tub19	250
P21	0,01820	Tub20	250
P22	0,01838	Tub21	250
P23	0,01862	Tub22	250
P24	0,01864	Tub23	250
P25	0,01888	Tub24	250
P26	0,02209	Tub25	250
P27	0,02308	Tub26	250
P28	0,02350	Tub27	250
P29	0,02354	Tub28	250
P30	0,02372	Tub29	250
P31	0,02456	Tub30	250
P32	0,02504	Tub31	250
P33	0,02516	Tub32	250
P34	0,02552	Tub33	250
P35	0,02649	Tub34	250
P36	0,02696	Tub35	250
P37	0,02728	Tub36	250

P38	0,03524	Tub37	250
P39	0,03532	Tub38	250
P40	0,03532	Tub39	250
P41	0,03540	Tub40	250
P42	0,00105	Tub41	250
P43	0,00259	Tub42	250
P44	0,00346	Tub43	250
P45	0,00615	Tub44	250
P46	0,00697	Tub45	250
P47	0,00724	Tub46	250
P48	0,00725	Tub47	250
P49	0,00728	Tub48	250
P50	0,00772	Tub49	250
P51	0,00775	Tub50	250
P52	0,00781	Tub51	250
P53	0,00007	Tub52	250
P54	0,00054	Tub53	250
P55	0,00074	Tub54	250
P56	0,00016	Tub55	250
P57	0,00027	Tub56	250
P58	0,00030	Tub57	250
P59	0,00051	Tub58	250
P60	0,00070	Tub59	250
P61	0,00082	Tub60	250
P62	0,00021	Tub61	250
P63	0,00034	Tub62	250
P64	0,00006	Tub63	250
P65	0,00011	Tub64	250
P66	0,00017	Tub65	250
P67	0,00017	Tub66	250
P68	0,00026	Tub67	250
P622	0,00029	Tub68	250
PFIN	0,03540	Tub69	250

Nota. Se evidencia el caudal sanitario y diámetros nuevos de tubería. Elaborado por: El autor.

5.2.5.1. **Condiciones de diseño.** Se estimaron las razones V/V_0 , R/R_0 y Y/D para comparar el flujo de la sección normal y parcialmente llena (Q/Q_0), con el fin de evaluar el rendimiento hidráulico de las tuberías del sistema de alcantarillado sanitario y pluvial. Esto permitió estudiar el rendimiento del flujo parcialmente lleno y validar la efectividad hidráulica de cada sección. También se verificó que la relación entre la profundidad del agua y el diámetro de la tubería (y/D) no debe ser mayor al 80% de la capacidad total, ya que valores altos pueden llevar a una sobrecarga del sistema, aumento de presión y posiblemente fallos operativos. Además, se verificó que las velocidades de circulación estuvieran dentro de los rangos normales de 0.6 m/s a 6.5 m/s para reducir la sedimentación y la erosión; que la fuerza tractiva superara los 0.10 kg/m² para ayudar al transporte de sólidos; y que parámetros como el radio hidráulico, la profundidad del agua y el porcentaje de llenado (< 0.8) y otras relaciones geométrico-hidráulicas cumplieran con los parámetros de diseño. Estas verificaciones se confirmaron a través del modelado computacional y se comparó con análisis en hojas de cálculo creadas en el rediseño de las redes sanitarias y pluviales, de acuerdo con las directrices técnicas realizadas por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito.

Tabla 29
Resultados de las condiciones de diseño sanitario en Excel.

RESULTADOS DE CAUDAL SANITARIO						
Pozo	Velocidad (m/s)	Qd/QLL (adm)	Radio H (m)	Yn (m)	Fuerza Tractiva (kg/m²)	Yn/D
P1	1,7834	0,961%	0,0112	0,0173	1,7222	6,92%
P2						
P2	2,5057	3,255%	0,0194	0,0309	2,8276	12,36%
P3						
P3	2,2095	4,368%	0,0221	0,0356	2,1041	14,24%
P4						
P4	1,8796	5,703%	0,0249	0,0405	1,4635	16,20%

P5						
P5	2,0766	5,715%	0,0249	0,0405	1,7856	16,22%
P6						
P6	2,1605	5,934%	0,0254	0,0413	1,9221	16,52%
P7						
P7	2,2325	6,108%	0,0257	0,0419	2,0434	16,76%
P8						
P8	2,3986	6,035%	0,0256	0,0416	2,3632	16,66%
P9						
P9	2,3543	6,966%	0,0272	0,0447	2,2288	17,87%
P10						
P10	2,4362	7,095%	0,0275	0,0451	2,3801	18,03%
P11						
P11	2,4404	7,626%	0,0284	0,0467	2,3630	18,68%
P12						
P12	2,4083	8,367%	0,0295	0,0489	2,2703	19,55%
P13						
P13	2,3582	8,752%	0,0301	0,0500	2,1624	19,99%
P14						
P14	2,3463	9,076%	0,0306	0,0509	2,1292	20,35%
P15						
P15	2,4257	8,907%	0,0304	0,0504	2,2822	20,16%
P16						
P16	2,2097	10,270%	0,0323	0,0541	1,8546	21,64%
P17						
P17	2,1424	10,839%	0,0331	0,0556	1,7297	22,23%
P18						
P18	2,3206	9,789%	0,0317	0,0528	2,0599	21,13%
P19						
P19	2,5786	8,570%	0,0299	0,0494	2,5936	6,92%
P20						
P20	2,4857	9,185%	0,0308	0,0512	2,3856	12,36%

P21						
P21	2,4380	9,607%	0,0314	0,0523	2,2799	14,24%
P22						
P22	2,3965	9,986%	0,0319	0,0533	2,1903	16,20%
P23						
P23	1,8982	14,128%	0,0371	0,0635	1,3066	16,22%
P24						
P24	1,6596	17,078%	0,0403	0,0699	0,9720	16,52%
P25						
P25	2,4659	9,960%	0,0319	0,0533	2,3201	16,76%
P26						
P26	2,6709	11,107%	0,0335	0,0562	2,6789	16,66%
P27						
P27	2,3617	14,045%	0,0370	0,0633	2,0245	17,87%
P28						
P28	2,0490	17,587%	0,0408	0,0709	1,4755	28,38%
P29						
P29	1,6562	23,719%	0,0463	0,0828	0,9242	33,14%
P30						
P30	2,5965	12,776%	0,0356	0,0603	2,4809	6,92%
P31						
P31	1,7708	22,925%	0,0457	0,0814	1,0614	12,36%
P32						
P32	2,9722	11,403%	0,0338	0,0570	3,3044	14,24%
P33						
P33	1,6916	25,254%	0,0476	0,0856	0,9556	16,20%
P34						
P34	1,4044	33,284%	0,0533	0,0993	0,6342	16,22%
P35						
P35	2,3879	16,785%	0,0400	0,0693	2,0174	16,52%
P36						
P36	2,3400	17,698%	0,0409	0,0712	1,9226	16,76%

P37						
P37	2,3951	17,414%	0,0406	0,0706	2,0187	16,66%
P38						
P38	2,2018	27,958%	0,0496	0,0904	1,5964	17,87%
P39						
P39	2,4241	24,544%	0,0470	0,0843	1,9704	16,76%
P40						
P40	3,1371	17,138%	0,0404	0,0700	3,4713	16,66%
P41						
P41	2,7398	20,775%	0,0438	0,0773	2,5764	17,87%
PFIN						

Nota. Condiciones de diseño de los pozos indicados para caudal sanitario. Elaborado por: El autor.

Figura 12

Resultados de las condiciones de diseño sanitario en programa computacional

Label ▲	Velocity (m/s)	Flow / Capacity (Design) (%)	Hydraulic Radius (Normal) (m)	Depth (Normal) (m)	Tractive Stress (Calculated) (kg/m ²)	Depth (Normal) / Rise (%)
Tub-1	1,796	0,9831	0,0111	0,0172	1,715	6,8958
Tub-2	2,511	3,3298	0,0194	0,0309	2,823	12,3480
Tub-3	2,215	4,4688	0,0221	0,0356	2,100	14,2202
Tub-4	1,880	5,8343	0,0249	0,0405	1,463	16,2111
Tub-5	2,077	5,8471	0,0250	0,0406	1,785	16,2284
Tub-6	2,161	6,0704	0,0254	0,0413	1,922	16,5272
Tub-7	2,234	6,2491	0,0257	0,0419	2,041	16,7517
Tub-8	2,401	6,1740	0,0256	0,0416	2,361	16,6526
Tub-9	2,355	7,1263	0,0272	0,0447	2,227	17,8692
Tub-10	2,437	7,2589	0,0275	0,0451	2,379	18,0321
Tub-11	2,443	7,8022	0,0283	0,0467	2,361	18,6731
Tub-12	2,409	8,5594	0,0295	0,0489	2,269	19,5551
Tub-13	2,358	8,9536	0,0301	0,0500	2,161	19,9945
Tub-14	2,347	9,2853	0,0306	0,0509	2,128	20,3573
Tub-15	2,426	9,1127	0,0304	0,0504	2,282	20,1693
Tub-16	2,210	10,5068	0,0323	0,0541	1,853	21,6389
Tub-17	2,143	11,0889	0,0331	0,0556	1,728	22,2295
Tub-18	2,321	10,0143	0,0317	0,0528	2,059	21,1339
Tub-19	2,579	8,7675	0,0299	0,0495	2,593	19,7883
Tub-20	2,486	9,3966	0,0308	0,0512	2,385	20,4776
Tub-21	2,438	9,8283	0,0314	0,0523	2,279	20,9383
Tub-22	2,398	10,2167	0,0319	0,0533	2,189	21,3389
Tub-23	1,898	14,4537	0,0372	0,0635	1,306	25,3934
Tub-24	1,661	17,4716	0,0403	0,0699	0,971	27,9491
Tub-25	2,467	10,1896	0,0319	0,0533	2,319	21,3107
Tub-26	2,671	11,3632	0,0335	0,0563	2,677	22,5028
Tub-27	2,362	14,3689	0,0371	0,0633	2,024	25,3180
Tub-28	2,051	17,9929	0,0408	0,0709	1,474	28,3720
Tub-29	1,657	24,2663	0,0463	0,0828	0,923	33,1337
Tub-30	2,595	13,0706	0,0356	0,0604	2,481	24,1526
Tub-31	1,772	23,4536	0,0457	0,0814	1,060	32,5461
Tub-32	2,972	11,6659	0,0339	0,0570	3,303	22,8055
Tub-33	1,691	25,8358	0,0476	0,0857	0,955	34,2751
Tub-34	1,403	34,0509	0,0533	0,0994	0,634	39,7514
Tub-35	2,519	15,9350	0,0387	0,0667	2,267	26,6784
Tub-36	2,343	18,1055	0,0409	0,0711	1,921	28,4580
Tub-37	2,396	17,8158	0,0406	0,0706	2,017	28,2366
Tub-38	2,200	28,6023	0,0496	0,0904	1,596	36,1794
Tub-39	2,422	25,1099	0,0470	0,0844	1,971	33,7754
Tub-40	3,139	17,5336	0,0404	0,0700	3,468	28,0034
Tub-41	2,740	21,2541	0,0438	0,0773	2,575	30,9305

Nota. Condiciones de diseño de los pozos indicados para verificación de resultados sanitarios.

Elaborado por: El autor.

5.2.5.1.1. *Alcantarillado pluvial*

Tabla 30

Resultados de las condiciones de diseño pluvial en Excel.

RESULTADOS DE CAUDAL PLUVIAL						
Pozo	Velocidad (m/s)	Qd/QLL (adm)	Radio H (m)	Yn (m)	Fuerza Tractiva (kg/m²)	Yn/D
P1	6,6698	17,74%	0,0819	0,1425	12,3943	28,50%
P2						
P2	7,4971	75,55%	0,1440	0,3247	12,9747	64,94%
P3						
P3	6,7418	43,48%	0,1659	0,3228	10,0088	46,11%
P4						
P4	5,9300	54,68%	0,1809	0,3692	7,5237	52,74%
P5						
P5	6,9892	54,44%	0,1806	0,3682	10,4569	52,60%
P6						
P6	6,5857	47,45%	0,1961	0,3879	9,0331	48,49%
P7						
P7	6,1425	31,30%	0,2079	0,3842	7,7069	38,42%
P8						
P8	7,0979	29,23%	0,2021	0,3703	10,3873	37,03%
P9						
P9	7,4365	32,29%	0,2106	0,3908	11,2479	39,08%
P10						
P10	6,7450	40,38%	0,2302	0,4421	8,9818	44,21%
P11						
P11	7,1578	41,08%	0,2318	0,4464	10,0920	44,64%
P12						
P12	7,2649	44,26%	0,2386	0,4658	10,2957	46,58%
P13						

P14	4,5273	64,28%	0,0821	0,1749	5,7071	58,30%
P15						
P15	5,2013	56,75%	0,0953	0,1963	7,1658	53,94%
P16						
P16	4,8102	73,16%	0,1038	0,2312	5,9565	63,51%
P17						
P17	4,7874	66,32%	0,1106	0,2380	5,7779	59,49%
P18						
P18	5,3351	65,91%	0,1103	0,2370	7,1804	59,25%
P19						
P19	6,1464	65,03%	0,1099	0,2350	9,5445	58,74%
P20						
P20	6,0223	77,51%	0,1161	0,2645	8,9966	66,12%
P21						
P21	6,0893	48,86%	0,1239	0,2466	8,9995	49,32%
P22						
P22	6,0729	54,24%	0,1288	0,2624	8,8359	52,48%
P23						
P23	4,8357	50,95%	0,1510	0,3033	5,3130	50,55%
P24						
P25	3,4365	36,89%	0,0555	0,1051	3,7454	42,04%
P26						
P26	5,9151	46,45%	0,1216	0,2394	8,5466	47,89%
P27						
P27	5,7491	65,99%	0,1380	0,2965	7,7392	59,30%
P28						
P28	4,9994	55,17%	0,1555	0,3181	5,6234	53,02%
P29						
P29	3,9768	74,88%	0,1724	0,3872	3,4385	64,54%
P30						
P30						

P31	5,9082	46,67%	0,1461	0,2881	8,0191	48,02%
P31						
P32	3,3407	68,56%	0,2795	0,6080	2,0654	60,80%
P32						
P33	8,5608	21,04%	0,1762	0,3113	15,8180	31,13%
P33						
P34	4,9761	44,91%	0,2400	0,4697	4,8214	46,97%
P34						
P35	1,7845	73,96%	0,4007	0,8959	0,5227	63,99%
<hr/>						
P36						
P36	5,9749	78,80%	0,2041	0,4684	7,3369	66,92%
P37						
P37	5,9581	60,15%	0,2139	0,4473	7,1823	55,91%
P38						
P38	5,1024	43,81%	0,2377	0,4631	5,0853	46,31%
P39						
P39	5,2008	43,31%	0,2366	0,4600	5,2914	46,00%

PFIN 40

Nota. Condiciones de diseño de los pozos indicados para el caudal pluvial. Elaborado por: El autor.

Se evidencia que aproximadamente de aporte pluvial futuro es de 6.99m³/s pero están distribuidos en las diferentes restituciones al río Pichan.

Figura 13

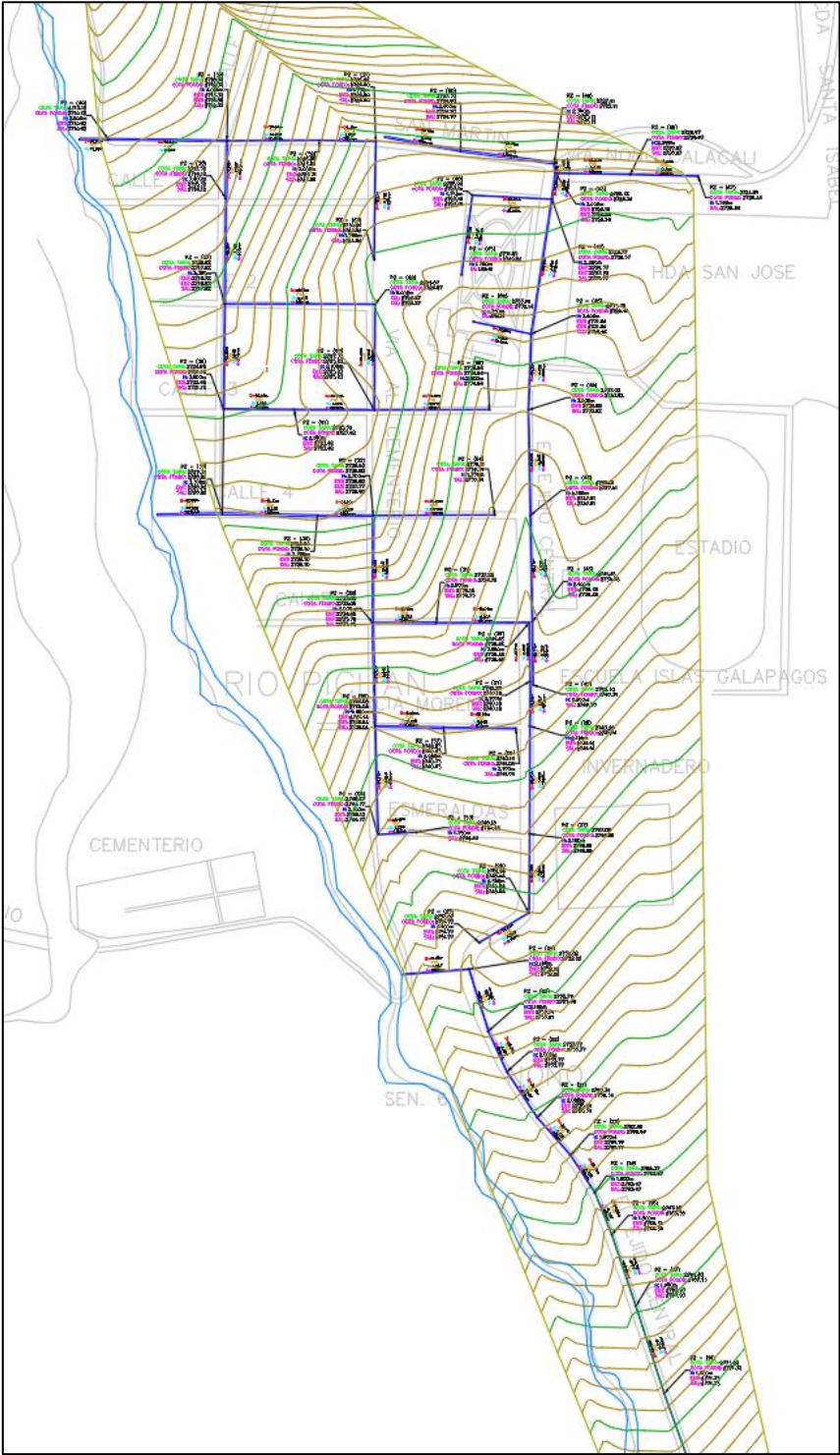
Resultados de las condiciones de diseño pluvial en programa computacional

Label ▲	Velocity (m/s)	Flow / Capacity (Design) (%)	Hydraulic Radius (Normal) (m)	Depth (Normal) (m)	Tractive Stress (Calculated) (kg/m ²)	Depth (Normal) / Rise (%)
Tub-1	6,668	18,147	0,082	0,14	12,393	28,520
Tub-2	7,496	77,296	0,144	0,32	12,968	64,959
Tub-3	6,740	44,480	0,166	0,32	10,003	46,117
Tub-4	5,931	55,943	0,181	0,37	7,518	52,737
Tub-5	6,990	55,696	0,181	0,37	10,449	52,596
Tub-6	6,585	48,547	0,196	0,39	9,028	48,497
Tub-7	6,143	32,024	0,208	0,38	7,703	38,426
Tub-8	6,842	31,465	0,206	0,38	9,577	38,062
Tub-9	7,437	33,036	0,211	0,39	11,240	39,081
Tub-10	6,745	41,306	0,230	0,44	8,976	44,216
Tub-11	7,158	42,025	0,232	0,45	10,086	44,648
Tub-12	7,266	45,279	0,239	0,47	10,288	46,575
Tub-12	6,041	12,826	0,183	0,31	7,767	23,910
Tub-14	4,527	65,754	0,082	0,17	5,704	58,311
Tub-15	5,202	58,061	0,095	0,20	7,161	53,940
Tub-16	4,809	74,854	0,104	0,23	5,954	63,540
Tub-17	4,787	67,846	0,111	0,24	5,774	59,501
Tub-18	5,335	67,429	0,110	0,24	7,176	59,264
Tub-19	6,146	66,533	0,110	0,24	9,539	58,754
Tub-20	6,021	79,295	0,116	0,26	8,992	66,142
Tub-21	6,087	49,986	0,124	0,25	8,996	49,341
Tub-22	6,074	55,489	0,129	0,26	8,830	52,479
Tub-23	4,837	52,124	0,151	0,30	5,309	50,548
Tub-25	3,437	37,725	0,056	0,11	3,742	42,027
Tub-26	5,917	47,526	0,122	0,24	8,540	47,887
Tub-27	5,749	67,513	0,138	0,30	7,735	59,311
Tub-28	5,000	56,441	0,156	0,32	5,620	53,019
Tub-29	3,978	76,612	0,172	0,39	3,436	64,536
Tub-30	5,910	47,743	0,146	0,29	8,013	48,013
Tub-31	0,999	1,033	0,046	0,07	0,337	7,089
Tub-32	8,563	21,528	0,176	0,31	15,810	31,137
Tub-33	4,976	45,943	0,240	0,47	4,818	46,971
Tub-34	1,785	75,665	0,401	0,90	0,522	63,993
Tub-36	5,975	80,621	0,204	0,47	7,332	66,922
Tub-37	5,958	61,536	0,214	0,45	7,178	55,914
Tub-38	5,102	44,821	0,238	0,46	5,082	46,315
Tub-39	5,201	44,305	0,237	0,46	5,288	46,007

Nota. Condiciones de diseño de los pozos indicados para verificación de resultados de caudal pluvial. Elaborado por: El autor.

Figura 14

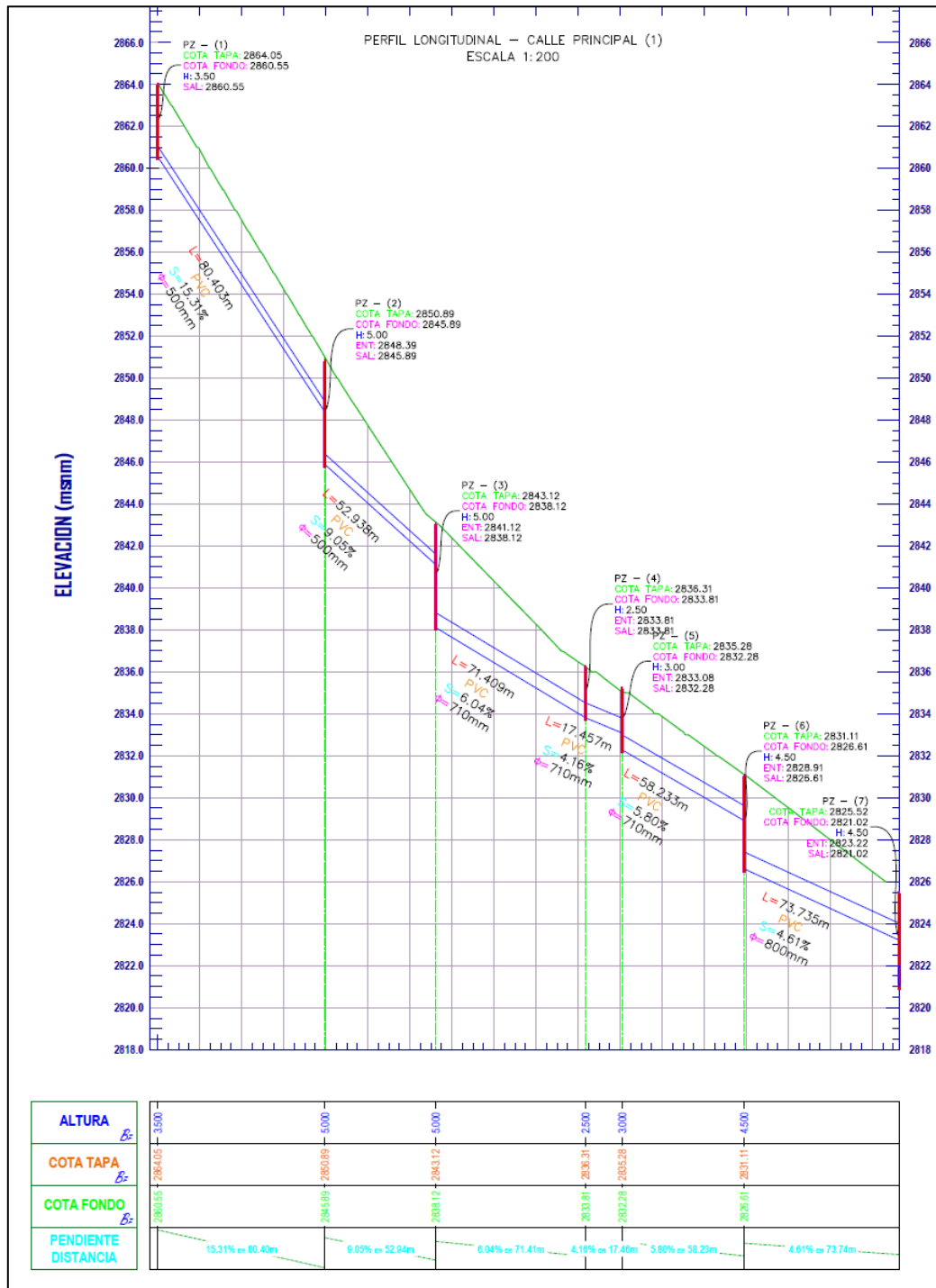
Trazado de la nueva red pluvial 2055



Nota. Se muestra imagen del trazado de la red pluvial 2055 donde se evidencia las nuevas descargas hacia el rio Pichan y una hacia una vertiente. Elaborado por: El autor.

Figura 15

Perfiles de la red pluvial



Nota. Se muestra en la imagen los perfiles de la nueva red pluvia tomando como referencia del Pz-1 al Pz-7 los demás perfiles de todas las redes se muestran en los anexos. Elaborado por: El autor.

CONCLUSIONES

El levantamiento topográfico y el levantamiento catastral permitieron la caracterización integral de 3.84 km de red de alcantarillado combinado y 62 pozos de inspección para obtener datos geométricos, altimétricos y estructurales valiosos para el diagnóstico del sistema. Sin embargo, como se reveló, aproximadamente el 85 por ciento de los pozos están en condiciones de regulares a malas, lo que representa un grave deterioro de la infraestructura que puede resultar en infiltraciones, sedimentación, obstrucciones y disminución de la capacidad hidráulica, lo que a su vez afectará la operación del sistema existente.

Se realizó un análisis de los flujos sanitarios sobre la población urbana actual de 645 habitantes y sobre una población para el análisis de 849 habitantes con una dotación de 150 L/habitante/día, esto permitió estimar un caudal doméstico de 1.79 L/s, un caudal máximo diario de 3.135 L/s, un caudal de infiltración de 3.46 L/s y un caudal sanitario total de 11.57 L/s, mostrando que tanto la condición actual como la proyectada son adecuadas en la capacidad hidráulica de las tuberías existentes para transportar los flujos requeridos sin provocar sobrecargas o problemas operativos.

El análisis de la respuesta hidráulica del sistema con modelado numérico mostró que, bajo condiciones de flujo sanitario, la red opera bien sin sobrecarga excesiva y tiene velocidades que satisfacen los estándares regulatorios de autolimpieza y capacidad de transporte. Sin embargo, se encontró que cuando se incluyó el flujo de aguas pluviales en el análisis, la mayoría de las secciones operaban bajo condiciones de sobrecarga lo que excedía la capacidad hidráulica e inducía velocidades que resultaban en fallas operativas en la mayoría de los pozos de inspección y provocaban el desbordamiento de agua a través de las tapas durante eventos de lluvia intensas, confirmando que las deficiencias del sistema combinado se debían principalmente al aporte pluvial.

El enfoque técnico, hidráulico y comparativo de alternativas lleva a lo mejor, que es rediseñar el alcantarillado, con una red separada. Se rediseño sobre parámetros de referencia conservadores, incluyendo un período de retorno de 10 años, un horizonte de diseño de 30 años y una población futura estimada de 3,595 habitantes, para el diseño pluvial se optó por cinco descargas directas hacia el río Pichán para amortiguar los caudales máximos en cada tramo. Además, el rediseño completo se tomó según las normas y regulaciones proporcionadas por los reglamentos técnicos de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito, para garantizar condiciones de diseño como son las velocidades, relación de llenado, tirante, fuerza tractiva, etc.

RECOMENDACIONES

Se Sugiere priorizar la rehabilitación o reemplazo de los pozos y colectores, así como establecer un programa de mantenimiento preventivo e inspección de manera recurrente (limpieza, desatasco y evaluación estructural), y consolidar los datos recopilados en un registro georreferenciado para facilitar la gestión técnica, el monitoreo de cada elemento estructural.

También se sugiere monitorear continuamente el crecimiento poblacional controlando los aportes sanitarios para minimizar las afectaciones que ya tiene la red actual hasta que la nueva red se pueda construir.

También será necesario considerar el enfoque en el control y optimización de la tasa de flujo de aguas pluviales, por lo que se podrían sugerir las siguientes medidas: sistemas de drenaje sostenible con estructuras de retención o laminación; aumentar las capacidades hidráulicas donde sea necesario; y considerar la separación gradual de los sistemas de aguas pluviales y sanitarios. Además, se recomienda el análisis de algunos escenarios con períodos de retorno más largos para reducir los picos de escorrentía y mejorar la seguridad y eficiencia operativa del sistema combinado hasta que se logre la renovación de toda la red.

Por lo tanto, se recomienda enfocar sus intervenciones en secciones y estructuras que experimentan sobrecarga hidráulica durante eventos de lluvia, aumentando diámetros, rehabilitando pozos, implementando obras de alivio o almacenamiento temporal, y considerando opciones como la separación de redes o el control de escorrentía; además, se sugiere calibrar periódicamente el modelo hidráulico con mediciones de campo y simular diferentes escenarios de precipitación para optimizar el diseño y asegurar la operación segura y eficiente del sistema.

El rediseño propuesto mejorará drásticamente la capacidad de manejar aguas residuales y pluviales, reduciendo los riesgos de saturación, desbordamientos y contaminación ambiental que el actual sistema de alcantarillado combinado crea. Se propone enfocarse en el uso de materiales y técnicas de construcción duraderos y sostenibles, así como identificar mecanismos para futuras extensiones en relación con el crecimiento poblacional proyectado. Por último, se alienta a que se active el esquema general de mantenimiento e inspección periódica para mantener el rendimiento del sistema funcionando y eficiente a mediano y largo plazo, con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas y el medio ambiente en la parroquia de Nono.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ameritex Pipe & Products. (2022). *What is the life expectancy of concrete sewer pipe?* Obtenido de <https://www.ameritexpipe.com/what-is-the-life-expectancy-of-concrete-sewer-pipe/>
- Bentley Systems. (2024). *OpenFlows SewerCAD: Sanitary sewer modeling software*. Obtenido de <https://www.bentley.com/software/openflows-sewercad/>
- Cando, K. S., & Leime, J. S. (2025). Evaluación del sistema de alcantarillado combinado para el barrio “La Colina”, parroquia de Sangolqui, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha [Tesis de Pregrado]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29696>
- Comisión Nacional del Agua. (2019). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Datos básicos para proyectos*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/sgapds-1-15-libro4.pdf>
- Delgado, L. (2025). *Procedimientos en catastro de redes*. Programa de Agua Potable y Alcantarillado. <https://www.slideshare.net/slideshow/catastroredes-pdf/270611093>
- Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS). *Distrito Metropolitano de Quito* (Registro Oficial – Edición Especial N.º 914). <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.aguaquito.gob.ec/Alojamientos/NORMA%20DE%20DRENAJE%20PLUVIAL/norma%20tecnica%20interna%20registro%20ofical.pdf>
- Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito. (2009). *Guía técnica para el manejo de sistemas de alcantarillado*. Quito: EMAAP-Q. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.aguaquito.gob.ec/Alojamientos/proyecto%20la%20merced/anexo%20%20normasalcantarilladoemaap.pdf>
- García, M. (2019). *Gestión de aguas pluviales en zonas urbanas de alta pendiente: Estudios en el cantón Quito*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito]. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/33963>

Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Nono. (2024). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Nono 2020-2024*.

http://sitp.pichincha.gob.ec/repositorio/disenio_paginas/archivos/Actualizaci%C3%B3n%20PDOT%20Nono%202020-2024.pdf

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1992). *CPE INEN 005-9-1: Código Ecuatoriano de la Construcción. Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales*.

Chrome/extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://inmobiliariadja.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/09/normas_disec3blo_cpe_inen_5_parte_9-1_1992-mas-de-1000-hab.pdf

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2019). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación*. Instituto Nacional de

Meteorología e Hidrología (INAMHI). chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSIDADES_V_FINAL.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2022). *Censo nacional de población y vivienda 2022: Parroquia Nono*. INEC.

<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>

Llingui, J & Tinoco, J. (2022). *Diseño del sistema de agua potable y alcantarillado sanitario*. [Proyecto de titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito].

<https://www.journalcivileng.org/articles/topografia-saneamiento-2022>.

Marino. (2021). *Métodos de levantamiento topográfico para infraestructuras hidráulicas*.

Obtenido de <https://www.tecnicapublicaciones.com/metodos-topograficos-2021>

Quito Cómo Vamos. (2025). *Informe de Calidad de Vida 2025. Quito Cómo Vamos. Nitin*. (2024, julio 1).

Chrome/extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://quitocomovamos.org/wp-content/uploads/2025/12/Informe_ICV_2025.pdf

- Remache, & Carvajal. (2023). *Diseño y análisis numérico de un separador de caudales con vertedero lateral inclinado*. [Proyecto de titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito] <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25213>
- Rodríguez M & López, J. (2025). *Gestión integral de sistemas de alcantarillado sanitario: avances y desafíos*. *Académica*.
https://www.researchgate.net/publication/349228759_Libro_AVANCES_Y_RETOS_DE_LA_GESTION_INTEGRAL_2020_Investigacion_en_Sistemas_de_Gestion_Avances_y_retos_de_la_gestion_integral.
- Rotary International. (2025). *Informe de proyectos de infraestructura en la parroquia de Nono*. <https://www.crqvi4400.org/desarrollo-nono>
- Sanchez. (2024). *Técnicas de inspección y registro en sistemas de alcantarillado*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/29671/1/UPS-CT011923.pdf>
- Secretaría Ambiental del Distrito Metropolitano de Quito. (2016). *Plan de gestión ambiental urbana de Quito*. Quito. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://www.quito.gob.ec/documents/PMDOT.pdf>
- Torres, J. (2017). Determinación del parámetro hidrológico número de curva en la cuenca de la quebrada El Batán, usando sistemas de información geográfica y percepción remota. *Figempa*. vol.3 no.1 pp.2602-8484.2017. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.53>

ANEXOS

Los anexos se encuentran en la carpeta en formato pdf, la cual se entrega a biblioteca juntamente con el proyecto técnico, consta de:

Anexo 1: Análisis Poblacional Actual y Futuro

Anexo 2: Área de aportación y coeficiente de escorrentía Actual

Anexo 3: Área de aportación y coeficiente de escorrentía Futuro

Anexo 4: Caudales Unitarios Actuales y Futuros para Análisis aporte Sanitario

Anexo 5: Tabla Relaciones hidráulicas

Anexo 6: Análisis red sanitaria, pluvial y Combinada Actual

Anexo 7: Planos de la red actual

Anexo 8: Diseño red Sanitaria proyectada al año 2055

Anexo 9: Planos red Sanitaria proyectada al año 2055

Anexo 10: Diseño red Pluvial proyectada al año 2055

Anexo 11: Planos red Pluvial proyectada al año 2055

Anexo 12: Reportes del software para el rediseño pluvial

Anexo 13: Reportes del software para el rediseño sanitario

Anexo 14: Planos de áreas de aporte

Anexo 15: Planillas de catastro y evidencias fotográficas