



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO
PARA EL BARRIO “LA COLINA”, PARROQUIA DE SANGOLQUI, CANTÓN
RUMIÑAHUI, PROVINCIA DE PICHINCHA**

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

AUTORES: Karol Stefania Cando Merino

Joel Sebastian Leime Aldaz

TUTORA: Pablo Alberto Vera Romero

Quito - Ecuador
2025

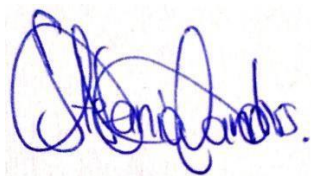
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Karol Stefania Cando Merino con documento de identificación N° 1727476101 y Joel Sebastian Leime Aldaz con documento de identificación N° 1725263667; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos 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, 26 de febrero de 2025

Atentamente,



Karol Stefania Cando Merino
1727476101



Joel Sebastian Leime Aldaz
1725263667

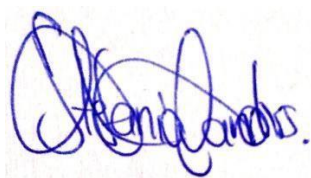
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Karol Stefania Cando Merino con documento de identificación N° 1727476101 y Joel Sebastian Leime Aldaz con documento de identificación N° 1725263667; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Evaluación del Sistema de Alcantarillado Combinado para el Barrio “La Colina”, Parroquia de Sangolqui, Cantón Rumiñahui, Provincia de Pichincha” el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera e Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 26 de febrero de 2025

Atentamente,



Karol Stefania Cando Merino
1727476101



Joel Sebastian Leime Aldaz
1725263667

DECLARATORIA DE DIRECCIONAMIENTO PARA EL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Pablo Alberto Vera Romero con documento de identificación N° 2101129977, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO PARA EL BARRIO “LA COLINA”, PARROQUIA DE SANGOLQUI, CANTÓN RUMIÑAHUI, PROVINCIA DE PICHINCHA, realizado por Karol Stefania Cando Merino con documento de identificación N° 1727476101 y Joel Sebastian Leime Aldaz con documento de identificación N° 1725263667, 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, 26 de febrero de 2025

Atentamente,



Ing. Pablo Alberto Vera Romero, MSc.

1715916399

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación lo dedico principalmente a mis padres, quienes han sido el pilar fundamental de mi vida y el motor que me impulso a alcanzar mis metas.

A mis hermanos, por su cariño y estar presentes en cada circunstancia que se ha presentado.

A Milo, donde quiera que este, siempre será parte de mi historia, me acompaño en varios momentos de mi vida, compartiendo largas horas de estudio y desvelo, siendo mi soporte emocional, y aunque no llego al final de esta etapa, su recuerdo estará siempre en mi corazón.

A mi Mily, quien llego a mi vida en el momento justo, convirtiéndose en alguien importante durante este proceso, su compañía fue esencial para culminar este proyecto y dar inicio a este nuevo capítulo de mi vida.

Con infinito amor y gratitud, les dedico este esfuerzo.

Cando Merino Karol Stefania

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mis padres por siempre creer en mí, su sacrificio, amor y apoyo incondicional han sido fundamentales en mi vida, siendo mi mayor inspiración para perseverar y superar cada desafío, este logro es tanto mío como suyo.

Mi gratitud a mis hermanos, quienes han sido una guía y me han brindado su respaldo en cada paso de mi camino.

Su confianza y apoyo han sido esenciales para alcanzar este objetivo.

Cando Merino Karol Stefania

DEDICATORIA

Me gustaría dedicar el presente trabajo a mi madre por ser la persona que siguió todo este proceso apoyándome, orientándome y sobre todo brindándome la fuerza necesaria para culminar esta etapa, mi corazón este logro es totalmente suyo.

Leime Aldaz Joel Sebastian

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis hermanos y a mi madre por ser parte fundamentalmente en mi vida, impulsándome constantemente a conseguir cada una de las metas que me he propuesto, de igual forma a mis compañeros de vida, mis gordos quienes me han acompañado en cada paso de este camino. Su compañía ha sido un refugio en momentos difíciles y una constante alegría en los días.

A todos ustedes gracias infinitas por formar parte de este proceso que recién comienza.

Leime Aldaz Joel Sebastian

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES..... 1

1.1. Problema de estudio.....	1
1.1.1. Antecedentes.....	1
1.1.2. Importancia y Alcance.....	2
1.1.3. Delimitación Geográfica- espacial y temporal	2
1.1.3.1. Temporal	2
1.2. Justificación.....	5
1.3. Objetivos.....	6
1.3.1. Objetivo General	6
1.3.2. Objetivos Específicos	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO..... 8

2.1. Sistema de alcantarillado.....	8
2.2. Tipos de sistema de alcantarillado.....	8
2.2.1. Alcantarillado pluvial	8
2.2.2. Alcantarillado sanitario	8
2.2.3. Alcantarillado combinado	8
2.3. Bases de diseño.....	8
2.3.1. Población de Diseño	9
2.3.2. Periodo de Diseño	9
2.3.3. Área de aporte o tributaria.....	10
2.3.4. Dotación	10
2.3.5. Contribución de aguas residuales	11
2.3.6. Contribución de agua lluvia	15
2.3.7. Caudal de diseño	19
2.3.8. Velocidad	20
2.3.9. Pendiente	21
2.3.10. Profundidad	21
2.4. Componentes de un sistema de alcantarillado.....	22
2.4.1. Colectores.....	22
2.4.2. Sumideros.....	23
2.4.3. Pozos de revisión.....	23
2.4.4. Conexiones domiciliarias	23

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA 24

3.1. Tipo de investigación.....	24
3.2. Métodos de investigación.....	24
3.3. Técnicas de recolección de información.....	24
3.4. Proceso técnico de ingeniería civil.....	25
3.4.1. Levantamiento topográfico.....	25
3.4.2. Levantamiento catastral.....	27

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO DEL BARRIO “LA COLINA” 43

4.1 Parámetros base para la evaluación.....	43
4.1.1 Área de aporte o tributaria.....	43
4.1.2 Densidad poblacional	47
4.1.3. Dotación	48
4.2 Análisis de caudales.....	48
4.2.1 Análisis aporte Sanitario	48
4.2.2 Análisis aporte Pluvial.....	53
4.2.3. Caudal Combinado.....	58
4.3 Hidráulica de las redes de recolección.....	62
4.3.1 Flujo en condiciones llenas	62
4.3.2 Flujo en condiciones parcialmente llenas.....	63
4.3.3 Relaciones hidráulicas en conductos circulares	66
4.3.4 Velocidad	71
4.3.5 Pendiente	74
CAPITULO V	
EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED BAJO DISTINTOS ESCENARIOS DE	
OPERACIÓN UTILIZANDO EL SOFTWARE SEWERCAD.....	80
5.1. Metodología de cálculo para la simulación.....	81
5.1.1. FASE A: Construcción topológica	81
5.1.2. FASE B: Información de infraestructura.....	82
5.1.3. FASE C: Asignación de elevaciones.....	82
5.1.4. FASE D: Estimación de demandas.....	83
5.1.5. FASE E: Escenarios y alternativas	83
5.1 Escenario A: alcantarillado sanitario.....	84
5.2 Escenario B: alcantarillado pluvial.....	92
5.3 ESCENARIO C: ALCANTARILLADO COMBINADO.....	98
CONCLUSIONES.....	106
RECOMENDACIONES.....	108
REFERENCIAS	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites geográficos cantón Rumiñahui. Fuente: Plan de Gobierno, Provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui.....	4
Tabla 2. Coordenada del punto culminante del barrio “La Colina”.	5
Tabla 3. Límites de la zona del proyecto.	5
Tabla 4. Tabla de dotaciones recomendadas por la EMAAP-Q, 2009.	10
Tabla 5. Tabla de coeficientes de retorno de aguas servidas domésticas según la normativa EMAAP-Q, 2009.....	12
Tabla 6. Tabla de contribuciones institucionales mínimas en zonas residenciales, recomendadas por la EMAAP-Q, 2009.....	12
Tabla 7. Contribución de caudales de Infiltración según EMAAP-Q, 2009.	13
Tabla 8. Tabla de aportes máximos por conexiones erradas con sistema pluvial según EMAAP-Q, 2009.....	13
Tabla 9. Coeficiente de mayoración y minoración según la EMAAP-Q, 2009.	15
Tabla 10. Tabla de período de retorno para diferentes ocupaciones del área según EMAAP-Q, 2009.....	16
Tabla 11. Coeficientes de escorrentía para ser utilizados en el método racional según Ven Te Chow, 1994.....	17
Tabla 12. Tabla de velocidades máximas en función del material de tubería según EMAAP-Q, 2009.....	21
Tabla 13. Tabla de profundidades mínimas de tuberías según EMAAP-Q.	22
Tabla 14. Tabla de Evaluación del sistema de alcantarillado combinado existente- resumen de pozos.....	30
Tabla 15. Tabla de alturas de los pozos catastrados del barrio “La Colina”.....	33
Tabla 16. Tabla de resumen de tuberías según el diámetro catastrado.	37

Tabla 17. Tabla de áreas de drenaje de cada pozo catastrado del barrio “La Colina”.....	44
Tabla 18. Tabla del número de habitantes actuales del barrio “La Colina”.....	48
Tabla 19. Tabla resultados del Caudal Sanitario.....	50
Tabla 20. Coeficiente de escorrentía ponderado.....	54
Tabla 21. Tabla de resultados del Caudal Pluvial.	55
Tabla 22. Tabla de resultados del Caudal Combinado.....	59
Tabla 23. Tabla de la relación hidráulica Q/Q_0	66
Tabla 24. Tabla de las relaciones hidráulicas V/V_0 , d/D , R/R_0 , H/D	68
Tabla 25. Tabla de tramos de tubería que no cumplen con el criterio de velocidad máxima 6m/s, según la EMAAP-Q,2009.....	72
Tabla 26. Tabla de tramos de tubería que no cumplen con el criterio de velocidad mínima 0.45 m/s, según la EMAAP-Q, 2009.....	73
Tabla 27. Tabla de tramos de tubería que no cumplen con el criterio de pendiente mínima 1%, recomendado por la EMAAP-Q, 2009.	74
Tabla 28. Tabla de tramos de tubería que no cumplen con el criterio de esfuerzo cortante medio, según la EMAAP.Q, 2009.	76
Tabla 29. Tabla de tramos de tubería con el tipo de flujo según el número de Froude calculado.	77
Tabla 30. Tabla de tramos de tubería con velocidades mínimas, según la EMAAP-Q, 2009.	86
Tabla 31. Tabla de tramos de tubería con valores mínimos de esfuerzo cortante medio, según la EMAAP-Q, 2009.....	88
Tabla 32. Tabla de tramos de tubería con valores de Froude <1 , según la EMAAP-Q, 2009.	89
Tabla 33. Tabla de tramos de tubería con valores de Froude <1 , según la EMAAP-Q, 2009.	91
Tabla 34. Tabla de tramos de tubería con velocidades mínimas y máximas, las mismas que no cumplen con el rango establecido, según la EMAAP-Q, 2009.....	95

Tabla 35. Tabla de tramos de tubería con valores de Froude <1 , según la EMAAP-Q, 2009.	96
Tabla 36. Tabla de tramos de tubería de la relación hidráulica Q/Q_0 , la cual considera 80 % como capacidad hidráulica, según la EMAAP-Q, 2009.....	98
Tabla 37. Tabla de tramos de tubería con velocidades mínimas y máximas, las mismas que no cumplen con el rango establecido, según la EMAAP-Q, 2009.....	101
Tabla 38. Tabla de tramos de tubería con valores de Froude <1 , según la EMAAP-Q, 2009.	103
Tabla 39. Tabla de tramos de tubería de la relación hidráulica Q/Q_0 , la cual considera 80 % como capacidad hidráulica, según la EMAAP-Q, 2009.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.	3
Figura 2. Ubicación barrio “La Colina”, en la zona 06 de la parroquia de Sangolquí.....	4
Figura 3. Topografía del barrio “La Colina”.	26
Figura 4. Ficha catastral del pozo No. 105.....	27
Figura 5. Ficha catastral del pozo No. 6.....	28
Figura 6. Distribución de la red de alcantarillado existente del barrio “La Colina”.	29
Figura 7. Pozo de revisión número 110, P-110.	31
Figura 8. Pozo de revisión número 20, P-20.	32
Figura 9. Pozo de revisión abierto.....	32
Figura 10. Año de fabricación de los pozos de revisión catastrados del barrio “La Colina”.	36
Figura 11. Estado general de los pozos catastrados del barrio “La Colina”.	36
Figura 12. Material de la tubería de los pozos catastrados del barrio “La Colina”.....	37
Figura 13. Representación de los sentidos de flujo de cada pozo.	38
Figura 14. Sumidero con su respectiva nomenclatura, S-86-E.	39
Figura 15. Medidas del sumidero.....	39
Figura 16. Sección donde se registró la información catastral respecto a sumideros.	40
Figura 17. Estado general de los sumideros catastrados del barrio “La Colina”.	41
Figura 18. Sumidero S-84-C, se evidencia problemas de mantenimiento.	41
Figura 19. Sumidero S-102-A con problemas mantenimiento.....	42
Figura 20. Áreas tributarias correspondientes al barrio “La Colina”.	43
Figura 21. Esquema gráfico de una tubería en condiciones parcialmente llena.	64
Figura 22. Elementos hidráulicos de una sección circular.	65
Figura 23. Relación hidráulica Q/Q_0	68

Figura 24. Velocidad máxima recomendada por la EMAAP-Q, 2009.....	72
Figura 25. Rango de velocidad mínima y máxima, según la EMAAP-Q,2009.	74
Figura 26. Pendiente mínima del 1%, recomendado por la EMAAP-Q, 2009.	75
Figura 27. Tipo de flujo de cada sección según el número de Froude.	79
Figura 28. FASE A: Construcción topológica del modelo hidráulico.....	81
Figura 29. FASE B: Información de la infraestructura del modelo hidráulico.	82
Figura 30. FASE C: Asignación de elevaciones del modelo hidráulico.....	82
Figura 31. FASE D: Estimación de demandas del modelo hidráulico.	83
Figura 32. FASE E: Escenarios y alternativas del modelo hidráulico.	83
Figura 33. Resultados obtenidos mediante el software SewerCAD.	84
Figura 34 Resultados generados de velocidad, a partir del software SewerCAD.....	87
Figura 35. Resultados generados de esfuerzo cortante, a partir del software SewerCAD.....	88
Figura 36. Resultados generados de número de Froude, a partir del software SewerCAD...	89
Figura 37 Resultados generados de la relación hidráulica Q/Q_0 , a partir del software SewerCAD	90
Figura 38. Resultados generados del parámetro de pendiente, a partir del software SewerCAD	91
Figura 39. Resultados obtenidos mediante el software SewerCAD.	92
Figura 40. Resultados generados de velocidad, a partir del software SewerCAD.....	94
Figura 41. Resultados generados de esfuerzo cortante medio, a partir del software SewerCAD.	95
Figura 42. Resultados generados de número de Froude, a partir del software SewerCAD..	96
Figura 43. Resultados generados de la relación hidráulica Q/Q_0 , a partir del software SewerCAD.	97
Figura 44. Resultados obtenidos mediante el software SewerCAD.	98

Figura 45. Resultados generados de velocidad, a partir del software SewerCAD.....	101
Figura 46. Resultados generados de esfuerzo cortante medio, a partir del software SewerCAD.	102
Figura 47. Resultados generados de número de Froude, a partir del software SewerCAD.	103
Figura 48. Resultados generados de la relación hidráulica Q/Q_o , a partir del software SewerCAD	104

RESUMEN

El presente proyecto técnico se encuentra ubicado en la parroquia de Sangolquí, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha, el área de estudio comprende aproximadamente 47 hectáreas, se estima una población alrededor de 3506 habitantes. El sistema de alcantarillado combinado del barrio “La Colina”, ha sobrepasado su vida útil ya que tiene un periodo de funcionamiento de más de 40 años, debido al tiempo de operación se han presentado problemas de funcionamiento y rendimiento. Dicho esto, el sistema del barrio “La Colina” no presenta las condiciones adecuadas para seguir brindando un servicio óptimo a los moradores, por ello el fin de este proyecto técnico es evaluar el sistema existente, rigiéndose a las bases de diseño del GADMUR complementada por el Código Ecuatoriano de la Construcción (C.E.C) Diseño de Instalaciones Sanitarias-CPE INEN 5 y las Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado para la EMAAP-Q (2009).

Para el desarrollo de este trabajo de titulación, se caracterizó la zona de estudio en base a información topográfica brindada por el departamento de Agua Potable y Alcantarillado (DAPA) del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui, obteniendo datos base de población y dotación, los cuales se ajustan a las condiciones actuales. Además, se realizó el levantamiento catastral mediante visitas técnicas, para recopilar información necesaria con el propósito de verificar el comportamiento.

Como resultado de la evaluación se logró obtener cálculos hidráulicos para 6996 metros de tubería en las cuales se producen dos descargas hacia el río Pita de 11326.37 L/s y 756.83 L/s, respectivamente, con diámetros de tuberías que parten desde los 250 mm hasta los 1000 mm que en su mayoría son de concreto.

Palabras clave: alcantarillado combinado, catastro, comportamiento hidráulico, evaluación.

ABSTRACT

This technical project is in the parish of Sangolquí, Rumiñahui canton, province of Pichincha, the study area comprises approximately 47 hectares, an estimated population of around 3506 inhabitants. The combined sewerage system of the “La Colina” neighborhood has exceeded its useful life since it has an operating period of more than 40 years, due to the operating time there have been problems of operation and performance. That said, the system of the “La Colina” neighborhood does not present the adequate conditions to continue providing an optimal service to the residents, so the purpose of this technical project is to evaluate the existing system, governed by the design bases of the GADMUR complemented by the Ecuadorian Construction Code (C.E.C) Design of Sanitary Facilities-CPE INEN 5 and the Design Standards of Sewerage Systems for the EMAAP-Q (2009).

For the development of this titling work, the study area was characterized based on topographic information provided by the Department of Drinking Water and Sewerage (DAPA) of the Municipal Decentralized Autonomous Government of Rumiñahui, obtaining population and endowment base data, which adjust to current conditions. In addition, the cadastral survey was carried out through technical visits, to collect necessary information for the purpose of verifying the behavior.

As a result of the evaluation, it was possible to obtain hydraulic calculations for 6996 meters of pipe in which there are two discharges to the Pita River of 11326.37 L/s and 756.83 L/s, respectively, with pipe diameters ranging from 250 mm to 1000 mm, which are mostly concrete.

Keywords: combined sewerage, cadastre, hydraulic behavior, evaluation.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1. Problema de estudio

De acuerdo con lo indicado por el Departamento de Agua Potable y Alcantarillado (DAPA), perteneciente al GADMUR, el sistema de alcantarillado que actualmente sirve al barrio “La Colina”, es de tipo combinado, y empezó su operación en el año 1981, lo cual implica que ha superado su vida útil actualmente. Adicionalmente, se conoce que el barrio mencionado se encuentra consolidado y presenta una ocupación constituida en su mayoría por construcciones residenciales de entre 2 y 3 pisos.

Con este antecedente se plantea la necesidad de obtener la suficiente información técnica que nos permita realizar la evaluación del sistema existente, considerando que la mejora del saneamiento conduce a una mejor calidad de vida, mejor gestión ambiental y beneficios económicos y sociales en general.

1.1.1. Antecedentes

La dirección de Agua Potable y Alcantarillado del municipio de Rumiñahui “diseña proyectos hidráulicos- sanitarios para sectores desprovistos, que tienden, además, mejoramiento de la calidad de vida de la población, con la dotación y construcción de servicios básicos” (DAPA-GADMUR, 2021). Entre sus iniciativas, destaca el desarrollo del proyecto técnico denominado evaluación del sistema de alcantarillado combinado del barrio “La Colina”; por ende, el proyecto va enfocado a conocer el estado y funcionamiento de la red existente.

“Las obras civiles de los sistemas de agua potable o disposición de residuos líquidos, se diseñarán para un periodo de 20 años” (CPE-INEN-5, 1992). Actualmente, la red no funciona de manera eficiente generando problemas de salubridad, infiltración y malos olores; el Departamento de Agua Potable y Alcantarillado del GAD de Rumiñahui estima que este sistema

de alcantarillado combinado ha prestado servicio por más de 40 años, lo que se pudo constatar a través de una visita técnica al área del proyecto.

1.1.2. Importancia y Alcance

La importancia de un proyecto de alcantarillado radica en “la existencia de infraestructuras de saneamiento que fomentan el desarrollo económico, al mejorar las condiciones de vida y reducir los costos de salud asociados a la contaminación y enfermedades” (Banco Mundial, 2017). Por lo tanto, la función primordial como GAD de Rumiñahui es solventar los problemas y necesidades de los ciudadanos, con el fin de mejorar la calidad de servicios y de vida de la población. De esta forma, es necesario que los residentes del barrio “La Colina” cuenten con un sistema de alcantarillado combinado funcional, ya que este sistema de abastecimiento tiene un periodo de vida útil muy largo.

Durante la visita de campo, realizada junto con el personal del área de topografía del DAPA del GADMUR, se observaron características físicas como la topografía del sitio, constatando que las aguas residuales fluyen por gravedad, así mismo se debe considerar que el tipo de suelo influye en la estabilidad y permeabilidad del sistema instalado. También se analizaron aspectos como el tipo de alcantarillado, que en este caso es de tipo combinado, y el material empleado en la red de distribución, así como el diámetro y la profundidad de las tuberías, estos factores conllevan a realizar una evaluación exhaustiva del sistema de alcantarillado existente, mediante la recopilación y el análisis de datos.

1.1.3. Delimitación Geográfica- espacial y temporal

1.1.3.1. Temporal

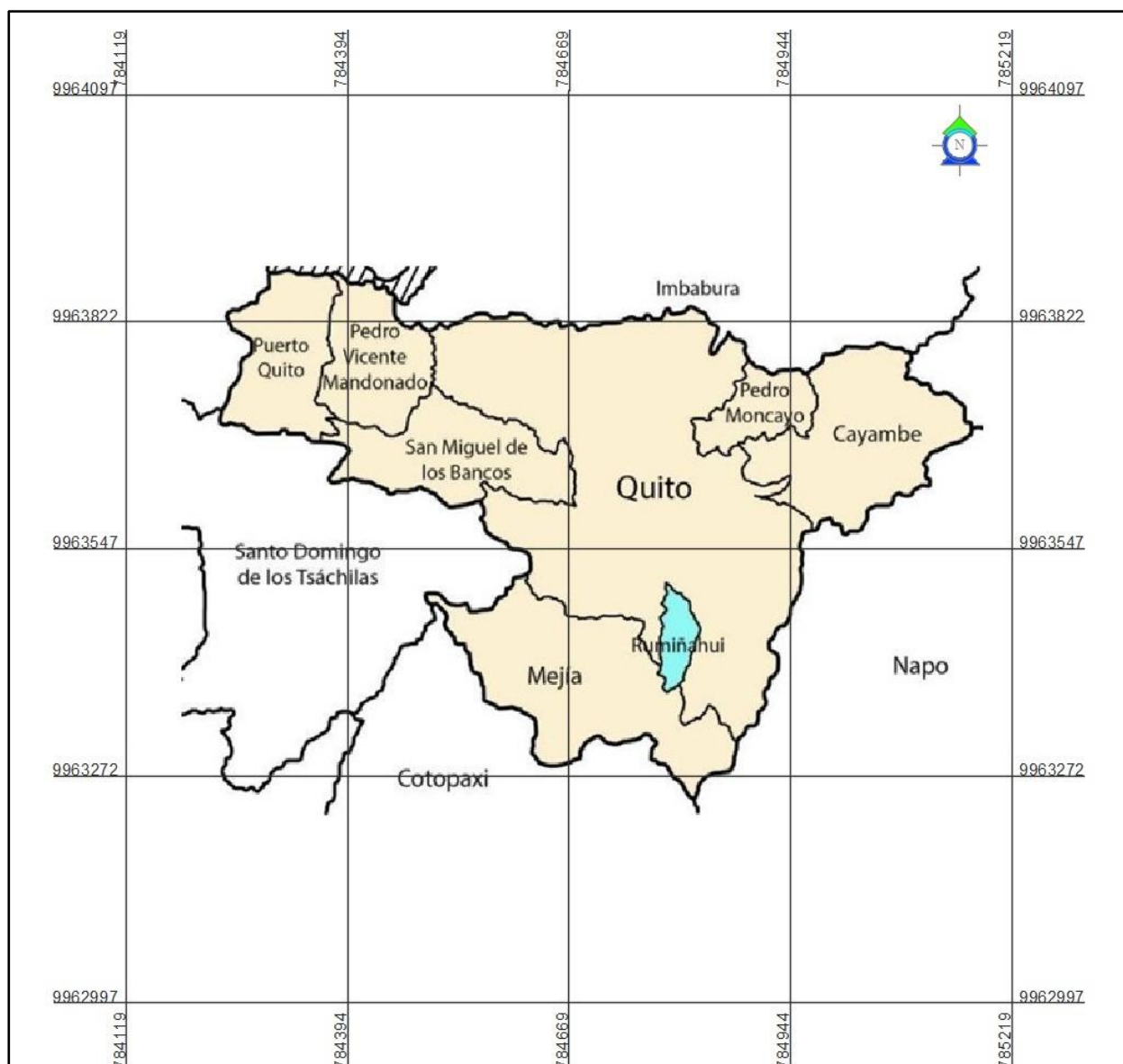
El proyecto de titulación se desarrollará en el periodo académico 65, es decir 4 meses.

1.1.3.2. Geográfica- espacial

El proyecto se desarrollará en el barrio “La Colina”, el cual se ubica en el cantón Rumiñahui perteneciente a la provincia de Pichincha, es uno de los ocho cantones que integran la provincia, se puede observar la ubicación a mayor detalle a continuación.

Figura 1.

Ubicación cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.



Nota. El cantón de Rumiñahui se encuentra ubicado dentro de la provincia de Pichincha. Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2012-2025.

El cantón Rumiñahui tiene los siguientes límites geográficos:

Tabla 1.

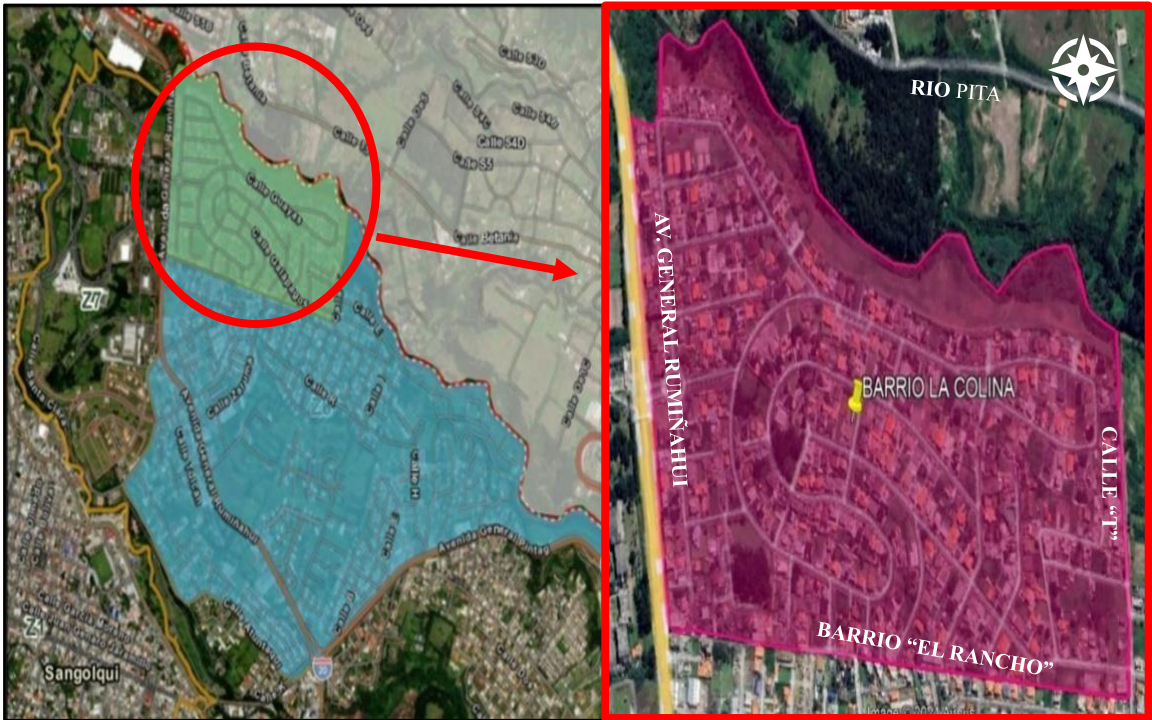
Límites geográficos cantón Rumiñahui. Fuente: Plan de Gobierno, Provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui.

LÍMITES DEL CANTÓN RUMIÑAHUI	
NORTE	Distrito Metropolitano de Quito
SUR	Cantón Mejía
ESTE	Distrito Metropolitano de Quito, con las parroquias rurales de Alangasí y Pintag, cuyo limite natural es el rio Pita.
OESTE	Distrito Metropolitano de Quito, rio San Pedro de Cuendina, con las parroquias rurales de Amaguaña y Conocoto

Nota. Se muestra a mayor detalle los límites geográficos del cantón de Rumiñahui. Elaborado por: Los autores.

Figura 2.

Ubicación barrio “La Colina”, en la zona 06 de la parroquia de Sangolquí.



Nota. En la figura se muestra la ubicación del barrio “La Colina”, delimitada por el círculo rojo, la cual se encuentra dentro de la zona 6 de la parroquia de Sangolquí. Elaborado por: Los autores a través de GEO RUMIÑAHUI, 2024.

El barrio “La Colina” tiene las siguientes coordenadas:

Tabla 2.

Coordenada del punto culminante del barrio “La Colina”.

COORDENADAS UTM “LA COLINA”	
ZONA	17 M
COORDENADA ESTE	784771.00 m E
COORDENADA NORTE	9965124.00 m E

Nota. En la tabla se especifica a detalle las coordenadas UTM del proyecto de estudio. Elaborado por: Los autores a través del software Google Earth.

La zona de estudio se encuentra delimitada por la siguiente tabla, la misma que se representa en la figura 2.

Tabla 3.

Límites de la zona del proyecto.

LÍMITES DEL PROYECTO	
NORTE	Rio Pita
SUR	El Rancho
ESTE	Calle “T”
OESTE	Av. General Rumiñahui

Nota. La tabla muestra los límites del proyecto ubicado en el barrio “La Colina”. Elaborado por: Los autores.

1.2. Justificación

La carencia de información con respecto a los componentes de la red, planos u otro documento técnico previo a la construcción de esta, genera que la misma no pueda ser caracterizada para evaluar su desempeño, por lo tanto, la justificación de este proyecto de titulación radica en la necesidad de contar con un levantamiento detallado de la red de alcantarillado combinado, ya que de esta manera se va a poder determinar el estado actual de la infraestructura.

El levantamiento en este caso el Catastral, nos permitirá recolectar información técnica ya sean diámetros, materiales, longitudes de tuberías, dirección de flujo, cuyos datos son esenciales para establecer un registro completo y actualizado del sistema.

Es necesario realizar la evaluación del comportamiento de la red, bajo los parámetros y criterios establecidos por la Norma Técnica del Código Ecuatoriano de la Construcción y bases de diseño proporcionadas por el GADMUR, una vez completado el análisis de los parámetros de diseño, se podrán generar conclusiones y recomendaciones específicas para optimizar su funcionamiento, de tal forma que el sistema de alcantarillado cumpla con las expectativas actuales y futuras que exige la población.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar el sistema de alcantarillado combinado existente del barrio “La Colina”, parroquia de Sangolquí, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha, a partir del comportamiento hidráulico de sus componentes siguiendo la normativa vigente, mediante la utilización de un paquete computacional, con el fin de determinar su capacidad de descarga.

1.3.2. Objetivos Específicos

Caracterizar la zona del proyecto con base en información de levantamientos topográficos realizados por el departamento de Agua Potable y Alcantarillado del GADMUR para obtener datos específicos sobre la geometría del área de estudio.

Realizar el levantamiento de los componentes del sistema mediante visitas técnicas a la zona del proyecto para identificar la ubicación y profundidad de los pozos de revisión, diámetros de tuberías, longitud de tuberías, sentido de flujo, etc.

Determinar los caudales domésticos, conexiones erradas y de infiltración, utilizando la normativa vigente, con el propósito de calcular de manera precisa el caudal sanitario.

Elaborar un estudio hidrológico del lugar donde se ejecutará el proyecto técnico, empleando los registros hidrológicos del INAMHI para calcular los caudales pluviales.

Analizar el comportamiento de la red en distintos escenarios de operación, conforme a

la normativa de la EMAAP-Q, Bases de Diseño-GADMUR y CPE INEN 5, con el objetivo de garantizar el cumplimiento de los parámetros requeridos para su adecuado funcionamiento.

Elaborar los planos de la red de alcantarillado combinado, utilizando paquetes asistidos por computador, para detallar los componentes de esta.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Sistema de alcantarillado

Es un “conjunto de tuberías y obras complementarias necesarias para la recolección de aguas residuales y/o pluviales” (CPE-INEN-5, 1992, pág. 183). Dicho esto, un sistema de alcantarillado está compuesto por tuberías, canales y accesorios con el fin de recolectar, conducir, evacuar y disponer de forma adecuada las aguas residuales y/o pluviales.

2.2. Tipos de sistema de alcantarillado

2.2.1. Alcantarillado pluvial

El sistema de alcantarillado pluvial o agua de lluvia transporta agua proveniente de escorrentía superficial (lluvia) la cual es captada por las rejillas que se encuentran ubicadas en las calzadas, no requiere que el tratamiento sea complejo.

2.2.2. Alcantarillado sanitario

El sistema de alcantarillado sanitario es utilizado exclusivamente para la recolección de aguas residuales de cualquier origen.

2.2.3. Alcantarillado combinado

Es el sistema compuesto por obras para la recolección, conducción y disposición de aguas residuales y aguas de lluvia.

2.3. Bases de diseño

Las normas CPE-INEN-5,1992 y EMAAP-Q, establecen criterios y parámetros para el correcto diseño de una obra civil, en este caso de un sistema de alcantarillado, el cual mediante los siguientes parámetros se verificará su funcionamiento.

2.3.1. Población de Diseño

Para estimar la población futura se utilizarán los datos obtenidos en los censos nacionales y de la zona de estudio. Además, los métodos más comunes para las proyecciones de crecimiento poblacional son el aritmético, exponencial y geométrico. Por otro lado, la población actual se podrá analizar con los datos obtenidos en el censo de consumo por planilla. Existen limitaciones al utilizar los métodos para proyectar el crecimiento población los cuales son:

- No se puede definir con precisión el comportamiento real de la población.
- No considera la distribución de la población en términos de edad y sexo, ni como se relacionan estos grupos entre sí.
- Las proyecciones o estimaciones realizadas son precisas durante un tiempo determinado son útiles para proyectos que se desarrollen en corto plazo.

2.3.2. Periodo de Diseño

En general el periodo de diseño de un sistema de alcantarillado se proyecta de modo de satisfacer las necesidades de los habitantes durante un periodo determinado. Es el “lapso durante el cual una obra o estructura puede funcionar sin necesidad de ampliaciones” (CPE-INEN-5, 1992, pág. 35), es decir, es el intervalo de tiempo en que un proyecto desarrolla su máxima capacidad dependiendo de la vida útil de los componentes. Para fijar el tiempo para el que será funcional el proyecto influyen ciertas variables como:

- Durabilidad o vida útil, se refiere a que todo material se deteriora con el tiempo y el uso que tenga, la resistencia a los daños y esfuerzos que se someterá dependerá de las características del material utilizado, por ejemplo, las tuberías están expuestas al desgaste por corrosión, erosión, y estos factores son determinantes en su durabilidad.
- Facilidad de construcción, posibilidad de ampliación y sustitución, quiere decir que la fijación del periodo de diseño se asignará con criterios económicos, esto estará regido por la dificultad o facilidad de construcción considerando costos que requerirá mayores

o menores periodos de inversiones.

- Tendencia de crecimiento poblacional estará en función de factores económicos, sociales y de desarrollo.
- Posibilidad de financiamiento y tasa de interés.

2.3.3. Área de aporte o tributaria

“Se zonificará la ciudad en áreas tributarias fundamentalmente en base a la topografía, teniendo en cuenta los aspectos urbanísticos definidos en el plan regulador. Se considerará los diversos usos de suelo (residencial, comercial, industrial, institucional y publico). Se incluirán las zonas de futuro desarrollo” (CPE-INEN-5, 1992, pág. 185). Refiriéndose como un conjunto de superficies que se obtuvieron al subdividir el área original del proyecto, con el propósito de distribuir de manera equivalente en cada tramo de tubería los caudales pluviales y de aguas residuales.

2.3.4. Dotación

Se refiere al caudal de agua potable consumido diariamente, en promedio, por cada habitante, incluyendo el consumo doméstico, comercial, industrial y público.

Tabla 4.

Tabla de dotaciones recomendadas por la EMAAP-Q, 2009.

POBLACIÓN (HABITANTES)	CLIMA	DOTACIÓN MEDIA FUTURA (L/HAB/DÍA)
Hasta 5000	FRIO	120-150
	TEMPLADO	130-160
	CÁLIDO	170-200
5000 a 50000	FRIO	180-200
	TEMPLADO	190-220

Nota. Tabla de dotaciones recomendadas por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores a través de la normativa EMAAP-Q, 2009.

2.3.5. Contribución de aguas residuales

2.3.5.1. Caudal de aguas residuales (Q_{AS})

El volumen de aguas residuales aportadas a un sistema de recolección y evacuación está constituido por:

- **Aguas residuales domesticas (Q_D)**

Son desechos líquidos provenientes de la actividad doméstica residencial, es decir, el uso diario del agua para actividades domésticas, regadíos, entre otros. El caudal de las aguas residuales domesticas se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_D = \frac{dneta \cdot D \cdot A \cdot R}{86400}$$

Ecuación 1

$$Q_D = \frac{dneta \cdot P \cdot R}{86400}$$

Ecuación 2

Donde:

Q_D = Caudal domestico (L/s)

$Dneta$ = Dotación neta de agua por habitante (L/hab/día)

A = Área residencial bruta de drenaje (Ha)

D = Densidad de población futura (hab/Ha)

P = Población (hab)

R = Coeficiente de retorno (-)

Coeficiente de Retorno ®

“Relación entre el agua residual producida y el agua potable consumida” (CPE-INEN-5,1992, pág. 182), por lo tanto, es la fracción de agua entregada al sistema de recolección y evacuación como agua negra. Su valor debe provenir del análisis de información existente o de

mediciones de campo. Si la información es inexistente, se recomienda usar los siguientes rangos de valores de “R”.

Tabla 5.

Tabla de coeficientes de retorno de aguas servidas domésticas según la normativa EMAAP-Q, 2009.

COEFICIENTES DE RETORNO DE AGUAS SERVIDAS DOMÉSTICAS	
Nivel de complejidad del sistema	Coeficiente de retorno
Bajo y medio	0.7 – 0.8
Medio alto y alto	0.8-0.85

Nota. Tabla de coeficientes de retorno de aguas servidas domésticas según el nivel de complejidad del sistema, recomendadas por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores a través de la normativa EMAAP-Q, 2009.

- ***Aguas residuales institucionales (Q_{INS})***

Este aporte de aguas residuales es proveniente de la industria, dentro de las cuales pueden estar escuelas, colegios, hoteles, cárceles, etc. Por lo que debe determinarse para cada caso en particular ya que varía de acuerdo con el tipo y tamaño de estas.

Tabla 6.

Tabla de contribuciones institucionales mínimas en zonas residenciales, recomendadas por la EMAAP-Q, 2009.

CONTRIBUCIÓN INSTITUCIONAL MÍNIMA EN ZONAS RESIDENCIALES	
Nivel de complejidad del sistema	Contribución comercial (l/s – ha -inst)
Cualquiera	0.4-0.5

Nota. Tabla de contribuciones institucionales mínimas en zonas residenciales según el nivel de complejidad del sistema, recomendadas por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores a través de la normativa EMAAP-Q, 2009.

- ***Aguas residuales por infiltración (Q_{INF})***

Se denominan aguas de infiltración a las que ingresan al sistema de recolección y evacuación por las uniones o fisuras de las tuberías, dependen de algunos factores como:

- Tipo de uniones
- Nivel freático
- Permeabilidad del suelo

Tabla 7.

Contribución de caudales de Infiltración según EMAAP-Q, 2009.

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 medio	0.15-0.4	0.1-0.3	0.05-0.2

Nota. Tabla de contribuciones de caudales de infiltración según el nivel de complejidad del sistema, recomendadas por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores a través de la normativa EMAAP-Q,2009.

- ***Aguas residuales por conexiones erradas (Q_{CE})***

Contribución adicional de caudal, provenientes de malas conexiones.

Tabla 8.

Tabla de aportes máximos por conexiones erradas con sistema pluvial según EMAAP-Q, 2009.

Aportes máximos por conexiones erradas con sistema pluvial	
Nivel de complejidad del sistema	Aporte (l/s – ha)
Bajo y medio	0.2 – 2.0
Medio alto y medio	0.1 – 1.0

Nota. Tabla de aportes máximos por conexiones erradas con sistema pluvial, según el nivel de complejidad del sistema, recomendadas por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores a través de la normativa EMAAP-Q,2009.

2.3.5.2. Caudal medio diario de aguas residuales (Q_{MD})

Es la sumatoria de los caudales domésticos, industriales, comercial e institucionales

$$Q_{MD} = Q_D + Q_{IND} + Q_{COM} + Q_{INS}$$

Ecuación 3

2.3.5.3. Caudal máximo horario de aguas residuales (Q_{MAX})

Es el caudal a la hora de máxima descarga, se lo determina a partir del factor de mayoración del caudal medio diario de aguas residuales

$$Q_{MAX} = Q_{MD} \cdot M$$

Ecuación 4

$$Q_{MAX} = \left(\frac{Dneta \cdot P \cdot R}{86400} + Q_{INS} + Q_{IND} + Q_{COM} \right) \cdot M$$

Ecuación 5

Donde:

Q_{MAX} = Caudal máximo horario de aguas residuales (L/s)

P=Población (hab)

Dneta= Dotación neta de agua potable (L/hab/día)

R= Coeficiente de retorno

M ó K= Coeficiente de mayoración (-)

Q_{INS} = Caudal residual institucional (L/s)

Q_{IND} = Caudal residual industrial (L/s)

Q_{COM} = Caudal residual comercial (L/s)

- **Coefficiente de mayoración y minoración**

Los valores de los coeficientes de mayoración disminuyen, si el número de habitantes considerado aumenta y viceversa. Si se carece de información como de consumos de agua

potable o de descargas de alcantarillado, se deberán adoptar los valores especificados en la siguiente tabla, donde “K1” es el coeficiente de consumo máximo diario y “K2” es el coeficiente de consumo máximo horario, de igual forma los coeficientes “β1” y “β2” representan el consumo mínimo diario y horario.

Tabla 9.

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

COEFICIENTES DE MAYORACIÓN		COEFICIENTES DE MINORACIÓN	
1.1 < K1 < 1.4	1.43 < K < 2.66	0.6 < β1 < 0.8	0.30 < β < 0.56
1.3 < K2 < 1.9		0.5 < β2 < 0.7	

Nota. Tabla de coeficientes de mayoración y minoración para la determinación del caudal máximo horario de aguas residuales, recomendado por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009.
Elaborado por: Los autores a través de la normativa EMAAP-Q,2009.

2.3.6. Contribución de agua lluvia

2.3.6.1. Caudal pluvial (Q_p)

Según la norma de diseño para sistemas de alcantarillado EMAAP-Q (2009), establece que para determinar el caudal pluvial de cuencas tributarias de hasta 200 Ha y con características hidrológicas-hidráulicas simples, se puede hacer uso del método racional a través de la siguiente ecuación:

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

Ecuación 6

Donde:

Q_p = Caudal pluvial (L/s)

C= Coeficiente de escorrentía (-)

A= Área de drenaje (Ha)

I= Intensidad de lluvia (mm/h)

2.3.6.2. Periodo de retorno (Tr)

“Número promedio de años en el cual un evento dado será igualado o excedido” (CPE-INEN-5, 1992, pág. 39). Además, es un parámetro importante para el diseño de obras hidráulicas destinadas a soportar eventos extremos.

Tabla 10.

Tabla de periodo de retorno para diferentes ocupaciones del área según EMAAP-Q, 2009.

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. Tabla de periodo de retorno para diferentes ocupaciones del área de influencia de la obra, recomendada por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores a través de la normativa EMAAP-Q, 2009.

2.3.6.3. Coeficiente de escorrentía (C)

“El coeficiente de escorrentía integra una gran cantidad de variables hidrometeorológicas y características de infiltración morfológicas del suelo y las condiciones de uso, cobertura y ocupación del suelo” (EMAAP-Q, 2009, pág. 95). Por otro lado, el GADMUR, recomienda usar valores mínimos de escorrentía, para obtener datos precisos sobre el caudal pluvial.

Tabla 11.

Coefficientes de escorrentía para ser utilizados en el método racional según Ven Te Chow, 1994.

VALORES USADOS PARA DETERMINAR UN COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE				
DESCRIPCIÓN DEL AREA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)			
	2	5	10	25
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86
Concreto / techo	0.75	0.80	0.83	0.88
Zonas verdes (jardines, parques, etc.) cubierta de pasto el 50% del área				
Plano 0 – 2%	0.32	0.34	0.37	0.40
Promedio 2 – 7%	0.37	0.40	0.43	0.46
Pendiente superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49
Zonas verdes (jardines, parques, etc.) cubierta de pasto el 50 al 75% del área				
Plano 0 – 2%	0.25	0.28	0.30	0.34
Promedio 2 – 7%	0.33	0.36	0.38	0.42
Pendiente superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46
Zonas verdes (jardines, parques, etc.) cubierta de pasto mayor al 75% del área				
Plano 0 – 2%	0.21	0.23	0.25	0.29
Promedio 2 – 7%	0.29	0.32	0.35	0.39
Pendiente superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44
Áreas de cultivos				
Plano 0 – 2%	0.31	0.34	0.36	0.40
Promedio 2 – 7%	0.35	0.36	0.38	0.44
Pendiente superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48
Pastizales				
Plano 0 – 2%	0.25	0.28	0.30	0.34
Promedio 2 – 7%	0.33	0.36	0.38	0.42
Pendiente superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46
Bosques				
Plano 0 – 2%	0.22	0.25	0.28	0.31
Promedio 2 – 7%	0.31	0.34	0.36	0.40
Pendiente superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45

Nota. Tabla de valores usados para determinar un coeficiente de escorrentía según las características de la superficie, en función del periodo de retorno en años. Fuente: Ven Te Chow, 1994.

2.3.6.4. *Intensidad de lluvia (I)*

“Lluvia por unidad de tiempo, normalmente se mide en mm/h” (CPE-INEN-5, 1992, pág. 183). El cantón Rumiñahui posee su propia ecuación de intensidad de lluvias la cual depende del tiempo de retorno y del tiempo de concentración.

$$I = \frac{212 \cdot Tr^{0.123}}{tc^{0.47}}$$

Ecuación 7

Donde:

I= Intensidad de lluvia (mm/h)

Tr= Periodo de retorno (años)

tc= tiempo de concentración (min)

- ***Intensidad diaria máxima (I_{dTr})***

Se obtiene mediante los mapas de isoyetas proporcionados por el INAMHI, dependiendo del tiempo de retorno; además para medir la intensidad de lluvia se utiliza estaciones pluviométricas las cuales están ubicadas en diferentes sitios. Dicho esto, la zona del proyecto técnico se encuentra en el cantón de Rumiñahui, provincia de Pichincha, es necesario destacar que el cantón posee su propia ecuación de intensidad, proporcionada por las Bases de Diseño del GADMUR.

- ***Tiempo de concentración (tc)***

“Es el tiempo de viaje del agua de lluvia caída en el punto más alejado de la sección de desagüe de una cuenca hasta llegar a dicha sección de desagüe” (EMAAP-Q, 2009, pág.103). De esta forma para estimar el tiempo de concentración para cada tramo se debe realizar la sumatoria del tiempo de entrada y el tiempo de flujo, como se indica en la siguiente ecuación:

$$tc = ti + tf$$

Ecuación 8

Donde:

t_c = Tiempo de concentración (min)

t_i = Tiempo inicial o de entrada al sistema de alcantarillado (min)

t_f = Tiempo del flujo a lo largo de los conductos del sistema de alcantarillado (min)

La (EMAAP-Q, 2009) recomienda que en zonas urbanas para tramos iniciales se considere un tiempo de concentración mínimo de 5 minutos, sin embargo, el tiempo de flujo puede ser tomado como:

$$tf = \frac{L}{60 \cdot V}$$

Ecuación 9

Donde:

t_f = Tiempo del flujo a lo largo de los conductos del sistema de alcantarillado (min)

L = Longitud del conducto (m)

V = Velocidad media en la sección de escurrimiento (m/s) = Q/A

2.3.7. Caudal de diseño

“Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, redes y estructuras de un proyecto determinado de alcantarillado” (EMAAP-Q, 2009, pág. 15). El caudal de diseño que será transportado a través de la red de alcantarillado para el inicio y fin del proyecto responde a la siguiente ecuación:

$$Q_{DISEÑO} = Q_{AS} + Q_P$$

Ecuación 10

Siendo:

$$Q_{AS} = Q_{MAX} + Q_{CE} + Q_{INF}$$

Ecuación 11

Por lo tanto:

$$Q_{DISEÑO} = Q_{MAX} + Q_{CE} + Q_{INF} + Q_P$$

Ecuación 12

Donde:

$Q_{DISEÑO}$ = Caudal de diseño (L/s)

Q_{AS} = Caudal de aguas residuales (L/s)

Q_{MAX} = Caudal máximo horario de aguas residuales (L/s)

Q_{CE} = Caudal por conexiones erradas (L/s)

Q_{INF} = Caudal por infiltración (L/s)

Q_P = Caudal pluvial (L/s)

2.3.8. Velocidad

2.3.8.1. Velocidad mínima

Según menciona la (EMAAP-Q, 2009), se debe establecer una velocidad mínima para evitar la acumulación de sedimentos y taponamientos en la tubería, es decir una velocidad en la que se puedan lavar los sólidos cuando el caudal es bajo. En este sentido, se establece 0.60 m/s considerando condiciones parcialmente llenas; también se considera el criterio de esfuerzo tractivo para condiciones iniciales de operación, verificando el comportamiento de autolimpieza se obtiene un valor de esfuerzo cortante medio mayor o igual a 0.10 Kg/m².

2.3.8.2. Velocidad máxima

La velocidad máxima en tuberías por gravedad depende del material de la tubería, por ello la norma de la (EMAAP-Q, 2009) recomienda utilizar la siguiente tabla.

Tabla 12.

Tabla de velocidades máximas en función del material de tubería según EMAAP-Q, 2009.

Material de la Tubería	Velocidad máxima (m/s)
Tubería de hormigón simple hasta 60 cm de diámetro.	4.5
Tubería de hormigón armado de 60 cm de diámetro o mayores.	6.0
Hormigón armado en obra para grandes conducciones 210/240 kg/cm ²	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 o mayor
Hierro dúctil o fundido	9.0 o mayor

Nota. Tabla de velocidad máxima en función del material de la tubería, recomendada por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores a través de la normativa EMAAP-Q,2009.

2.3.9. Pendiente

En el caso de la pendiente mínima se considera el criterio de autolimpieza y control de gases según lo mencionado respecto a la velocidad y la pendiente máxima dependerá de la velocidad máxima real, para conexiones domiciliarias se debe tomar en cuenta una pendiente mínima del 1%.

2.3.10. Profundidad

2.3.10.1. Profundidad hidráulica máxima

Para el caudal de diseño en un colector se tiene que permitir aireación del flujo de las aguas residuales, el valor máximo de la profundidad hidráulica esta entre rangos del 70% y 85% del diámetro real.

2.3.10.2. Profundidad mínima a la cota clave

“Las redes de recolección y evacuación de aguas residuales deben estar a una profundidad adecuada para permitir el drenaje por gravedad de las descargas domiciliarias, aceptando una pendiente mínima de estas de 2%” (EMAAP-Q, 2009).

Tabla 13.

Tabla de profundidades mínimas de tuberías según EMAAP-Q.

PROFUNDIDAD MÍNIMA DE TUBERÍAS	
Servidumbre	Profundidad mínima a la cota clave del colector (m)
Vías peatonales o zonas verdes	1.50
Vías vehiculares	1.50

Nota. Tabla de profundidad mínima a la cota clave del colector, recomendada por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores a través de la normativa EMAAP-Q, 2009.

2.3.10.3. Profundidad máxima a la cota clave

La profundidad máxima de las tuberías es de 5 m, según menciona la (EMAAP-Q, 2009), se deben proporcionar ciertos requisitos como, geotécnicos para cimientos y estructurales para materiales y tuberías durante y después de la construcción.

2.4. Componentes de un sistema de alcantarillado

2.4.1. Colectores

2.4.1.1. Colectores principales

Se denomina tubería principal de la red al colector principal, recibe los aportes de una cadena de colectores secundarios, tienen diferentes dimensiones de acuerdo con las aportaciones de caudales de agua lluvia y agua servida, el material a emplearse dependerá de las condiciones topográficas del área de estudio.

2.4.1.2. Colectores secundarios

Este tipo de colectores se caracterizan por ser conductos cerrados de mayor sección, tienen forma circular, cuadrado u ovalado, los cuales captan y recogen las aguas residuales domésticas y por las alcantarillas el agua pluvial o el líquido de las vías.

2.4.2. Sumideros

“Son estructuras destinadas a captar el agua que escurre por las cunetas de las calles y descargarla en la red de alcantarillado” (EMAAP-Q, 2009, pág. 117). Su diseño, el número y la localización será de tal forma que se garantice el ingreso del caudal total de esorrentía.

2.4.3. Pozos de revisión

Son estructuras diseñadas para permitir el acceso al interior de una tubería o colector de alcantarillado. Según la (EMAAP-Q, 2009) son estructuras de forma cilíndrica o prismática con tapa removible para permitir el acceso, ventilación de los sistemas de alcantarillado. (pág. 12).

2.4.4. Conexiones domiciliarias

“Descargas o derivaciones que conducen efluente sanitario y/o pluvial desde un domicilio hacia la red de alcantarillado” (EMAAP-Q, 2009). Las conexiones domiciliarias se realizan con una pendiente mínima de 1-2 %, con diámetros de tubería de 100 mm para sistemas sanitarios y 150 mm para sistemas pluviales.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

Se aplicará el método de investigación de tipo descriptiva o comúnmente conocida como investigación inicial, la investigación descriptiva según menciona (Jervis, 2020), es “el registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual y la composición o procesos de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre como una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente”. Por lo tanto, para el desarrollo de este proyecto técnico, evaluación del sistema de alcantarillado combinado del barrio “La Colina”, de la parroquia Sangolquí, del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha, se determinarán los parámetros de diseño y las características de los materiales, considerando factores topográficos, ambientales y poblacionales basados en la situación real de la zona de estudio, con el fin de alcanzar una adecuada interpretación de los datos que se obtendrán.

3.2. Métodos de investigación

Los métodos de investigación que se aplicaran para el desarrollo del trabajo de titulación será el método inductivo y deductivo, de modo que se analizará, interpretará y verificará la información obtenida para la evaluación.

Según (Newman, 2006), “La deducción permite establecer un vínculo de unión entre teoría y observación, permitiendo deducir, a partir de la teoría, los fenómenos objeto de observación”.

3.3. Técnicas de recolección de información

En la elaboración del proyecto técnico se utilizarán varios instrumentos de investigación como son las normativas vigentes en el país, que son:

- CPE INEN 5, 1992

- NTE INEN 1108. 2014
- Bases de Diseño del GADMUR-DAPA
- Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado para la EMAAP-Q, 2009.

Se complementará la investigación con datos de fuentes confiables como artículos académicos, sitios web, revistas científicas, libros e información proporcionada por parte del GAD de Rumiñahui.

3.4. Proceso técnico de ingeniería civil

El procedimiento que se llevará a cabo para la evaluación del sistema de alcantarillado combinado para el barrio “La Colina”, parroquia Sangolquí, cantón Rumiñahui, provincia Pichincha, se realizará de la siguiente manera:

- Establecer el estado del arte acerca de los parámetros y requisitos básicos de diseño para el sistema de alcantarillado combinado por medio de la investigación de fuentes confiables.
- Evaluar, analizar y observar la situación actual del sistema de alcantarillado del barrio “La Colina”.
- Realizar el levantamiento catastral mediante visitas técnicas y levantamiento topográfico que será facilitado por el DAPA del GAD de Rumiñahui.

3.4.1. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico es fundamental dentro de una obra civil, ya que hace referencia a las características geográficas, físicas y geomorfológicas de la superficie del proyecto. El barrio “La Colina” está comprendido entre la cota 2482 y 2515 m.s.n.m y a su vez forma parte de la zona 06 del cantón Rumiñahui.

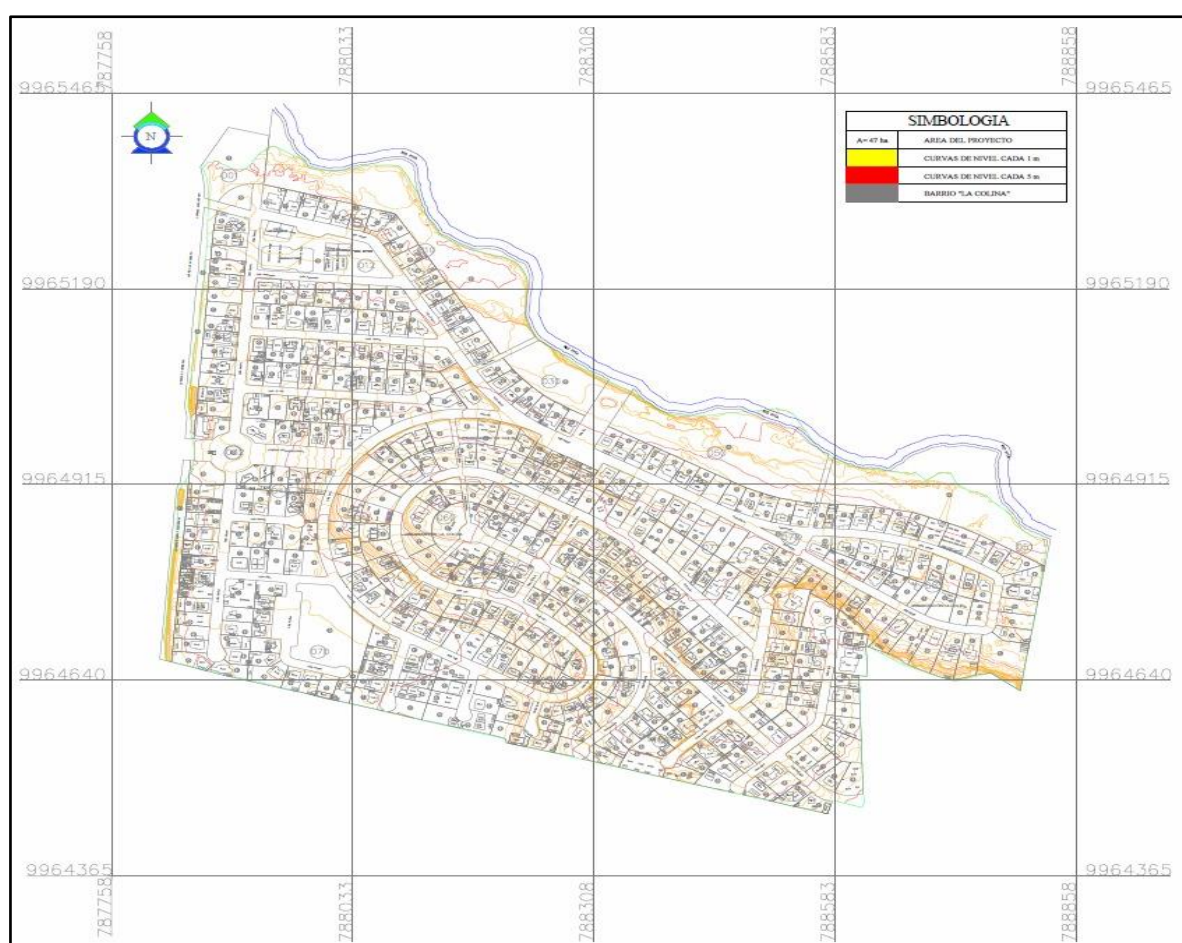
La topografía del lugar de estudio se caracteriza especialmente por pendientes altas en calles transversales y pendientes bajas en calles principales, en un rango de 0.02 y 66 %, las

cuales están compuestas principalmente de asfalto y con algunos tramos de adoquín. Por otra parte, se determinaron las características físicas de la infraestructura existente como: ejes de calles, ubicación de lotes, alturas de los pozos de revisión, también cotas de terreno y fondo de la red de alcantarillado combinado.

Es importante mencionar que, el departamento de Agua Potable y Alcantarillado del Gobierno Autónomo Descentralizado de Rumiñahui (DAPA), proporcionó información topográfica, que incluye al Barrio “La Colina” de la ZONA 06, clasificada por el plan de desarrollo y organización territorial.

Figura 3.

Topografía del barrio “La Colina”.



Nota. Topografía del barrio “La Colina”, zona 06, clasificada por el Plan de Desarrollo y Organización Territorial- PDOT. Fuente: GADMUR- DAPA.

3.4.2. Levantamiento catastral

El propósito de realizar el levantamiento catastral de un sistema de alcantarillado es, contar con una base de datos técnicos de los elementos que conforman el sistema según sus características físicas, permitiendo determinar el estado y funcionamiento actual de la red de alcantarillado. La principal estrategia del trabajo fue realizar varias visitas técnicas al área de estudio, el desarrollo del catastro inicio el día 29 de septiembre del 2024 y culmino el 19 de octubre del 2024. Por otro lado, la información recopilada en campo se registró a detalle en cada ficha, tanto en físico como en digital de cada pozo, como resultado del catastro se realizaron 114 fichas catastrales. A continuación, se evidencia como se llenó el modelo de ficha catastral, tomando como referencia la ficha del pozo No. 105 y No. 6.

Figura 4.

Ficha catastral del pozo No. 105.



SALESIANA

Evaluación hidráulica del sistema de alcantarillado combinado del Barrio "La Colina", parroquia de Sangolquí, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.

1

FORMULARIO No. 1

Cota topográfica: 24105.300 mm

Altura: 3.105 m

Fecha: 20/10/2023

Realizado por: Salme J. A. Candia K.

Coord. No. 1

ESTADO DEL MATERIAL									
LOS	NO	HF	HA	B	R	M			
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40									
41									
42									
43									
44									
45									
46									
47									
48									
49									
50									
51									
52									
53									
54									
55									
56									
57									
58									
59									
60									
61									

Nota. Ficha catastral del pozo 105, se evidencia como se registró la información catastrada de la evaluación del sistema de alcantarillado combinado del barrio “La Colina”, parroquia de Sangolquí, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha. Elaborado por: Los autores.

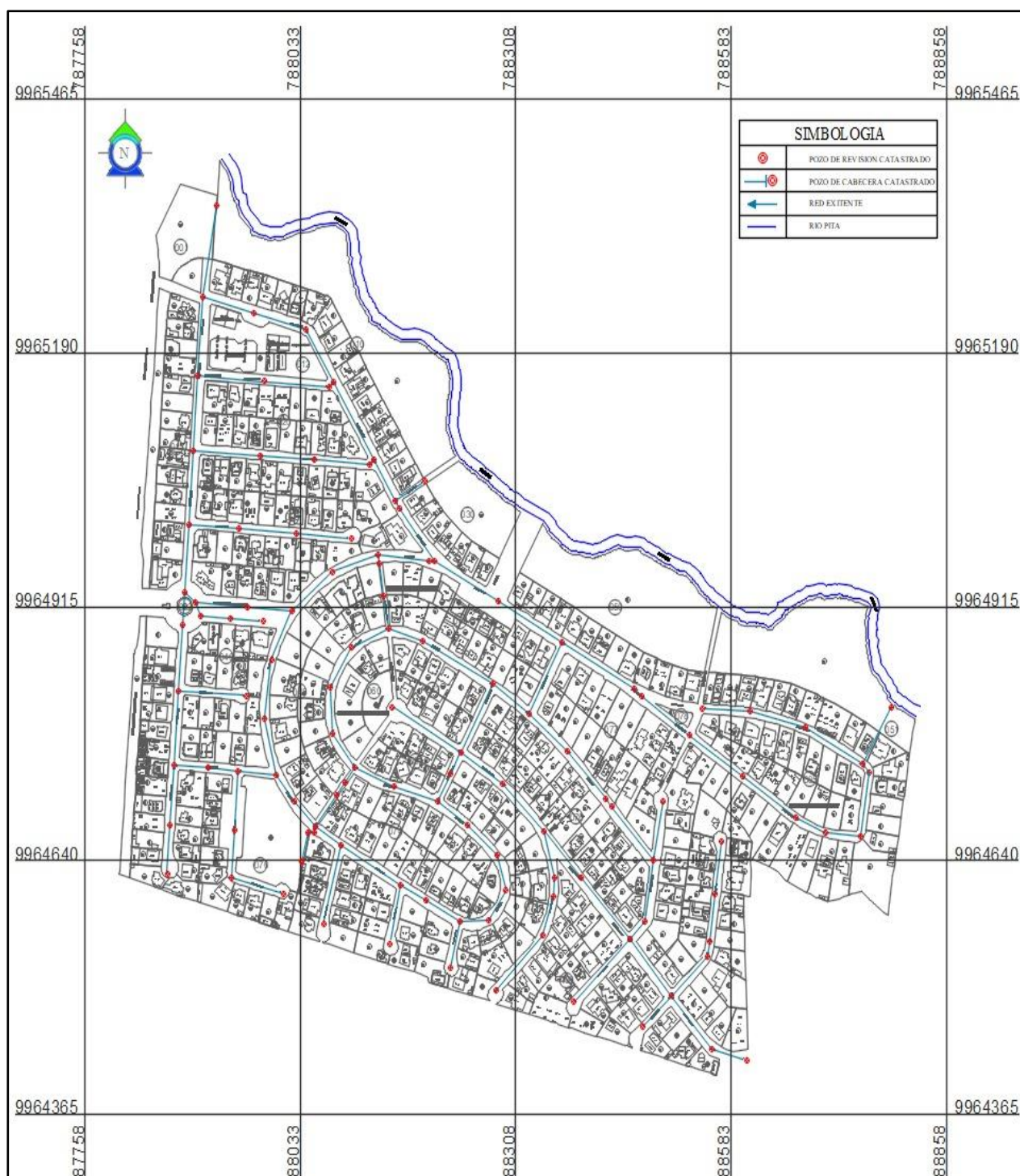
Ficha catastral del pozo No. 6.

Nota. Ficha catastral del pozo 6, se evidencia como se registró la información catastrada de la evaluación del sistema de alcantarillado combinado del barrio “La Colina”, parroquia de Sangolquí, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha. Elaborado por: Los autores.

A continuación, se puede evidenciar como se encuentra distribuida la red de alcantarillado combinado

Figura 6.

Distribución de la red de alcantarillado existente del barrio “La Colina”.



Nota. Distribución de la red y ubicación de pozos en el trazado existente del barrio “La Colina”. Elaborado por:

Los autores a través de la información topográfica proporcionada por el GADMUR- DAPA.

Los pozos del barrio “La Colina” cumplen con el requerimiento establecido por la normativa de la (EMAAP-Q, 2009), donde se establecen criterios para una adecuada ubicación de los pozos, los cuales son:

- Al inicio de tramos de cabecera de la red
- En las intersecciones de las calles y en los cambios de pendiente
- Si existe cambio de dirección o de sección del conducto

3.4.2.1 Análisis e Interpretación De Datos Catastrados

Descripción de pozos

Se presenta un resumen donde se registra el número de pozos con el año de la tapa del pozo, el material y el estado de cada pozo, respectivamente.

Tabla 14.

Tabla de Evaluación del sistema de alcantarillado combinado existente- resumen de pozos.

RESUMEN DE POZOS: EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO EXISTENTE		
TAPA		
DESCRIPCIÓN		No.
AÑO	1981	26
	1982	81
	1985	1
	2001	1
	2014	3
	2016	2
ESTADO	BUENO (B)	0
	REGULAR ®	107
	MALO (M)	7
MATERIAL	HF	113
	HA	1
POZO		
DESCRIPCIÓN		No.
ESTADO	BUENO (B)	0
	REGULAR ®	68
	MALO (M)	46

Nota. Tabla de resumen de las condiciones actuales de los pozos de revisión del barrio “La Colina”. Elaborado por: Los autores.

A continuación, se describen las características que poseen estas estructuras:

- Cota superficial: Es la cota de terreno que se la registro mediante el levantamiento topográfico, las cuales oscilan entre 2486 m.s.n.m y 2524 m.s.n.m.
- Cota de fondo: La cota de proyecto o de fondo, se la obtiene al restar la altura del pozo a la cota superficial, las cuales oscilan entre 2483 m.s.n.m y 2522 m.s.n.m.
- Tapa y nomenclatura: Para su fácil identificación se etiquetó la tapa de cada pozo según su número, como se muestra en la figura 7. De igual manera, se pudo evidenciar mediante las visitas técnicas que la tapa del pozo es circular con un diámetro de 0.6 m, y el material de 113 pozos es hierro fundido (HF) y solo uno de hormigón armado (HA), el cual corresponde al “P-20”, como se puede observar en la figura 8.

Figura 7.

Pozo de revisión número 110, P-110.



Nota. Pozo de revisión con su respectiva nomenclatura según su numeración para fácil identificación. Elaborado por: Los autores.

Figura 8.

Pozo de revisión número 20, P-20.



Nota. Pozo de revisión con su respectiva nomenclatura según su numeración para fácil identificación, este pozo corresponde a la calle Sucua, el cual tiene tapa de hormigón. Elaborado por: Los autores.

- Material del pozo: Mediante el catastro se pudo constatar que los pozos son de hormigón como se puede observar en la figura 9.

Figura 9.

Pozo de revisión abierto.



Nota. Pozo de revisión abierto para identificar el material con el que fue construido, en este caso es de hormigón según lo catastrado. Elaborado por: Los autores.

- Separación entre pozos: Es la máxima distancia entre pozos de revisión, será de 100 m según la (CPE-INEN-5, 1992), en nuestro proyecto hay tramos de tuberías que exceden los 100 m, sin embargo, la misma norma menciona que, para diámetros entre 400 mm y 800 mm la distancia máxima entre pozos de revisión será 150 m.
- Profundidad del pozo: La profundidad de los pozos catastrados se obtuvo mediante la diferencia de cotas, se restó de la cota del terreno natural la cota de proyecto, obteniendo como resultado la altura del pozo (H pozo). Según la (EMAAP-Q, 2009) la profundidad recomendada para un pozo varía entre 1.50 m como mínimo y 5 m como valor máximo. Con lo expuesto anteriormente se desarrolló la tabla 15, donde se muestran las alturas de cada pozo catastrado, verificando si la altura de cada pozo cumple con los criterios establecidos; como resultado de lo mencionado se estableció que, el pozo 22 supera la profundidad máxima y el pozo 100 no cumple con la profundidad mínima.

Tabla 15.

Tabla de alturas de los pozos catastrados del barrio “La Colina”.

No. POZO	H POZO (m)	Criterio EMAAP- Q (2009)	
		H mín. (m)	1.5
		H máx. (m)	5
1	2.8	SI CUMPLE	
2	3.5		
3	3.85		
4	3.08		
5	3.15		
6	3.15		
7	3.9		
8	3.3		
9	3.7		
10	3.9		
11	1.85		
12	1.7		
13	3.65		
14	2.55		
15	2.2		
16	2.2		
17	2.2		
18	4.45		
19	4.3	SI CUMPLE	
20	1.9		
21	4.1		
22	5.7	NO CUMPLE	
23	4.4		
24	4.4		
25	4.4	SI CUMPLE	
26	3.6		
27	1.83		
28	1.9		
29	2.1		
30	2.5		
31	2.8		
32	2.3		
33	2.5		
34	2.73		
35	2.86		
36	3.57		

No. POZO	H POZO (m)	Criterio EMAAP-Q (2009)	
		H mín. (m)	1.5
		H máx. (m)	5
37	2.2		
38	2.3		
39	2.3		
40	3.1		
41	2		
42	2.7		
43	3		
44	2.8		
45	3.5		
46	2.9		
47	2.3		
48	2.3		
49	1.55		
50	1.8		
51	1.94		
52	2.6		
53	2.25		
54	3.1		
55	2.35		
56	3.3	SI CUMPLE	
57	2.65		
58	2.75		
59	2.5		
60	1.95		
61	3.1		
62	2.05		
63	3.5		
64	3.6		
65	2.95		
66	1.7		
67	1.8		
68	2.7		
69	2.45		
70	4.1		
71	3.1		
72	3.9		
73	4.5		
74	1.8		
75	3.75		

No. POZO	H POZO (m)	Criterio EMAAP-Q (2009)	
		H mín. (m)	1.5
		H máx. (m)	5
76	3.5		
77	4.3		
78	2.8		
79	2.65		
80	2.7		
81	2.9		
82	1.7		
83	2.85		
84	2.8		
85	1.95		
86	3.1		
87	2.5	SI CUMPLE	
88	2.25		
89	2		
90	1.8		
91	1.5		
92	2.85		
93	2.05		
94	2.85		
95	2.65		
96	2.1		
97	2.8		
98	2.8		
99	2.35		
100	1.4	NO CUMPLE	
101	2.4		
102	2		
103	2.85		
104	3		
105	3.4		
106	2.6		
107	2.1	SI CUMPLE	
108	3.4		
109	2.85		
110	3.5		
111	2.8		
112	2.1		
113	3.2		
114	2		

Nota. Tabla de pozos catastrados con su altura correspondiente, considerando el criterio de la EMAAP-Q,2009, la cual menciona alturas mínimas de 1.50 m y alturas máximas de 5 m. Elaborado por: Los autores.

Para establecer el estado en el que se encuentra un sistema de alcantarillado, se debe considerar una escala de valoración o clasificación, en base a parámetros técnicos, operativos

y de mantenimiento, los cuales evalúan el estado físico, funcionalidad y el cumplimiento de la normativa vigente. En este proyecto se consideró una escala de valoración para identificar el estado del sistema como bueno, regular y malo.

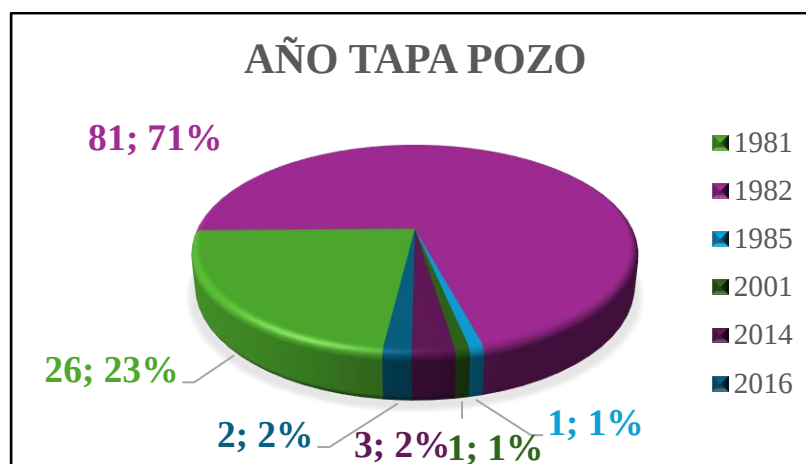
- Bueno: Hace referencia al estado bueno cuando el sistema se encuentra operando en condiciones óptimas y funcionales, es decir, la estructura no presenta daños como grietas y erosión.
- Regular: Es cuando el sistema cuenta con fallas y/o daños mínimos, los cuales no afectan de manera grave a su funcionalidad; estos daños se presentan como fisuras, filtraciones ocasionales, los mismos que requieren mantenimiento para evitar problemas mayores.
- Malo: Es cuando el sistema no cumple con las condiciones mínimas para funcionar de manera segura y eficaz, se presentan daños significativos como fugas, colapsos, corrosión, obstrucciones causando desbordamientos e incumplimiento con la normativa vigente.

Por último, en el barrio “La Colina” existen 114 pozos de alcantarillado combinado, de los cuales 68 pozos se encuentran en estado regular representando el 60% y 46 pozos están en mal estado siendo el 40%, y ningún pozo en buen estado. Dicho esto, el sistema del barrio “La Colina” se encuentra en mal estado debido a que su construcción se realizó en el año 1982, dada por cumplida su vida útil, esto se pudo corroborar mediante las tapas de los pozos de revisión.

La información obtenida se presenta en las siguientes figuras

Figura 10.

Año de fabricación de los pozos de revisión catastrados del barrio “La Colina”.



Nota. En la figura se representa en porcentaje el año de fabricación los pozos del barrio “La Colina”, el año se identifica en la tapa de cada pozo catastrado, siendo la mayor parte de pozos del 1982. Elaborado por: Los autores.

Figura 11.

Estado general de los pozos catastrados del barrio “La Colina”.



Nota. En la figura se representa en porcentaje el estado general de los pozos catastrados del barrio “La Colina”.

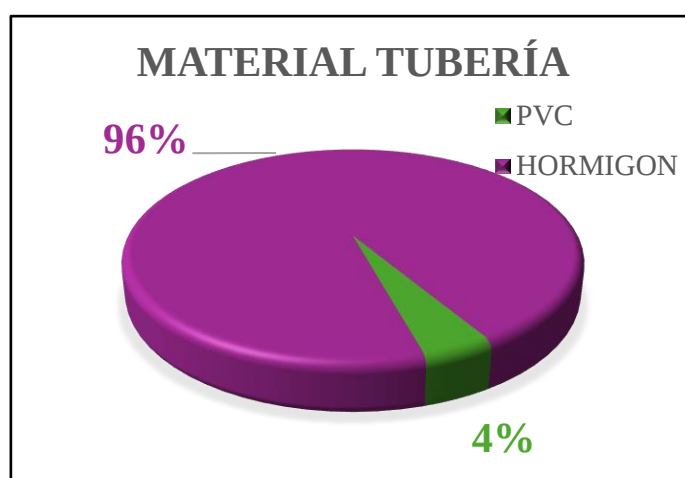
Elaborado por: Los autores.

Descripción de tuberías

- **Material:** Se refiere al material de la tubería a utilizarse, puede ser de hormigón o PVC, en sistemas antiguos como es el caso, que sean de hormigón es lo más común, en la actualidad se utiliza PVC debido a varias ventajas prácticas y técnicas, el porcentaje según el material de la tubería se puede observar en el siguiente gráfico.

Figura 12.

Material de la tubería de los pozos catastrados del barrio “La Colina”.



Nota. En la figura se representa en porcentaje el material de las tuberías de los pozos catastrados del barrio “La Colina”. Elaborado por: Los autores.

- Longitud y Diámetro: Son datos técnicos importantes, ya que con los mismos se evalúa la capacidad hidráulica del sistema de alcantarillado; la longitud total de la tubería es de 6.99 km, la misma que posee varios diámetros los cuales están entre 250 mm a 1000 mm, en la siguiente tabla se muestra los diámetros a detalle de cada tubería.

Tabla 16.

Tabla de resumen de tuberías según el diámetro catastrado.

RESUMEN DE TUBERIAS SEGÚN EL DIAMETRO		
Diámetro Catastrado	No.	Etiqueta tubería
250 mm	3	T-56, T-57, T-58
300 mm	70	T-1, T-2, T-3, T-6, T-7, T-8, T-26, T-36, T-37, T-38, T-39, T-40, T-41, T-42, T-43, T-44, T-45, T-46, T-47, T-48, T-49, T-50, T-51, T-52, T-55, T-60, T-62, T-63, T-64, T-65, T-66, T-67, T-68, T-69, T-70, T-71, T-72, T-73, T-75, T-76, T-77, T-78, T-79, T-80, T-81, T-84, T-91, T-94, T-95, T-96, T-97, T-98, T-99, T-100, T-101, T-102, T-103, T-104, T-105, T-106, T-107, T-108, T-109, T-110, T-111, T-117, T-120, T-121
400 mm	13	T-10, T-11, T-12, T-13, T-14, T-15, T-16, T-32, T-33, T-34, T-35, T-82, T-85, T-86

Diámetro Catastrado	No.	Etiqueta tubería
500 mm	2	T-92, T-93
600 mm	9	T-24, T-29, T-31, T-74, T-83, T-87, T-88, T-89, T-90
1000 mm	27	T-4, T-5, T-9, T-17, T-18, T-19, T-20, T-21, T-22, T-23, T-25, T-27, T-28, T-30, T-53, T-54, T-59, T-61, T-112, T-113, T-114, T-115, T-116, T-118, T-119, T-122, TP-47

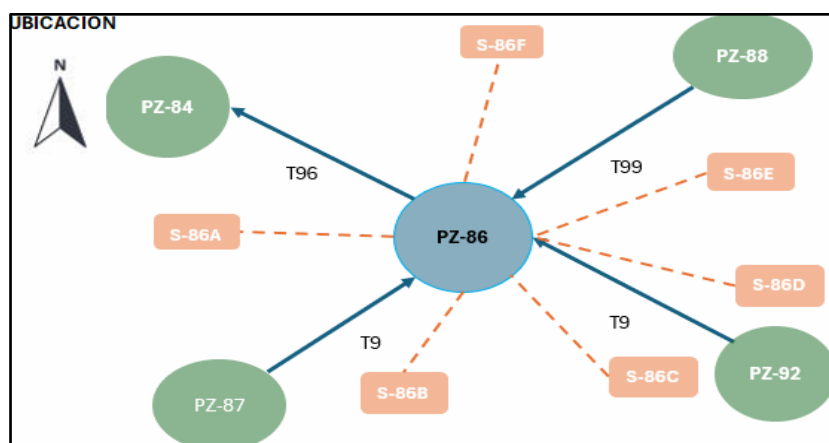
Nota. Tabla de resumen de tuberías según el diámetro de los pozos catastrados del barrio “La Colina”. Elaborado por: Los autores.

Según lo establecido en las bases de diseño de “La Colina”, los diámetros recomendados para un sistema de alcantarillado pluvial son de 250 mm, mientras que, para un sistema de alcantarillado sanitario, es de 200 mm, con el fin de evitar obstrucciones de los conductos.

- Sentidos de flujo: Se refiere al pozo donde empieza el flujo por gravedad y el pozo donde termina o llegará el flujo. En una sección de la ficha catastral, se dibujaron los sentidos de flujo de tal forma que el mismo fluya a gravedad, considerando las cotas y los puntos más bajos, mismo que se representó con flechas azules de la siguiente manera.

Figura 13.

Representación de los sentidos de flujo de cada pozo.



Nota. En un apartado de la ficha catastral se representa los sentidos de flujo según el pozo catastrado. Elaborado por: Los autores.

Sumideros

- Tipo de sumidero: Puede ser longitudinal o de calzada, en el barrio “La Colina” existen sumideros de tipo calzada o también conocido como vertical.
- Nomenclatura: Se les atribuyo una etiqueta a cada sumidero en función del pozo al que va dirigida la descarga.

Figura 14.

Sumidero con su respectiva nomenclatura, S-86-E.



Nota. Sumidero etiquetado como S-86-E, según la descarga del pozo al que corresponde el sumidero. Elaborado por: Los autores.

- Diámetro: El diámetro de la tubería que llega al pozo de revisión, por lo general es de 200 mm permitiendo su limpieza.
- Geometría: Varía según el tipo de sumidero, por lo que podría ser estándar, en este caso todos los sumideros son rectangulares, sus medidas se evidencian en la siguiente figura.

Figura 15.

Medidas del sumidero.



Nota. Estas medidas y geometría son para todos los sumideros del barrio “La Colina”. Elaborado por: Los autores.

En el barrio “La Colina” se encuentran 208 sumideros, los cuales se ubican directamente en el bordillo, posteriormente a lo catastrado se registró a detalle datos físicos de estas estructuras como el material, dimensiones, tipo de sumidero, estado general y observaciones de ser el caso.

De igual manera, se realizó una escala de valoración para identificar el estado de los sumideros como bueno, regular y malo, en base a parámetros operativos y de mantenimiento. En la figura 16 se muestra una sección de la ficha catastral referente a sumideros, donde se registró a detalle la información catastrada de cada sumidero, la misma que se tabulo y se presenta en la figura 17.

Figura 16.

Sección donde se registró la información catastral respecto a sumideros.

SUMIDEROS											
No.	DESC.	TIPO		MATERIAL		ESTADO			ÁREA		
		Calzada	Verd	HF	HA	B	R	M	B	A	H
1	S-1	X		x				X	0.53	0.39	0.53
2	S-1-A	X		X			X		0.53	0.39	0.45
3	S-1-B	X		X			X		0.53	0.39	0.58
OBSERVACIÓN: LOS SUMIDEROS S-1, S-1-A, S-1-B REQUIEREN MANTENIMIENTO											

Nota. En un apartado de la ficha catastral según al pozo que corresponda, se registró la información del sumidero del barrio “La Colina”. Elaborado por: Los autores.

Figura 17.

Estado general de los sumideros catastrados del barrio “La Colina”.



Nota. En la figura se representa en porcentaje el estado general de los sumideros catastrados del barrio “La Colina”.

Elaborado por: Los autores.

De los 208 sumideros, 140 se encuentran en condiciones regulares, siendo el 67%, sin embargo, el 31% representa 65 sumideros que se encuentran en malas condiciones y solamente el 2% se encuentra en buenas condiciones. Esto se debe a que los sumideros están obstruidos por sedimentos que arrastra la escorrentía superficial, como se muestra en el sumidero S-102-A; y además por los desechos y escombros que son vertidos por los moradores del barrio “La Colina”, lo que se puede constatar en el sumidero S-84-C. Estos problemas se presentan debido a que no existe un mantenimiento preventivo y la falta de concientización de los residentes.

Figura 18.

Sumidero S-84-C, se evidencia problemas de mantenimiento.



Nota. El sumidero S-84-C presenta problemas de taponamiento debido a falta de mantenimiento como se puede observar. Elaborado por: Los autores.

Figura 19.

Sumidero S-102-A con problemas mantenimiento.



Nota. El sumidero S-102-A presenta problemas de taponamiento debido a falta de mantenimiento como se puede observar. Elaborado por: Los autores.

CAPITULO IV

ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO DEL BARRIO “LA COLINA”

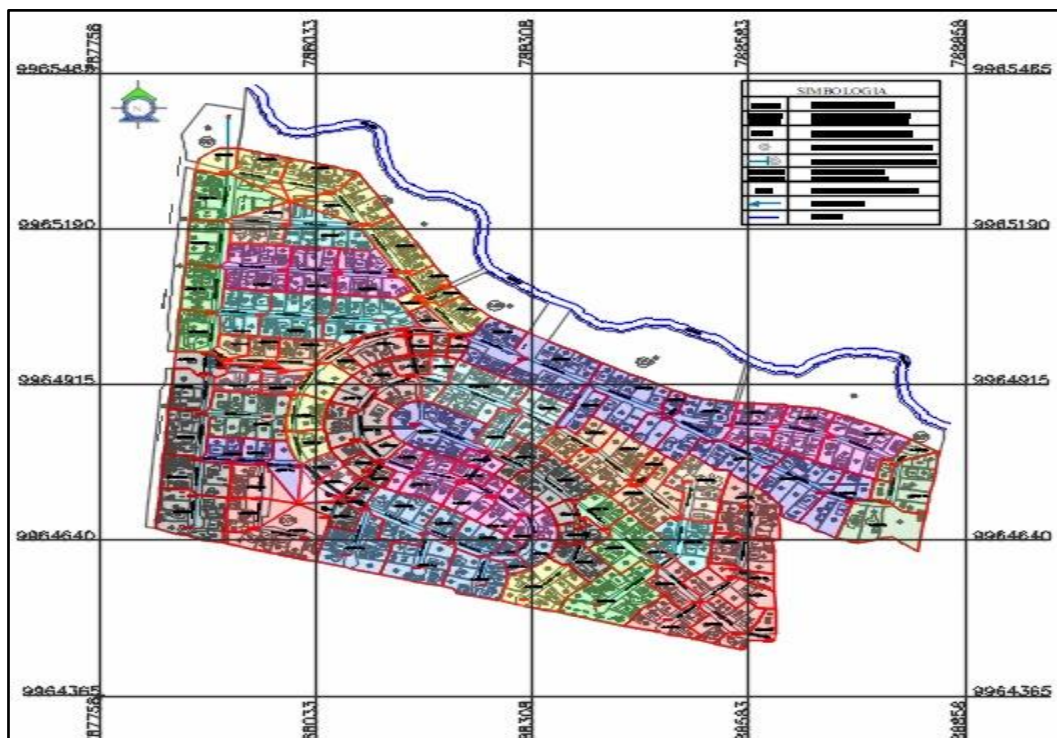
4.1 Parámetros base para la evaluación

4.1.1 Área de aporte o tributaria

Para delimitar las superficies de aportación se zonifico la zona del proyecto con la finalidad de distribuir de manera equivalente los caudales pluviales y sanitarios, en la tabla 17 se presenta el área de aporte para cada pozo. Además, se toma como referencia la figura 20, donde se muestra cómo se zonifico el área del proyecto considerando los sentidos de flujo, las mismas que se adjuntan en los planos anexados.

Figura 20.

Áreas tributarias correspondientes al barrio “La Colina”.



Nota. Distribución de las áreas tributarias correspondiente a cada pozo del barrio “La Colina”. Elaborado por:

Los autores.

Tabla 17.

Tabla de áreas de drenaje de cada pozo catastrado del barrio “La Colina”.

POZO		ÁREA DRENAJE		
DE	A	PARCIAL m².	PARCIAL Ha.	TOTAL Ha.
CALLE GALÁPAGOS				
93	92	2256.51	0.23	0.23
92	86	4516.07	0.45	0.68
86	84	3043.26	0.30	3.21
95	94	3023.50	0.30	0.30
94	84	5246.03	0.52	0.83
67	66	8536.75	0.85	0.85
95	96	5656.32	0.57	1.20
96	66	2748.69	0.27	1.48
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE AZUAY				
87	86	4489.53	0.45	0.45
91	90	6798.80	0.68	0.68
90	89	4591.52	0.46	1.14
89	88	1863.74	0.19	1.33
88	86	4536.30	0.45	1.78
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE LOS RIOS				
85	84	8564.71	0.86	0.86
82	81	6158.80	0.62	0.62
84	83	854.30	0.09	4.98
83	81	5219.53	0.52	5.50
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE IMBABURA				
99	I	6410.23	0.64	0.64
99	98	3026.25	0.30	0.30
98	97	2074.37	0.21	0.51
97	95	1258.02	0.13	0.64
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE ATACAMES				
66	62	1397.99	0.14	0.14
62	61	1304.62	0.13	0.27
66	76	3004.43	0.30	2.63
CALLE LOJA				
39	38	3456.16	0.35	0.35
38	37	2706.40	0.27	1.41
37	22	912.07	0.09	1.50
39	40	1538.63	0.15	0.15
40	44	2872.41	0.29	0.29
44	45	2908.87	0.29	0.58
45	46	2448.61	0.24	0.82
58	57	1690.99	0.17	0.17
57	56	1665.95	0.17	0.34
56	55	2986.54	0.30	1.15
55	54	1956.72	0.20	1.35
54	52	5990.91	0.60	2.54
52	48	963.22	0.10	3.30
48	47	2359.71	0.24	7.47
47	46	2270.49	0.23	7.69
58	59	2604.85	0.26	0.26
59	60	3929.82	0.39	0.65
60	61	3535.96	0.35	1.01
61	63	4256.78	0.43	1.70

POZO		ÁREA DRENAJE		
DE	A	PARCIAL m².	PARCIAL Ha.	TOTAL Ha.
CALLE LOJA				
63	64	2566.39	0.26	1.96
71	70	2101.00	0.21	0.21
70	69	5683.09	0.57	0.78
69	64	2390.41	0.24	1.02
71	72	4153.07	0.42	0.42
72	75	2376.61	0.24	0.24
75	76	7819.17	0.78	1.02
76	77	4491.23	0.45	3.80
81	80	5848.15	0.58	6.70
80	79	1203.13	0.12	6.82
79	78	6556.06	0.66	7.48
78	77	3878.73	0.39	7.86
CALLE LOJA Y CALLE CARCHI				
53	52	6603.82	0.66	0.66
CALLE LOJA Y CALLE CAÑAR				
C	54	5908.74	0.59	0.59
CALLE LOJA Y CALLE ZAMORA				
Z	56	5197.73	0.52	0.52
CALLE LOJA Y PASAJE EL CARMEN				
49	50	2243.84	0.22	0.22
50	51	2243.84	0.22	0.45
51	48	2243.84	0.22	0.67
64	65	991.79	0.10	3.08
65	68	1155.24	0.12	3.19
68	48	687.82	0.07	3.26
72	73	1636.66	0.16	0.58
73	74	1064.33	0.11	0.69
74	38	1064.33	0.11	0.79
CALLE LOJA Y CALLE BOLIVAR				
77	24	2607.46	0.26	11.92
CALLE PASTAZA Y CALLE NAPO				
100	101	7619.29	0.76	0.76
101	102	3624.00	0.36	1.12
102	103	3950.31	0.40	1.52
CALLE NAPO				
46	103	2771.32	0.28	8.79
103	104	1815.49	0.18	10.49
104	105	2036.07	0.20	10.70
CALLE GUAYAS Y CALLE MORONA				
109	108	8079.005	0.808	0.808
CALLE GUAYAS Y AV. UNIDAD NACIONAL				
41	43	2342.08	0.23	0.23
43	111	2483.82	0.25	0.48
111	1	2483.82	0.25	0.73
40	42	3388.82	0.34	0.49
42	1	2389.62	0.24	0.73
1	2	1649.19	0.16	1.63
CALLE GUAYAS Y CALLE EL ORO				
6	5	7184.82	0.72	0.72
5	4	6434.26	0.64	1.36
4	3	4525.78	0.45	1.81

POZO		ÁREA DRENAJE		
DE	A	PARCIAL m².	PARCIAL Ha.	TOTAL Ha.
CALLE GUAYAS Y CALLE MANABI				
9	8	4935.74	0.49	0.49
8	7	6554.09	0.66	1.15
9	10	6248.94	0.62	0.62
10	18	6248.94	0.62	1.25
CALLE GUAYAS Y CALLE ESMERALDAS				
12	13	4406.83	0.44	0.44
12	11	6128.43	0.61	0.61
11	17	6128.43	0.61	1.23
CALLE GUAYAS Y CALLE SUCUA				
20	19	1034.69	0.10	0.10
CALLE GUAYAS TRAMO A				
107	106	6771.01	0.68	0.68
106	105	5292.74	0.53	1.21
105	108	4192.66	0.42	12.32
108	110	3638.28	0.36	13.50
110	2	2264.66	0.23	13.72
2	3	3756.89	0.38	15.72
3	7	4191.16	0.42	17.96
7	13	4162.47	0.42	19.52
13	14	7072.74	0.71	20.67
CALLE GUAYAS TRAMO B				
33	34	5094.37	0.51	0.51
34	35	7488.44	0.75	1.26
35	36	5750.78	0.58	1.83
36	26	6714.83	0.67	2.50
26	25	3062.45	0.31	2.81
25	24	7522.35	0.75	3.56
24	23	8520.92	0.85	16.34
23	22	5461.44	0.55	16.89
22	21	2939.44	0.29	18.68
21	19	792.77	0.08	18.76
19	18	2032.62	0.20	18.96
18	17	4816.74	0.48	20.69
17	16	5388.36	0.54	22.46
16	15	4550.70	0.46	22.91
15	14	3853.82	0.39	23.30
14	DESCARGA	1859.96	0.19	44.16
CALLE GUAYAS TRAMO C				
27	28	4285.49	0.43	0.43
28	29	5348.24	0.53	0.96
29	30	7911.73	0.79	1.75
33	32	6500.59	0.65	0.65
32	31	5779.35	0.58	1.23
31	30	1743.52	0.17	1.40
30	DESCARGA	0.00	0.00	3.16

Nota. Tabla de área de drenaje parcial y acumulada de cada pozo catastrado del barrio “La Colina”. Elaborado por:

Los autores.

Para determinar las áreas de aporte se tomó en cuenta los siguientes parámetros:

- Topografía de la zona de estudio, además de las curvas de nivel.
- Aspectos urbanísticos definidos por el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia de Sangolquí.
- Se considero el tipo de uso de suelo, para este caso es residencial y comercial.

4.1.2 Densidad poblacional

Hace referencia a una medida de distribución poblacional de un área determinada, relacionando el número de habitantes que residen en dicha área para el área total del proyecto.

$$Densidad\ poblacional = \frac{Habitantes\ (Hab)}{Área\ total\ (Ha)}$$

Ecuación 13

El barrio “La Colina” no cuenta con un registro actual del número de habitantes, sin embargo, el Instituto Nacional de Estadística y Censos dispone de datos demográficos registrados, los mismos que consideran la población total de la parroquia de Sangolquí, por lo que esta información no es representativa para la zona de estudio. Debido a esto, se solicitó al departamento de Agua Potable y Alcantarillado (DAPA) del GAD de Rumiñahui información con respecto a los consumos de agua potable en el periodo de un año (2022-2023) del barrio “La Colina”.

Una vez proporcionada la información acerca de los consumos, se determinó que en el barrio “La Colina” en el año 2022 se registraron 967 acometidas, mientras que en el año 2023 el número de acometidas aumento a 981. Por ello, se llevó a cabo un proceso de depuración de datos, donde se eliminaron los valores igual a cero y los datos menos representativos. Posteriormente, se obtuvo un promedio mensual de consumo por usuario correspondiente a un año; para determinar la población, fue necesario calcular el consumo diario de cada usuario en litros por día (L/día), por lo que se dividió el valor de consumo diario entre la dotación sugerida por las Bases de Diseño del Barrio “La Colina”, la cual es de 250 (L/hab./día).

Como resultado de lo descrito anteriormente, para el periodo de un año correspondiente al 2022 se obtuvo una población de 3411 habitantes y 3506 habitantes para el año 2023, con esta información se calculó un promedio que permitió estimar el número actual de habitantes en la zona del proyecto, en la tabla 18 se indica este cálculo.

Tabla 18.

Tabla del número de habitantes actuales del barrio “La Colina”.

Año	Habitantes
2022	3411
2023	3506
Habitantes actuales	3459

Nota. Tabla del número de habitantes calculados del año 2022 y 2023 para calcular el número de habitantes actuales, a partir de la información proporcionado por el DAPA-GADMUR Elaborado por: Los autores.

A partir de este resultado se obtiene la densidad poblacional mediante la siguiente ecuación.

$$Densidad\ poblacional = \frac{3459\ (Hab)}{47\ (Ha)} = 73.6 \approx 74 \frac{Hab}{Ha}$$

Ecuación 14

4.1.3. Dotación

Para la dotación se consideró el valor sugerido por las Bases de Diseño del Barrio “La Colina” es de 250 L/hab/día, esto se evidencia en el anexo correspondiente.

4.2 Análisis de caudales

4.2.1 Análisis aporte Sanitario

4.2.2.1 Caudal doméstico (L/s-Ha)

El caudal de las aguas residuales domesticas se calculó en base a la ecuación 2, que está en función de:

- **Dotación neta por habitante:** El valor adoptado es de 250 (L/hab/día), como se menciona en el apartado 4.1.3.
- **Densidad poblacional:** El valor calculado es de 74 (Hab/Ha), esto se indica en el apartado 4.1.2.
- **Coefficiente de retorno:** Según la (EMAAP-Q, 2009), el valor a utilizarse para el cálculo depende del nivel de complejidad del sistema, para este caso se tomó el nivel de complejidad medio alto y alto, debido al tiempo de operación; por ende, el coeficiente de retorno es de **0.8**.
- **Área:** Hace referencia al tamaño y al tipo de uso de suelo, representado en forma de porcentaje. Se lo obtuvo a través de la siguiente relación: el número de acometidas registradas en la categoría residencial, entre el número total de acometidas, finalmente obteniendo un valor del 97%.

4.2.2.2 Caudal comercial (L/s-Ha)

Para el cálculo del caudal comercial se consideran los siguientes parámetros:

- **Coefficiente de contribución:** Conforme a lo mencionado en la tabla de contribuciones comerciales de la norma (EMAAP-Q, 2009), se establece que, para zonas mixtas, es decir, residenciales y comerciales el valor optado debe ser **0.5 (l/s-Ha-com)**.
- **Área:** Al ser una zona mixta, se considerará el 97% para el aporte doméstico, así que solo el 3% del área total del proyecto será comercial.

4.2.2.3 Caudal medio diario (Qmd) (L/s)

El cálculo del caudal medio diario se efectuará a partir de las áreas de drenaje dadas para cada tramo y del caudal medio unitario, que se obtiene mediante la suma de los aportes domésticos y comerciales.

4.2.2.4 Caudal máximo horario (Q_{MH}) (L/s)

Para la determinación del caudal máximo horario se tomó en cuenta el caudal medio diario, el cual se especifica en el apartado 4.2.2.3, así mismo del coeficiente de mayoración “K”, el que según las Bases de Diseño de “La Colina” es **2.30**.

4.2.2.5 Caudal de infiltración (Q_{inf}) (L/s)

La contribución del aporte por infiltración se determinó en base al nivel de complejidad del sistema y el tipo de infiltración, citado en la tabla 7, para este caso se consideró una infiltración alta y un nivel de complejidad media alto y alto. Obteniendo así un coeficiente de contribución de **0.4 (l/s-ha)**.

4.2.2.6 Caudal de conexiones erradas (Q_{cerr}) (L/s)

Para la ejecución del proyecto se emplea un sistema de complejidad medio alto y alto con un aporte de **1.00 (L/s-Ha)**, debido a que existen malas conexiones.

4.2.2.7 Caudal Sanitario

Al obtener el caudal máximo horario (Q_{MH}), caudal de infiltración (Q_{inf}) y el caudal de conexiones erradas (Q_{cerr}) se aplica la ecuación 11 para determinar el caudal sanitario, estos valores se indican en la siguiente tabla.

Tabla 19.

Tabla resultados del Caudal Sanitario.

POZO		CAUDAL SANITARIO				
DE	A	Q. MÁX. HORARIO (Q_{MH} L/s)	Q. INFILTRACIÓN (Q_{inf} L/s)	Q. C. ERRADAS (Q_{cerr} L/s)	Q. SANITARIO (L/s)	Q. SANITARIO ACUM. (L/s)
CALLE GALÁPAGOS						
93	92	0,095	0,090	0,226	0,41	0,41
92	86	0,286	0,271	0,677	1,23	1,64
86	84	1,354	1,284	3,210	5,85	17,28
95	94	0,128	0,121	0,302	0,55	0,55
94	84	0,349	0,331	0,827	1,51	2,06
67	66	0,360	0,341	0,854	1,56	1,56
95	96	0,507	0,481	1,201	2,19	4,83
96	66	0,623	0,591	1,476	2,69	7,52

POZO		CAUDAL SANITARIO				
DE	A	(QMH L/s)	(Q inf L/s)	(Q cerr L/s)	Q. SANIT. (L/s)	Q. SANIT. ACUM. (L/s)
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE AZUAY						
87	86	0,189	0,180	0,449	0,82	0,82
91	90	0,287	0,272	0,680	1,24	1,24
90	89	0,480	0,456	1,139	2,08	3,31
89	88	0,559	0,530	1,325	2,41	5,73
88	86	0,750	0,712	1,779	3,24	8,97
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE LOS RIOS						
85	84	0,361	0,343	0,856	1,56	1,56
82	81	0,260	0,246	0,616	1,12	1,12
84	83	2,100	1,991	4,978	9,07	29,97
83	81	2,320	2,200	5,500	10,02	39,99
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE IMBABURA						
99	I	0,270	0,256	0,641	1,17	1,17
99	98	0,128	0,121	0,303	0,55	0,55
98	97	0,215	0,204	0,510	0,93	1,48
97	95	0,268	0,254	0,636	1,16	2,64
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE ATACAMES						
66	62	0,059	0,056	0,140	0,25	0,25
62	61	0,114	0,108	0,270	0,49	0,75
66	76	1,110	1,052	2,630	4,79	13,87
CALLE LOJA						
39	38	0,146	0,138	0,346	0,63	0,63
38	37	0,594	0,563	1,408	2,57	7,70
37	22	0,632	0,600	1,499	2,73	10,43
39	40	0,065	0,062	0,154	0,28	0,28
40	44	0,121	0,115	0,287	0,52	0,52
44	45	0,244	0,231	0,578	1,05	1,58
45	46	0,347	0,329	0,823	1,50	3,08
58	57	0,071	0,068	0,169	0,31	0,31
57	56	0,142	0,134	0,336	0,61	0,92
56	55	0,487	0,462	1,154	2,10	3,97
55	54	0,569	0,540	1,350	2,46	6,43
54	52	1,071	1,016	2,540	4,63	12,13
52	48	1,391	1,319	3,296	6,01	19,34
48	47	3,149	2,986	7,466	13,60	67,33
47	46	3,245	3,077	7,693	14,02	81,34
58	59	0,110	0,104	0,260	0,47	0,47
59	60	0,276	0,261	0,653	1,19	1,67
60	61	0,425	0,403	1,007	1,83	3,50
61	63	0,718	0,681	1,703	3,10	7,35
63	64	0,827	0,784	1,960	3,57	10,92
71	70	0,089	0,084	0,210	0,38	0,38
70	69	0,328	0,311	0,778	1,42	1,80
69	64	0,429	0,407	1,017	1,85	3,65
71	72	0,175	0,166	0,415	0,76	0,76
72	75	0,100	0,095	0,238	0,43	0,43
75	76	0,430	0,408	1,020	1,86	2,29
76	77	1,602	1,519	3,799	6,92	23,08
81	80	2,827	2,680	6,701	12,21	53,32
80	79	2,877	2,729	6,821	12,43	65,75
79	78	3,154	2,991	7,477	13,62	79,37
78	77	3,318	3,146	7,865	14,33	93,70

POZO		CAUDAL SANITARIO				
DE	A	(QMH L/s)	(Q inf L/s)	(Q cerr L/s)	Q. SANIT. (L/s)	Q. SANIT. ACUM. (L/s)
CALLE LOJA Y CALLE CARCHI						
53	52	0,279	0,264	0,660	1,20	1,20
CALLE LOJA Y CALLE CAÑAR						
C	54	0,249	0,236	0,591	1,08	1,08
CALLE LOJA Y CALLE ZAMORA						
Z	56	0,219	0,208	0,520	0,95	0,95
CALLE LOJA Y PASAJE EL CARMEN						
49	50	0,095	0,090	0,224	0,41	0,41
	50	51	0,189	0,180	0,449	0,82
	51	48	0,284	0,269	0,673	1,23
	64	65	1,298	1,231	3,076	5,60
	65	68	1,346	1,277	3,192	5,81
	68	48	1,375	1,304	3,261	5,94
	72	73	0,244	0,232	0,579	1,05
	73	74	0,289	0,274	0,685	1,25
	74	38	0,334	0,317	0,792	1,44
CALLE LOJA Y CALLE BOLIVAR						
	77	24	5,030	4,770	11,924	21,72
CALLE PASTAZA Y CALLE NAPO						
100	101	0,321	0,305	0,762	1,39	1,39
	101	102	0,474	0,450	1,124	2,05
	102	103	0,641	0,608	1,519	2,77
CALLE NAPO						
	46	103	3,709	3,517	8,793	16,02
	103	104	4,427	4,198	10,494	19,12
	104	105	4,513	4,279	10,698	19,49
CALLE GUAYAS Y CALLE MORONA						
109	108	0,341	0,323	0,808	1,47	1,47
CALLE GUAYAS Y AV. UNIDAD NACIONAL						
41	43	0,099	0,094	0,234	0,43	0,43
	43	111	0,204	0,193	0,483	0,88
	111	1	0,308	0,292	0,731	1,33
	40	42	0,208	0,197	0,493	0,90
	42	1	0,309	0,293	0,732	1,33
	1	2	0,687	0,651	1,628	2,97
CALLE GUAYAS Y CALLE EL ORO						
6	5	0,303	0,287	0,718	1,31	1,31
	5	4	0,574	0,545	1,362	2,48
	4	3	0,765	0,726	1,814	3,31
CALLE GUAYAS Y CALLE MANABI						
9	8	0,208	0,197	0,494	0,90	0,90
	8	7	0,485	0,460	1,149	2,09
9	10	0,264	0,250	0,625	1,14	1,14
	10	18	0,527	0,500	1,250	2,28
CALLE GUAYAS Y CALLE ESMERALDAS						
12	13	0,186	0,176	0,441	0,80	0,80
12	11	0,259	0,245	0,613	1,12	1,12
	11	17	0,517	0,490	1,226	2,23
CALLE GUAYAS Y CALLE SUCUA						
20	19	0,044	0,041	0,103	0,19	0,19
CALLE GUAYAS TRAMO A						
107	106	0,286	0,271	0,677	1,23	1,23

POZO		CAUDAL SANITARIO				
DE	A	(QMH L/s)	(Q inf L/s)	(Q cerr L/s)	Q. SANIT. (L/s)	Q. SANIT. ACUM. (L/s)
CALLE GUAYAS TRAMO A						
106	105	0,509	0,483	1,206	2,20	3,43
105	108	5,198	4,929	12,323	22,45	171,14
108	110	5,693	5,398	13,495	24,59	197,19
110	2	5,788	5,489	13,722	25,00	222,19
2	3	6,633	6,290	15,725	28,65	258,95
3	7	7,575	7,183	17,959	32,72	298,77
7	13	8,236	7,810	19,524	35,57	337,33
13	14	8,720	8,269	20,672	37,66	375,79
CALLE GUAYAS TRAMO B						
33	34	0,215	0,204	0,509	0,93	0,93
34	35	0,531	0,503	1,258	2,29	3,22
35	36	0,773	0,733	1,833	3,34	6,56
36	26	1,057	1,002	2,505	4,56	11,12
26	25	1,186	1,124	2,811	5,12	16,25
25	24	1,503	1,425	3,563	6,49	22,74
24	23	6,893	6,536	16,340	29,77	191,00
23	22	7,123	6,754	16,886	30,76	221,76
22	21	7,879	7,472	18,679	34,03	266,22
21	19	7,913	7,503	18,758	34,17	300,40
19	18	7,999	7,585	18,962	34,54	335,13
18	17	8,729	8,277	20,693	37,70	376,25
17	16	9,473	8,983	22,458	40,91	420,51
16	15	9,665	9,165	22,913	41,74	462,25
15	14	9,828	9,319	23,298	42,45	504,70
14	DESCARGA	18,626	17,662	44,156	80,44	960,93
CALLE GUAYAS TRAMO C						
27	28	0,181	0,171	0,429	0,78	0,78
28	29	0,406	0,385	0,963	1,76	2,54
29	30	0,740	0,702	1,755	3,20	5,73
33	32	0,274	0,260	0,650	1,18	1,18
32	31	0,518	0,491	1,228	2,24	3,42
31	30	0,592	0,561	1,402	2,55	5,98
30	DESCARGA	1,332	1,263	3,157	5,75	17,46

Nota. Tabla del caudal sanitario donde se evidencia los resultados obtenidos a partir del caudal máximo horario,

caudal de infiltración, caudal de conexiones erradas. Elaborado por: Los autores.

4.2.2 Análisis aporte Pluvial

4.2.2.1 Método Racional (Estudio Hidrológico)

Al ser un proyecto de 47 hectáreas se aplicará el método racional, ya que se acoge a lo estipulado en el capítulo 5 de la normativa (EMAAP-Q, 2009), donde considera la aplicación de este método en cuencas menores a 200 hectáreas. Este modelo de cálculo establece que el caudal superficial producido por una precipitación es:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

Ecuación 15

4.2.2.1.1 Coeficiente de escorrentía ®.

El coeficiente de escorrentía está en función de las características del suelo, cobertura, condiciones de uso, etc.; dicho esto se tomó en cuenta los siguientes valores obtenidos de la tabla 11. En este caso es necesario obtener un coeficiente ponderado ya que existen distintas áreas que van a aportar al sistema pluvial, las cuales son el área de aporte de zonas verdes, el área correspondiente a la vía donde se considera tanto calles principales, transversales y pasajes, y el área de aporte de viviendas, estas áreas se representan de forma distribuida en el plano anexo.

$$C_{ponderado} = \frac{\sum(Ci \cdot Ai)}{\sum Ai}$$

Ecuación 16

Tabla 20.

Coeficiente de escorrentía ponderado.

DESCRIPCION	Ha	C	A*C
Áreas verdes	1.814	0.50	0.907
Área vías	6.994	0.86	6.015
	3.282	0.88	2.888
Área viviendas	35.217	0.88	30.991
TOTAL	47		40.801
C PONDERADO			0.86

Nota. Tabla del coeficiente de escorrentía ponderado a partir de las áreas verdes, área de vías y área de viviendas del barrio “La Colina”. Elaborado por: Los autores.

Se determinó el coeficiente ponderado de toda el área del proyecto igual a **0.86**, lo cual se ratifica en las Bases de Diseño del barrio “La Colina” que el coeficiente de escorrentía mínimo a optar es 0.5.

4.2.2.1.2 Intensidad de lluvia

Para obtener la intensidad de lluvia se toma en cuenta la ubicación del proyecto, en este caso el cantón Rumiñahui posee su propia ecuación de intensidad, la cual se encuentra en las Bases de Diseño del barrio “La Colina” brindada por el DAPA del GAD de Rumiñahui, la siguiente ecuación también depende del tiempo de retorno y tiempo de concentración.

- Tiempo de concentración inicial (tc): 12 minutos
- Tiempo de retorno (Tr): 25 años, se considera este valor según el tipo de obra y el tipo de ocupación del área de influencia de la obra, según la Tabla 8 se deduce que, el tipo de obra es micro drenaje y el tipo de ocupación del área de influencia es comercial y residencial, por ello dicho valor.

$$I = \frac{212 \cdot T^{0.123}}{t^{0.47}} = \frac{212 \cdot 25^{0.123}}{12^{0.47}} = 97.964 \text{ mm/h}$$

Ecuación 17

4.2.2.2 Caudal Pluvial

Una vez obtenidos los parámetros descritos anteriormente se procederá con el cálculo del caudal pluvial. Los valores obtenidos se describen en la siguiente tabla:

Tabla 21.

Tabla de resultados del Caudal Pluvial.

POZO		ÁREA DRENAJE			Q PLUVIAL		
DE	A	PARCIAL (m²)	PARCIAL (Ha.)	TOTAL (Ha.)	COEF. ESCORRENTIA	INTENSIDAD DE LLUVIA (mm/h)	Q PLUVIAL (L/s)
CALLE GALÁPAGOS							
93	92	2256.51	0.23	0.23	0.86	97.96	52.81
	92	4516.07	0.45	0.68	0.86	97.96	158.50
	86	3043.26	0.30	3.21	0.86	97.96	751.12
95	94	3023.50	0.30	0.30	0.86	97.96	70.76
	94	5246.03	0.52	0.83	0.86	97.96	193.53
67	66	8536.75	0.85	0.85	0.86	97.96	199.78
	95	5656.32	0.57	1.20	0.86	97.96	281.18
	96	2748.69	0.27	1.48	0.86	97.96	345.51

DE	A	PARCIAL (m²)	PARCIAL (Ha.)	TOTAL (Ha.)	COEF. ESCORRENTIA	INTENSIDAD DE LLUVIA (mm/h)	Q PLUVIAL (L/s)
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE AZUAY							
87	86	4489.53	0.45	0.45	0.86	97.96	105.07
91	90	6798.80	0.68	0.68	0.86	97.96	159.11
90	89	4591.52	0.46	1.14	0.86	97.96	266.56
89	88	1863.74	0.19	1.33	0.86	97.96	310.18
88	86	4536.30	0.45	1.78	0.86	97.96	416.34
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE LOS RIOS							
85	84	8564.71	0.86	0.86	0.86	97.96	200.44
82	81	6158.80	0.62	0.62	0.86	97.96	144.13
84	83	854.30	0.09	4.98	0.86	97.96	1165.08
83	81	5219.53	0.52	5.50	0.86	97.96	1287.23
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE IMBABURA							
99	I	6410.23	0.64	0.64	0.86	97.96	150.02
99	98	3026.25	0.30	0.30	0.86	97.96	70.82
98	97	2074.37	0.21	0.51	0.86	97.96	119.37
97	95	1258.02	0.13	0.64	0.86	97.96	148.81
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE ATACAMES							
66	62	1397.99	0.14	0.14	0.86	97.96	32.72
62	61	1304.62	0.13	0.27	0.86	97.96	63.25
66	76	3004.43	0.30	2.63	0.86	97.96	615.60
CALLE LOJA							
39	38	3456.16	0.35	0.35	0.86	97.96	80.88
38	37	2706.40	0.27	1.41	0.86	97.96	329.53
37	22	912.07	0.09	1.50	0.86	97.96	350.87
39	40	1538.63	0.15	0.15	0.86	97.96	36.01
40	44	2872.41	0.29	0.29	0.86	97.96	67.22
44	45	2908.87	0.29	0.58	0.86	97.96	135.30
45	46	2448.61	0.24	0.82	0.86	97.96	192.60
58	57	1690.99	0.17	0.17	0.86	97.96	39.57
57	56	1665.95	0.17	0.34	0.86	97.96	78.56
56	55	2986.54	0.30	1.15	0.86	97.96	270.09
55	54	1956.72	0.20	1.35	0.86	97.96	315.89
54	52	5990.91	0.60	2.54	0.86	97.96	594.37
52	48	963.22	0.10	3.30	0.86	97.96	771.46
48	47	2359.71	0.24	7.47	0.86	97.96	1747.27
47	46	2270.49	0.23	7.69	0.86	97.96	1800.41
58	59	2604.85	0.26	0.26	0.86	97.96	60.96
59	60	3929.82	0.39	0.65	0.86	97.96	152.93
60	61	3535.96	0.35	1.01	0.86	97.96	235.68
61	63	4256.78	0.43	1.70	0.86	97.96	398.55
63	64	2566.39	0.26	1.96	0.86	97.96	458.61
71	70	2101.00	0.21	0.21	0.86	97.96	49.17
70	69	5683.09	0.57	0.78	0.86	97.96	182.17
69	64	2390.41	0.24	1.02	0.86	97.96	238.11
71	72	4153.07	0.42	0.42	0.86	97.96	97.19
72	75	2376.61	0.24	0.24	0.86	97.96	55.62
75	76	7819.17	0.78	1.02	0.86	97.96	238.61
76	77	4491.23	0.45	3.80	0.86	97.96	889.00
81	80	5848.15	0.58	6.70	0.86	97.96	1568.22
80	79	1203.13	0.12	6.82	0.86	97.96	1596.38
79	78	6556.06	0.66	7.48	0.86	97.96	1749.81
78	77	3878.73	0.39	7.86	0.86	97.96	1840.58

DE	A	PARCIAL (m²)	PARCIAL (Ha.)	TOTAL (Ha.)	COEF. ESCORRENTIA	INTENSIDAD DE LLUVIA (mm/h)	Q PLUVIAL (L/s)
CALLE LOJA Y CALLE CARCHI							
53	52	6603.82	0.66	0.66	0.86	97.96	154.55
CALLE LOJA Y CALLE CAÑAR							
C	54	5908.74	0.59	0.59	0.86	97.96	138.28
CALLE LOJA Y CALLE ZAMORA							
Z	56	5197.73	0.52	0.52	0.86	97.96	121.64
CALLE LOJA Y PASAJE EL CARMEN							
49	50	2243.84	0.22	0.22	0.86	97.96	52.51
50	51	2243.84	0.22	0.45	0.86	97.96	52.51
51	48	2243.84	0.22	0.67	0.86	97.96	52.51
64	65	991.79	0.10	3.08	0.86	97.96	719.93
65	68	1155.24	0.12	3.19	0.86	97.96	746.96
68	48	687.82	0.07	3.26	0.86	97.96	763.06
72	73	1636.66	0.16	0.58	0.86	97.96	135.49
73	74	1064.33	0.11	0.69	0.86	97.96	160.40
74	38	1064.33	0.11	0.79	0.86	97.96	24.91
CALLE LOJA Y CALLE BOLIVAR							
77	24	2607.46	0.26	11.92	0.86	97.96	2790.60
CALLE PASTAZA Y CALLE NAPO							
100	101	7619.29	0.76	0.76	0.86	97.96	178.31
101	102	3624.00	0.36	1.12	0.86	97.96	263.12
102	103	3950.31	0.40	1.52	0.86	97.96	355.57
CALLE NAPO							
46	103	2771.32	0.28	8.79	0.86	97.96	2057.86
103	104	1815.49	0.18	10.49	0.86	97.96	2455.92
104	105	2036.07	0.20	10.70	0.86	97.96	2503.57
CALLE GUAYAS Y CALLE MORONA							
109	108	8079.005	0.808	0.808	0.860	97.964	189.069
CALLE GUAYAS Y AV. UNIDAD NACIONAL							
41	43	2342.08	0.23	0.23	0.86	97.96	54.81
43	111	2483.82	0.25	0.48	0.86	97.96	112.94
111	1	2483.82	0.25	0.73	0.86	97.96	58.13
40	42	3388.82	0.34	0.49	0.86	97.96	115.31
42	1	2389.62	0.24	0.73	0.86	97.96	171.24
1	2	1649.19	0.16	1.63	0.86	97.96	380.90
CALLE GUAYAS Y CALLE EL ORO							
6	5	7184.82	0.72	0.72	0.86	97.96	168.14
5	4	6434.26	0.64	1.36	0.86	97.96	318.72
4	3	4525.78	0.45	1.81	0.86	97.96	424.64
CALLE GUAYAS Y CALLE MANABI							
9	8	4935.74	0.49	0.49	0.86	97.96	115.51
8	7	6554.09	0.66	1.15	0.86	97.96	268.89
9	10	6248.94	0.62	0.62	0.86	97.96	146.24
10	18	6248.94	0.62	1.25	0.86	97.96	146.24
CALLE GUAYAS Y CALLE ESMERALDAS							
12	13	4406.83	0.44	0.44	0.86	97.96	103.13
12	11	6128.43	0.61	0.61	0.86	97.96	143.42
11	17	6128.43	0.61	1.23	0.86	97.96	143.42
CALLE GUAYAS Y CALLE SUCUA							
20	19	1034.69	0.10	0.10	0.86	97.96	24.21

DE	A	PARCIAL (m ²)	PARCIAL (Ha.)	TOTAL (Ha.)	COEF. ESCORRENTIA	INTENSIDAD DE LLUVIA (mm/h)	Q PLUVIAL (L/s)
CALLE GUAYAS TRAMO A							
107	106	6771.01	0.68	0.68	0.86	97.96	158.46
106	105	5292.74	0.53	1.21	0.86	97.96	282.32
105	108	4192.66	0.42	12.32	0.86	97.96	2884.01
108	110	3638.28	0.36	13.50	0.86	97.96	3158.22
110	2	2264.66	0.23	13.72	0.86	97.96	3211.22
2	3	3756.89	0.38	15.72	0.86	97.96	3680.04
3	7	4191.16	0.42	17.96	0.86	97.96	4202.76
7	13	4162.47	0.42	19.52	0.86	97.96	4569.07
13	14	7072.74	0.71	20.67	0.86	97.96	4837.72
CALLE GUAYAS TRAMO B							
33	34	5094.37	0.51	0.51	0.86	97.96	119.22
34	35	7488.44	0.75	1.26	0.86	97.96	294.47
35	36	5750.78	0.58	1.83	0.86	97.96	429.05
36	26	6714.83	0.67	2.50	0.86	97.96	586.20
26	25	3062.45	0.31	2.81	0.86	97.96	657.87
25	24	7522.35	0.75	3.56	0.86	97.96	833.91
24	23	8520.92	0.85	16.34	0.86	97.96	3823.92
23	22	5461.44	0.55	16.89	0.86	97.96	3951.73
CALLE GUAYAS TRAMO B							
22	21	2939.44	0.29	18.68	0.86	97.96	4371.40
21	19	792.77	0.08	18.76	0.86	97.96	4389.95
19	18	2032.62	0.20	18.96	0.86	97.96	4437.52
18	17	4816.74	0.48	20.69	0.86	97.96	4842.73
17	16	5388.36	0.54	22.46	0.86	97.96	5255.67
16	15	4550.70	0.46	22.91	0.86	97.96	5362.17
15	14	3853.82	0.39	23.30	0.86	97.96	5452.36
14	DESCARGA	1859.96	0.19	44.16	0.86	97.96	10333.60
CALLE GUAYAS TRAMO C							
27	28	4285.49	0.43	0.43	0.86	97.96	100.29
28	29	5348.24	0.53	0.96	0.86	97.96	225.45
29	30	7911.73	0.79	1.75	0.86	97.96	410.61
33	32	6500.59	0.65	0.65	0.86	97.96	152.13
32	31	5779.35	0.58	1.23	0.86	97.96	287.38
31	30	1743.52	0.17	1.40	0.86	97.96	328.18
30	DESCARGA	0.00	0.00	3.16	0.86	97.96	738.79

Nota. Tabla del caudal pluvial donde se evidencia los resultados obtenidos a partir del coeficiente de escorrentía,

área de drenaje e intensidad de lluvia. Elaborado por: Los autores.

4.2.3. Caudal Combinado

Al ser un sistema de alcantarillado construido en el año 1981 es del tipo combinado, lo que quiere decir que va a tener tanto aporte sanitario como aporte pluvial; este sistema cuenta con dos descargas principales hacia el Río Pita, las mismas que se encuentran ubicadas en el tramo B de la calle Guayas, con un caudal combinado de 11294.54 L/s, y en el tramo C de la

misma calle, con un caudal combinado de 756.25 L/s. Estos valores se reflejan en la siguiente tabla:

Tabla 22.

Tabla de resultados del Caudal Combinado.

POZO		CAUDAL COMBINADO		
DE	A	Q. SANITARIO ACUM. (L/s)	Q. PLUVIAL (L/s)	Q. COMB. (L/s)
CALLE GALÁPAGOS				
93	92	0.41	52.81	53.22
92	86	1.64	158.50	160.14
86	84	17.28	751.12	768.40
95	94	0.55	70.76	71.31
94	84	2.06	193.53	195.59
67	66	1.56	199.78	201.34
95	96	4.83	281.18	286.01
96	66	7.52	345.51	353.02
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE AZUAY				
87	86	0.82	105.07	105.88
91	90	1.24	159.11	160.35
90	89	3.31	266.56	269.88
89	88	5.73	310.18	315.91
88	86	8.97	416.34	425.31
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE LOS RIOS				
85	84	1.56	200.44	202.00
82	81	1.12	144.13	145.25
84	83	29.97	1165.08	1195.05
83	81	39.99	1287.23	1327.22
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE IMBABURA				
99	I	1.17	150.02	151.18
99	98	0.55	70.82	71.37
98	97	1.48	119.37	120.85
97	95	2.64	148.81	151.45
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE ATACAMES				
66	62	0.25	32.72	32.97
62	61	0.75	63.25	63.99
66	76	13.87	615.60	629.47
CALLE LOJA				
39	38	0.63	80.88	81.51
38	37	7.70	329.53	337.23
37	22	10.43	350.87	361.30
39	40	0.28	36.01	36.29
40	44	0.52	67.22	67.74
44	45	1.58	135.30	136.87
45	46	3.08	192.60	195.68
58	57	0.31	39.57	39.88
57	56	0.92	78.56	79.48
56	55	3.97	270.09	274.06
55	54	6.43	315.89	322.31

POZO		CAUDAL COMBINADO		
DE	A	Q. SANITARIO ACUM. (L/s)	Q. PLUVIAL (L/s)	Q. COMB. (L/s)
CALLE LOJA				
54	52	12.13	594.37	606.50
52	48	19.34	771.46	790.80
48	47	67.33	1747.27	1814.60
47	46	81.34	1800.41	1881.75
58	59	0.47	60.96	61.43
59	60	1.67	152.93	154.59
60	61	3.50	235.68	239.18
61	63	7.35	398.55	405.90
63	64	10.92	458.61	469.53
71	70	0.38	49.17	49.55
70	69	1.80	182.17	183.97
69	64	3.65	238.11	241.76
71	72	0.76	97.19	97.95
72	75	0.43	55.62	56.05
75	76	2.29	238.61	240.90
76	77	23.08	889.00	912.08
81	80	53.32	1568.22	1621.54
80	79	65.75	1596.38	1662.12
79	78	79.37	1749.81	1829.18
78	77	93.70	1840.58	1934.28
CALLE LOJA Y CALLE CARCHI				
53	52	1.20	154.55	155.75
CALLE LOJA Y CALLE CAÑAR				
C	54	1.08	138.28	139.36
CALLE LOJA Y CALLE ZAMORA				
Z	56	0.95	121.64	122.59
CALLE LOJA Y PASAJE EL CARMEN				
49	50	0.41	52.51	52.92
50	51	1.23	52.51	53.74
51	48	2.45	52.51	54.96
64	65	20.18	719.93	740.10
65	68	25.99	746.96	772.95
68	48	31.93	763.06	794.99
72	73	1.81	135.49	137.31
73	74	3.06	160.40	163.46
74	38	4.50	24.91	29.41
CALLE LOJA Y CALLE BOLIVAR				
77	24	138.50	2790.60	2929.10
CALLE PASTAZA Y CALLE NAPO				
100	101	1.39	178.31	179.70
101	102	3.44	263.12	266.56
102	103	6.20	355.57	361.77
CALLE NAPO				
46	103	100.44	2057.86	2158.30
103	104	125.76	2455.92	2581.68
104	105	145.25	2503.57	2648.82
CALLE GUAYAS Y CALLE MORONA				
109	108	1.47	189.069	190.54
CALLE GUAYAS Y CALLE SUCUA				
20	19	0.19	24.21	24.40

POZO		CAUDAL COMBINADO		
DE	A	Q. SANITARIO ACUM. (L/s)	Q. PLUVIAL (L/s)	Q. COMB. (L/s)
CALLE GUAYAS Y AV. UNIDAD NACIONAL				
41	43	0.43	54.81	55.24
43	111	1.31	112.94	114.24
111	1	2.64	58.13	60.77
40	42	1.18	115.31	116.49
42	1	2.51	171.24	173.75
1	2	8.11	380.90	389.01
CALLE GUAYAS Y CALLE EL ORO				
6	5	1.31	168.14	169.45
5	4	3.79	318.72	322.51
4	3	7.10	424.64	431.73
CALLE GUAYAS Y CALLE MANABI				
9	8	0.90	115.51	116.41
8	7	2.99	268.89	271.88
9	10	1.14	146.24	147.38
10	18	3.42	146.24	149.66
CALLE GUAYAS Y CALLE ESMERALDAS				
12	13	0.80	103.13	103.93
12	11	1.12	143.42	144.54
11	17	3.35	143.42	146.77
CALLE GUAYAS TRAMO A				
107	106	1.23	158.46	159.69
106	105	3.43	282.32	285.75
105	108	171.14	2884.01	3055.15
108	110	197.19	3158.22	3355.42
110	2	222.19	3211.22	3433.42
2	3	258.95	3680.04	3939.00
3	7	298.77	4202.76	4501.53
7	13	337.33	4569.07	4906.40
13	14	375.79	4837.72	5213.51
CALLE GUAYAS TRAMO B				
33	34	0.93	119.22	120.15
34	35	3.22	294.47	297.69
35	36	6.56	429.05	435.61
36	26	11.12	586.20	597.32
26	25	16.25	657.87	674.11
25	24	22.74	833.91	856.65
24	23	191.00	3823.92	4014.92
23	22	221.76	3951.73	4173.50
22	21	266.22	4371.40	4637.62
21	19	300.40	4389.95	4690.35
19	18	335.13	4437.52	4772.65
18	17	376.25	4842.73	5218.97
17	16	420.51	5255.67	5676.18
16	15	462.25	5362.17	5824.42
15	14	504.70	5452.36	5957.06
14	DESCARGA	960.93	10333.60	11294.54
CALLE GUAYAS TRAMO C				
27	28	0.78	100.29	101.07
28	29	2.54	225.45	227.99
29	30	5.73	410.61	416.34

POZO		CAUDAL COMBINADO		
DE	A	Q. SANITARIO ACUM. (L/s)	Q. PLUVIAL (L/s)	Q. COMB. (L/s)
33	32	1.18	152.13	153.31
32	31	3.42	287.38	290.80
31	30	5.98	328.18	334.16
30	DESCARGA	17.46	738.79	756.25

Nota. Tabla del Caudal Pluvial donde se evidencia los resultados obtenidos a partir del cálculo del caudal sanitario y el caudal pluvial. Elaborado por: Los autores.

4.3 Hidráulica de las redes de recolección

4.3.1 Flujo en condiciones llenas

Se establecen determinados parámetros para el análisis del flujo en conductos circulares en condiciones completamente llenas, las cuales son:

- Área mojada (A_o)

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

Ecuación 18

- Perímetro mojado (P_o)

$$P_o = \pi \cdot D$$

Ecuación 19

- Radio hidráulico (R_o)

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

Ecuación 20

- Velocidad (V_o) y Caudal (Q_o)

Para el cálculo de velocidad y caudal se emplea la ecuación de Manning la cual considera la rugosidad del material utilizado, en este aspecto al disponer de tuberías de concreto se adoptó un coeficiente de rugosidad de Manning de 0.014 y para PVC, se tomó como coeficiente 0.011.

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

Ecuación 21

A partir de la ecuación de Manning, se obtuvo el caudal en condiciones llenas (Q_o).

$$Q_o = 0.312 \cdot \left(\frac{D^{\frac{8}{3}} \cdot J^{\frac{1}{2}}}{n} \right)$$

Ecuación 22

A partir de la ecuación de Manning, se obtuvo el caudal en condiciones llenas (Q_o).

Donde:

V_o= Velocidad del flujo en sección llena (m/s).

Q_o= Caudal del flujo en sección llena (m/s).

R= Radio hidráulico (m).

n= Coeficiente de rugosidad de Manning.

D= Diámetro de la tubería (m).

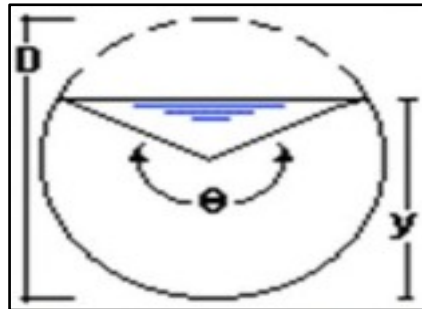
J= Pendiente (m/m).

4.3.2 Flujo en condiciones parcialmente llenas

Un conducto circular trabaja en condiciones parcialmente llenas cuando transporta un caudal inferior al que es capaz de conducir en condiciones forzadas, por ello se requiere calcular la profundidad de la lámina de agua y la velocidad real de la misma. En la siguiente figura se evidencia cómo funciona una tubería parcialmente llena, con superficie de agua libre y en contacto con el aire.

Figura 21.

Esquema gráfico de una tubería en condiciones parcialmente llena.



Nota. Esquema representativo del funcionamiento de una tubería en condiciones parcialmente llenas. Elaborado por: Los autores.

Se deben establecer relaciones hidráulicas, las cuales se observan en el respectivo anexo, las mismas que se establecen a partir de las siguientes ecuaciones.

- Ángulo central (θ)

$$\theta = 2 \cdot \arccos \cdot \left(1 - \frac{2y}{D}\right)$$

Ecuación 23

- Área hidráulica (A)

$$A = \frac{D^2}{8} \cdot (\theta - \text{sen}\theta)$$

Ecuación 24

- Radio hidráulico R

$$R = \frac{A}{P} = \frac{D}{4\theta} \cdot (\theta - \text{sen}\theta)$$

Ecuación 25

- Relación de profundidad

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

Ecuación 26

- Relación de velocidades

$$\frac{V}{V_o} = \left(\frac{\theta - \text{sen}\theta}{\theta} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Ecuación 27

- Relación de caudales

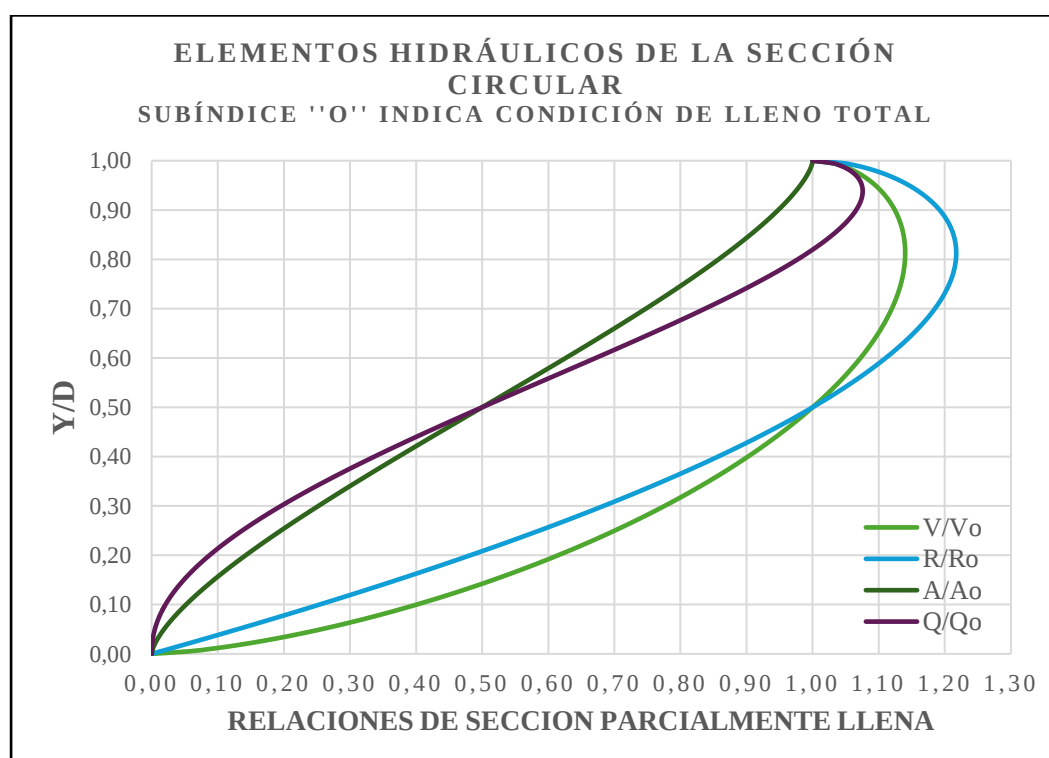
$$\frac{Q}{Q_o} = \frac{1}{2\pi} \cdot (\theta - \text{sen}\theta) \cdot \left(\frac{\theta - \text{sen}\theta}{\theta} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Ecuación 28

Las relaciones varían en función de la altura del calado y el ángulo formado, al obtener las relaciones, se podrá graficar el esquema llamado “Curva de Banano”, como se muestra a continuación.

Figura 22.

Elementos hidráulicos de una sección circular.



Nota. La figura presenta a la “curva de banana” donde se representa los elementos hidráulicos de una sección circular en función de las relaciones hidráulicas de sección parcialmente llena. Elaborado por: Los autores.

4.3.3 Relaciones hidráulicas en conductos circulares

Con el fin de determinar V/V_o , y/D , R/R_o y H/D , se relaciona el caudal en condiciones normales con el de sección llena Q/Q_o , asimismo la relación del tirante entre el diámetro de la tubería (y/D) no deberá exceder el 80% de su capacidad, ya que esto puede generar problemas hidráulicos en el sistema; en los siguientes puntos se detalla con más precisión dichas relaciones.

4.3.3.1 Relación Q/Q_o

En la siguiente tabla se presentan los tramos de tubería que no cumplen con el criterio de $Q/Q_o \leq 0.8$

Tabla 23.

Tabla de la relación hidráulica Q/Q_o .

POZO		RELACIÓN
DE	A	$Q/Q_o < 0.8$
C. GALÁPAGOS		
86	84	4.04
94	84	1.92
67	66	0.91
95	96	1.90
96	66	1.74
C. GALÁPAGOS Y C. AZUAY		
90	89	1.70
89	88	2.18
88	86	2.99
C. GALÁPAGOS Y C. LOS RIOS		
85	84	1.18
84	83	2.30
83	81	1.77
C. GALÁPAGOS Y C. IMBABURA		
98	97	1.04
97	95	1.36
C. GALÁPAGOS Y C. ATACAMES		
66	76	2.73
C. LOJA		
38	37	1.50
40	44	5.33
45	46	0.82
56	55	1.25
55	54	1.55
48	47	2.88
58	59	0.99
C. LOJA Y C. CARCHI		
53	52	1.62
C. LOJA Y C. CAÑAR		
C	54	1.16
C. LOJA Y C. ZAMORA		
Z	56	0.85
C. LOJA Y PSJ EL CARMEN		
49	50	0.81
65	68	5.49
68	48	4.90
C. LOJA Y C. BOLIVAR		
77	24	1.85
C. PASTAZA Y C. NAPO		
100	101	1.31
101	102	2.41
102	103	2.65
C. NAPO		
46	103	1.07
103	104	1.36
104	105	1.16
C. GUAYAS Y C. MORONA		
109	108	1.58
C. GUAYAS Y AV. UD NACIONAL		
1	2	2.10
C. GUAYAS Y C. MANABI		
9	8	0.81
8	7	0.83

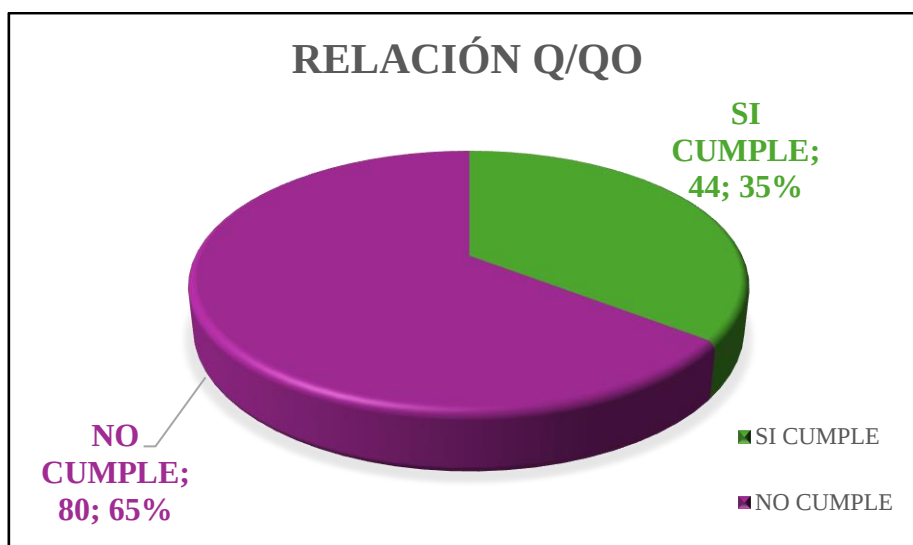
POZO			RELACIÓN		
DE	A	Q/Qo<0.8	DE	A	Q/Qo<0.8
C. LOJA			C. GUAYAS Y C. EL ORO		
59	60	1.24	6	5	1.22
60	61	1.16	5	4	1.62
61	63	2.52	4	3	2.10
63	64	3.49	C. GUAYAS TRAMO A		
70	69	0.91	105	108	1.45
69	64	0.86	108	110	1.43
75	76	0.81	110	2	2.64
76	77	2.53	2	3	1.62
81	80	1.56	3	7	2.07
80	79	2.84	7	13	2.30
79	78	3.06	13	14	1.52
78	77	3.04	C. GUAYAS TRAMO C		
C. GUAYAS TRAMO B			27	28	1.02
34	35	1.28	28	29	2.25
35	36	1.47	29	30	3.91
36	26	2.69	33	32	2.51
24	23	1.77	32	31	1.09
23	22	1.25	31	30	2.63
22	21	2.39	30	DESCARGA	5.66
21	19	0.87			
19	18	1.10			
18	17	2.17			
17	16	1.87			
16	15	2.58			
15	14	3.01			
14	DESCARGA	2.39			

Nota. Tabla de la relación hidráulica Q/Qo, de los tramos donde no cumplen con el criterio de 0.8 de capacidad hidráulica. Elaborado por: Los autores.

Una vez analizadas las relaciones de Q/Qo del sistema de alcantarillado combinado, se estableció que 44 tuberías correspondientes al 35% están trabajando en condiciones adecuadas, por el contrario 80 tuberías superan lo establecido representando el 65%.

Figura 23.

Relación hidráulica Q/Q_0 .



Nota. En la figura se representa en porcentaje los tramos de tubería que cumplen y no cumplen con el criterio del 80 % de capacidad hidráulica. Elaborado por: Los autores.

4.3.3.2 Relación: V/V_0 , y/D , R/R_0 , H/D

Un sistema de alcantarillado trabaja principalmente a sección parcial por lo que se sugiere obtener las relaciones hidráulicas necesarias para el estudio del comportamiento hidráulico, para el cálculo se requiere utilizar las propiedades hidráulicas de la sección circular, que relaciona las características de flujo a sección llena y parcialmente llena. Se establecen estas relaciones en función del caudal en condiciones llenas y parcialmente llenas.

Tabla 24.

Tabla de las relaciones hidráulicas V/V_0 , d/D , R/R_0 , H/D

POZO		RELACIONES HIDRÁULICAS					
DE	A	Q ₀ (L/s)	V ₀ (m/s)	V/V ₀	y/D	R/R ₀	H/D
CALLE GALAPAGOS							
93	92	265.73	3.76	0.78	0.30	0.68	0.25
92	86	279.65	3.96	1.03	0.54	1.05	0.55
86	84	190.25	2.69	1.00	1.00	1.00	1.00
95	94	207.32	2.93	0.90	0.40	0.86	0.37
94	84	101.69	1.44	1.00	1.00	1.00	1.00
67	66	221.09	3.13	1.13	0.75	1.21	0.80
95	96	150.67	2.13	1.00	1.00	1.00	1.00
96	66	202.99	2.87	1.00	1.00	1.00	1.00

DE	A	Qo (L/s)	Vo (m/s)	V/Vo	y/D	R/Ro	H/D
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE AZUAY							
87	86	228.10	3.23	0.98	0.48	0.97	0.47
91	90	215.53	3.05	1.09	0.64	1.14	0.68
90	89	158.77	2.25	1.00	1.00	1.00	1.00
89	88	145.21	2.05	1.00	1.00	1.00	1.00
88	86	142.12	2.01	1.00	1.00	1.00	1.00
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE LOS RIOS							
85	84	171.02	2.42	1.00	1.00	1.00	1.00
82	81	285.08	4.03	1.00	0.51	1.01	0.51
84	83	520.58	2.65	1.00	1.00	1.00	1.00
83	81	747.84	3.81	1.00	1.00	1.00	1.00
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE IMBABURA							
99	I	270.70	3.83	1.02	0.53	1.04	0.54
99	98	116.85	1.65	1.05	0.56	1.07	0.58
98	97	116.16	1.64	1.14	0.86	1.21	0.91
97	95	111.54	1.58	1.00	1.00	1.00	1.00
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE ATACAMES							
66	62	254.23	3.60	0.68	0.24	0.57	0.18
62	61	300.14	4.25	0.79	0.31	0.70	0.26
66	76	230.74	3.26	1.00	1.00	1.00	1.00
CALLE LOJA							
39	38	109.35	1.55	1.09	0.64	1.14	0.68
38	37	224.35	3.17	1.00	1.00	1.00	1.00
37	22	730.61	10.34	1.00	0.50	0.99	0.49
39	40	47.56	0.67	1.10	0.65	1.15	0.69
40	44	12.71	0.18	1.00	1.00	1.00	1.00
44	45	255.34	3.61	1.02	0.52	1.02	0.53
45	46	238.87	3.38	1.11	0.69	1.18	0.73
58	57	254.87	3.61	0.72	0.27	0.62	0.21
57	56	319.56	4.52	0.82	0.34	0.75	0.29
56	55	237.13	3.35	1.00	1.00	1.00	1.00
55	54	233.35	3.30	1.00	1.00	1.00	1.00
54	52	1682.53	2.14	0.92	0.42	0.88	0.39
52	48	1337.14	1.70	1.04	0.55	1.06	0.56
48	47	630.34	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00
47	46	2897.14	3.69	1.06	0.59	1.10	0.61
58	59	62.27	0.88	1.14	0.81	1.22	0.86
59	60	111.54	1.58	1.00	1.00	1.00	1.00
60	61	205.75	2.91	1.00	1.00	1.00	1.00
61	63	161.04	2.28	1.00	1.00	1.00	1.00
63	64	134.53	1.90	1.00	1.00	1.00	1.00
71	70	141.55	2.00	0.91	0.41	0.86	0.38
70	69	202.59	2.87	1.13	0.75	1.21	0.80
69	64	279.51	3.95	1.12	0.72	1.19	0.77
71	72	171.02	2.42	1.03	0.54	1.05	0.55
72	75	273.76	2.18	0.78	0.31	0.69	0.26
75	76	298.64	2.38	1.11	0.68	1.17	0.72
76	77	361.11	2.87	1.00	1.00	1.00	1.00
81	80	1041.48	3.68	1.00	1.00	1.00	1.00
80	79	584.82	2.07	1.00	1.00	1.00	1.00
79	78	598.59	2.12	1.00	1.00	1.00	1.00
78	77	635.54	2.25	1.00	1.00	1.00	1.00

DE	A	Qo (L/s)	Vo (m/s)	V/Vo	y/D	R/Ro	H/D
CALLE LOJA Y CALLE CARCHI							
53	52	96.39	1.36	1.00	1.00	1.00	1.00
CALLE LOJA Y CALLE CAÑAR							
C	54	120.59	1.71	1.00	1.00	1.00	1.00
CALLE LOJA Y CALLE ZAMORA							
Z	56	144.65	2.05	1.12	0.71	1.19	0.75
CALLE LOJA Y PASAJE EL CARMEN							
49	50	65.24	1.33	1.11	0.68	1.17	0.72
50	51	79.28	1.62	1.00	1.00	1.00	1.00
51	48	168.25	3.43	1.14	0.78	1.21	0.83
64	65	2790.74	9.87	0.84	0.35	0.77	0.31
65	68	140.69	1.99	1.00	1.00	1.00	1.00
68	48	162.29	2.30	1.00	1.00	1.00	1.00
72	73	1363.79	4.82	0.63	0.21	0.50	0.15
73	74	312.53	4.42	1.01	0.51	1.01	0.51
74	38	224.17	3.17	1.12	0.71	1.19	0.75
CALLE LOJA Y CALLE BOLIVAR							
77	24	1586.79	5.61	1.00	1.00	1.00	1.00
CALLE PASTAZA Y CALLE NAPO							
100	101	136.91	1.94	1.00	1.00	1.00	1.00
101	102	110.45	1.56	1.00	1.00	1.00	1.00
102	103	136.61	1.93	1.00	1.00	1.00	1.00
CALLE NAPO							
46	103	2018.06	2.57	1.12	0.91	1.19	0.95
103	104	1904.09	2.42	1.00	1.00	1.00	1.00
104	105	2283.61	2.91	1.00	1.00	1.00	1.00
CALLE GUAYAS Y CALLE MORONA							
109	108	120.59	1.71	1.00	1.00	1.00	1.00
CALLE GUAYAS Y AV. UNIDAD NACIONAL							
41	43	312.79	4.43	0.75	0.28	0.65	0.23
43	111	214.97	3.04	1.01	0.52	1.02	0.52
111	1	174.52	2.47	1.14	0.82	1.22	0.87
40	42	270.85	3.83	0.96	0.46	0.94	0.44
42	1	242.52	3.43	1.09	0.63	1.13	0.66
1	2	185.30	2.62	1.00	1.00	1.00	1.00
CALLE GUAYAS Y CALLE EL ORO							
6	5	138.96	1.97	1.00	1.00	1.00	1.00
5	4	199.17	2.82	1.00	1.00	1.00	1.00
4	3	205.56	2.91	1.00	1.00	1.00	1.00
CALLE GUAYAS Y CALLE MANABI							
9	8	143.56	1.14	1.11	0.68	1.17	0.72
8	7	329.08	2.62	1.12	0.69	1.18	0.74
9	10	292.29	2.33	1.00	0.50	1.00	0.50
10	18	653.30	5.20	0.97	0.47	0.96	0.46
CALLE GUAYAS Y CALLE ESMERALDAS							
12	13	261.87	2.08	0.94	0.44	0.91	0.42
12	11	223.24	1.78	1.06	0.59	1.10	0.61
11	17	471.79	3.75	1.05	0.57	1.08	0.58
CALLE GUAYAS Y CALLE SUCUA							
20	19	721.92	2.55	0.46	0.13	0.31	0.07
CALLE GUAYAS TRAMO A							
107	106	2922.74	3.72	0.53	0.16	0.38	0.10
106	105	2989.94	3.81	0.62	0.21	0.49	0.15
105	108	2114.21	2.69	1.00	1.00	1.00	1.00

DE	A	Qo (L/s)	Vo (m/s)	V/Vo	y/D	R/Ro	H/D
CALLE GUAYAS TRAMO A							
108	110	2347.95	2.99	1.00	1.00	1.00	1.00
110	2	1299.47	1.65	1.00	1.00	1.00	1.00
2	3	2431.08	3.10	1.00	1.00	1.00	1.00
3	7	2172.14	2.77	1.00	1.00	1.00	1.00
7	13	2137.57	2.72	1.00	1.00	1.00	1.00
13	14	3438.07	4.38	1.00	1.00	1.00	1.00
CALLE GUAYAS TRAMO B							
33	34	231.48	1.84	1.01	0.51	1.01	0.51
34	35	233.10	1.85	1.00	1.00	1.00	1.00
35	36	296.75	2.36	1.00	1.00	1.00	1.00
36	26	222.40	1.77	1.00	1.00	1.00	1.00
26	25	1621.31	5.73	0.95	0.45	0.93	0.43
25	24	2560.43	3.26	0.90	0.40	0.85	0.37
24	23	2272.71	2.89	1.00	1.00	1.00	1.00
23	22	3350.28	4.27	1.00	1.00	1.00	1.00
22	21	1942.82	2.47	1.00	1.00	1.00	1.00
21	19	5422.35	6.90	1.13	0.73	1.20	0.78
19	18	4338.57	5.52	1.00	1.00	1.00	1.00
18	17	2410.57	3.07	1.00	1.00	1.00	1.00
17	16	3028.41	3.86	1.00	1.00	1.00	1.00
16	15	2261.75	2.88	1.00	1.00	1.00	1.00
15	14	1980.80	2.52	1.00	1.00	1.00	1.00
14	DESCARGA	4717.00	6.01	1.00	1.00	1.00	1.00
CALLE GUAYAS TRAMO C							
27	28	98.87	1.40	1.14	0.84	1.22	0.90
28	29	101.29	1.43	1.00	1.00	1.00	1.00
CALLE GUAYAS TRAMO C							
29	30	106.35	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00
33	32	60.96	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00
32	31	267.40	3.78	1.00	1.00	1.00	1.00
31	30	127.12	1.80	1.00	1.00	1.00	1.00
30	DESCARGA	133.62	1.89	1.00	1.00	1.00	1.00

Nota. Tabla de las relaciones hidráulicas V/Vo, d/D, R/Ro, H/D, las mismas que están en función de la relación del caudal en condiciones llenas (Qo) entre el caudal en condiciones parcialmente llenas (Q). Elaborado por: Los autores.

4.3.4 Velocidad

Velocidad máxima

Conforme a lo mencionado en el apartado 2.7.3.2, en este proyecto al disponer de tuberías de material de tipo hormigón armado de 60 cm de diámetro o mayores, se consideró como velocidad máxima **6 m/s**, en la siguiente tabla se muestra los tramos de tubería que exceden con lo normado.

Tabla 25.

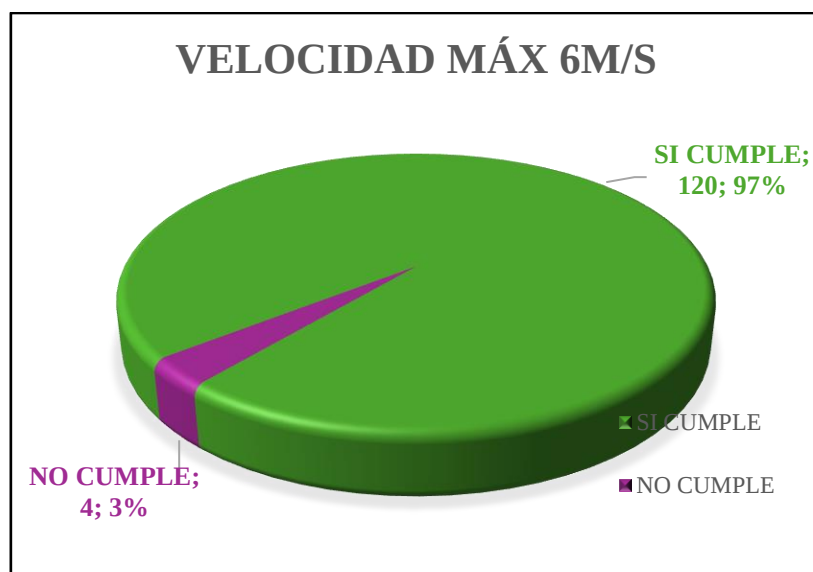
Tabla de tramos de tubería que no cumplen con el criterio de velocidad máxima 6m/s, según la EMAAP-Q,2009.

POZO		VEL. MÁX 6 m/s NORMA EMAAP-Q	
DE	A		
CALLE LOJA			
37	22	10.29	NO CUMPLE
CALLE LOJA Y PASAJE EL CARMEN			
64	65	8.32	NO CUMPLE
CALLE GUAYAS TRAMO B			
21	19	7.76	NO CUMPLE
14	DESCARGA	6.01	NO CUMPLE

Nota. Tabla de tramos de pozos catastrados que no cumplen con el criterio de velocidad máxima de 6 m/s, según el criterio de la EMAAP-Q,2009. Elaborado por: Los autores.

Figura 24.

Velocidad máxima recomendada por la EMAAP-Q, 2009.



Nota. En la figura se representa en porcentaje los tramos de tubería que cumplen y no cumplen con el criterio de 6m/s como velocidad máxima, recomendado por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores.

De los tramos evaluados el 3% no cumple con la velocidad máxima establecida, siendo 4 tramos de tubería.

Velocidad mínima

Las bases de diseño del barrio “La Colina”, por criterios de autolimpieza recomienda como velocidad mínima 0.45 m/s y considerando secciones de llenado total la velocidad mínima es 0.9 m/s, en la siguiente tabla se muestra los tramos de tubería que no cumplen con las bases.

Tabla 26.

Tabla de tramos de tubería que no cumplen con el criterio de velocidad mínima 0.45 m/s, según la EMAAP-Q, 2009.

POZO		VEL. MÍN. 0.45 m/s	
DE	A	NORMA EMAAP-Q	
CALLE LOJA			
40	44	0.18	NO CUMPLE

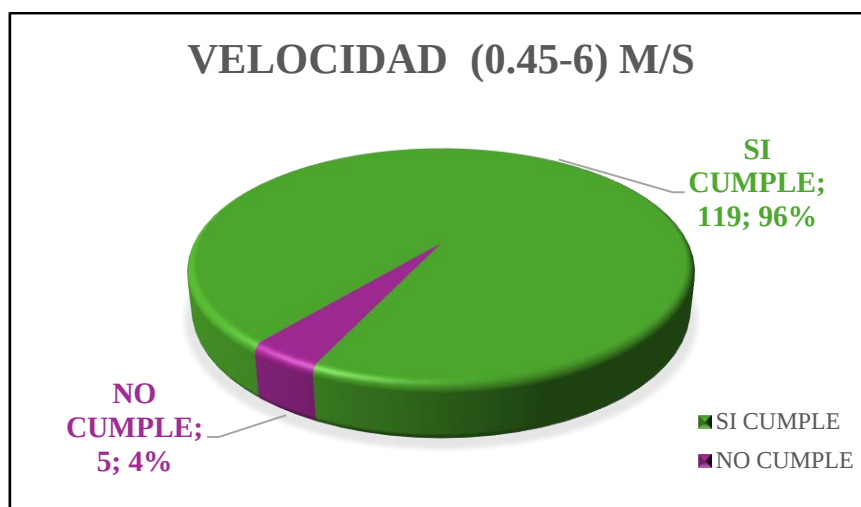
Nota. Tabla de tramos de tubería que no cumplen con el criterio de velocidad mínima de 0.45 m/s, recomendado por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores.

Una vez evaluado el sistema de alcantarillado combinado del barrio “La Colina”, se obtiene que el 96% está dentro del rango establecido, mientras que, el 4% no cumplen con las velocidades normadas.

Por lo que, se deben evitar velocidades muy bajas ya que podrían ocasionar sedimentación y velocidades altas que produzcan abrasión en los conductos.

Figura 25.

Rango de velocidad mínima y máxima, según la EMAAP-Q, 2009.



Nota. En la figura se representa en porcentaje los tramos de tubería que cumplen y no cumplen con el criterio de velocidad mínima de 0.45 m/s y velocidad máxima de 6m/s, recomendado por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores.

4.3.5. Pendiente

A partir de los datos de las cotas de proyecto inicial, cota de proyecto final y longitud de la tubería, las cuales se obtuvieron mediante el estudio catastral, se realiza el cálculo de la pendiente respectivamente para cada tramo con la siguiente ecuación.

$$J(\%) = \frac{\text{Cota de terreno inicial} - \text{Cota de terreno final}}{\text{Longitud}} \cdot 100$$

Ecuación 29

Tabla 27.

Tabla de tramos de tubería que no cumplen con el criterio de pendiente mínima 1%, recomendado por la EMAAP-Q, 2009.

POZO		PENDIENTE MIN 1%	
DE	A		
CALLE LOJA			
39	40	0.28	NO CUMPLE
40	44	0.02	NO CUMPLE
54	52	0.57	NO CUMPLE
52	48	0.36	NO CUMPLE

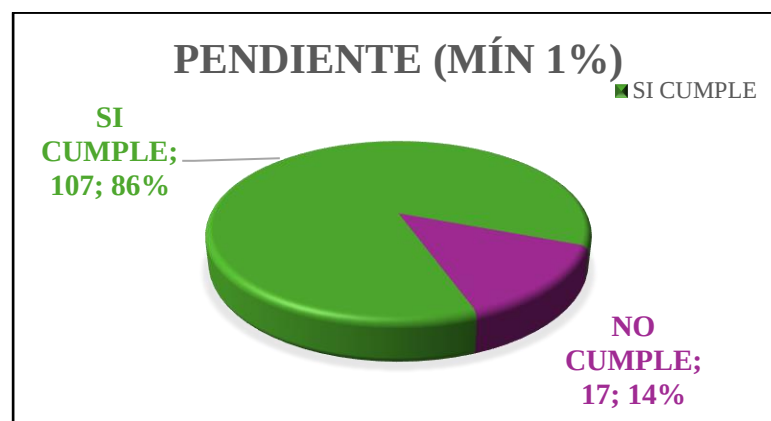
DE	A	PENDIENTE MIN 1%	
48	47	0.08	NO CUMPLE
58	59	0.48	NO CUMPLE
CALLE LOJA Y PASAJE EL CARMEN			
49	50	0.86	NO CUMPLE
CALLE NAPO			
46	103	0.82	NO CUMPLE
103	104	0.73	NO CUMPLE
CALLE GUAYAS Y CALLE MANABI			
9	8	0.55	NO CUMPLE
CALLE GUAYAS TRAMO A			
105	108	0.90	NO CUMPLE
110	2	0.34	NO CUMPLE
3	7	0.95	NO CUMPLE
7	13	0.92	NO CUMPLE
CALLE GUAYAS TRAMO B			
22	21	0.76	NO CUMPLE
15	14	0.79	NO CUMPLE
CALLE GUAYAS TRAMO C			
33	32	0.46	NO CUMPLE

Nota. Tabla de tramos de tubería que no cumplen con el criterio de pendiente mínima del 1%, recomendado por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores.

Se determina que solamente 17 tramos de tubería no cumplen con el valor establecido de pendiente mínima del 1 %, siendo el 14 %, y los tramos de tubería que superan el criterio son el 86 %.

Figura 26.

Pendiente mínima del 1%, recomendado por la EMAAP-Q, 2009.



Nota. En la figura se representa en porcentaje los tramos de tubería que cumplen y no cumplen con el criterio de pendiente mínima del 1 %, recomendado por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores.

4.3.5.1. Esfuerzo cortante

El valor del esfuerzo cortante medio se obtuvo empleando la siguiente ecuación

$$\tau = \gamma \cdot R \cdot J$$

Ecuación 30

Donde:

T= Esfuerzo cortante (N/m²)

Y= Peso específico del agua (N/m³)

R= Radio hidráulico (m)

J= Pendiente (m/m)

En este proyecto solo en un tramo de tubería no cumple, siendo menor a 1.0 N/m², como se puede ver a continuación.

Tabla 28.

Tabla de tramos de tubería que no cumplen con el criterio de esfuerzo cortante medio, según la EMAAP-Q, 2009.

POZO		ESFUERZO CORTANTE MEDIO NORMA EMAAP-Q 1.0 N/m ²	
DE	A		
CALLE LOJA			
40	44	0.15	NO CUMPLE

Nota. Tabla de tramos de tubería que no cumplen con el criterio de esfuerzo cortante medio, recomendado por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores.

4.3.5.1. Número de Froude

Según lo que menciona la (EMAAP-Q, 2009), el número de Froude es el parámetro que establece el tipo de flujo de la sección dada, para su cálculo se utiliza la ecuación 31, donde se relaciona las fuerzas inerciales entre las gravitatorias del fluido.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot D}}$$

Ecuación 31

Donde:

Fr= Numero de Froude (-)

V= Velocidad de escurrimiento (m/s)

D= Profundidad hidráulica (m) = (A/T)

g= gravedad (m/s²)

El número de Froude indica cuando un flujo es crítico, subcrítico y supercrítico cuando:

- Si Fr=1 se considera un flujo o escurrimiento crítico
- Si Fr<1 el flujo es subcrítico
- Si Fr>1 el flujo está en condiciones supercríticas

Con lo mencionado, se determinó para cada tramo de tubería las condiciones en las que se encuentra el flujo, obteniendo la siguiente tabla como resultado.

Tabla 29.

Tabla de tramos de tubería con el tipo de flujo según el número de Froude calculado.

POZO		NUMERO DE FROUDE	
DE	A	Fr	FLUJO
CALLE GALÁPAGOS			
93	92	3.39	SUPERCRITICO
92	86	3.21	SUPERCRITICO
86	84	1.57	SUPERCRITICO
95	94	2.52	SUPERCRITICO
94	84	0.84	SUBCRITICO
67	66	2.31	SUPERCRITICO
95	96	1.24	SUPERCRITICO
96	66	1.67	SUPERCRITICO
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE AZUAY			
87	86	2.69	SUPERCRITICO
91	90	2.37	SUPERCRITICO
90	89	1.31	SUPERCRITICO
89	88	1.20	SUPERCRITICO
88	86	1.17	SUPERCRITICO
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE LOS RIOS			
85	84	1.41	SUPERCRITICO

POZO		NUMERO DE FROUDE	
DE	A	Fr	FLUJO
CALLE LOJA Y PASAJE EL CARMEN			
49	50	1.11	SUPERCRITICO
50	51	1.03	SUPERCRITICO
51	48	2.73	SUPERCRITICO
64	65	6.14	SUPERCRITICO
65	68	1.16	SUPERCRITICO
68	48	1.34	SUPERCRITICO
72	73	3.22	SUPERCRITICO
73	74	3.63	SUPERCRITICO
74	38	2.39	SUPERCRITICO
CALLE LOJA Y CALLE BOLIVAR			
77	24	2.31	SUPERCRITICO
CALLE PASTAZA Y CALLE NAPO			
100	101	1.13	SUPERCRITICO
101	102	0.91	SUBCRITICO
102	103	1.13	SUPERCRITICO

POZO				NUMERO DE FROUDE			
DE	A	Fr	FLUJO	DE	A	Fr	FLUJO
CALLE GALÁPAGOS Y CALLE LOS RIOS				CALLE NAPO			
82	81	3.32	SUPERCRITICO	46	103	0.94	SUBCRITICO
84	83	1.20	SUPERCRITICO	103	104	0.77	SUBCRITICO
83	81	1.72	SUPERCRITICO	104	105	0.93	SUBCRITICO
CALLE GALÁPAGOS Y C. IMBABURA				CALLE GUAYAS Y CALLE MORONA			
99	1	3.12	SUPERCRITICO	109	108	0.99	SUBCRITICO
99	98	1.33	SUPERCRITICO	C. GUAYAS Y AV. UD. NACIONAL			
98	97	1.14	SUPERCRITICO	41	43	4.02	SUPERCRITICO
97	95	0.92	SUBCRITICO	43	111	2.49	SUPERCRITICO
C. GALÁPAGOS Y C. ATACAMES				111	1	1.76	SUPERCRITICO
66	62	3.34	SUPERCRITICO	40	42	3.22	SUPERCRITICO
62	61	3.81	SUPERCRITICO	42	1	2.68	SUPERCRITICO
66	76	1.90	SUPERCRITICO	1	2	1.53	SUPERCRITICO
CALLE GUAYAS Y CALLE EL ORO				CALLE LOJA Y CALLE CARCHI			
6	5	1.15	SUPERCRITICO	53	52	0.79	SUBCRITICO
5	4	1.64	SUPERCRITICO	CALLE LOJA Y CALLE CAÑAR			
4	3	1.70	SUPERCRITICO	C	54	0.99	SUBCRITICO
CALLE GUAYAS Y CALLE MANABI				CALLE LOJA Y CALLE ZAMORA			
9	8	0.75	SUBCRITICO	Z	56	1.54	SUPERCRITICO
8	7	1.72	SUPERCRITICO	CALLE GUAYAS Y CALLE ESMERALDAS			
9	10	1.66	SUPERCRITICO	12	13	1.53	SUPERCRITICO
10	18	3.76	SUPERCRITICO	12	11	1.22	SUPERCRITICO
57	56	4.01	SUPERCRITICO	11	17	2.61	SUPERCRITICO
CALLE GUAYAS Y CALLE SUCUA				CALLE GUAYAS TRAMO A			
20	19	1.81	SUPERCRITICO	107	106	1.99	SUPERCRITICO
CALLE LOJA				106	105	1.98	SUPERCRITICO
39	38	1.20	SUPERCRITICO	105	108	0.86	SUBCRITICO
38	37	1.85	SUPERCRITICO	108	110	0.95	SUBCRITICO
37	22	8.54	SUPERCRITICO	110	2	0.53	SUBCRITICO
39	40	0.52	SUBCRITICO	2	3	0.99	SUBCRITICO
40	44	0.10	SUBCRITICO	3	7	0.88	SUBCRITICO
44	45	2.95	SUPERCRITICO	7	13	0.87	SUBCRITICO
45	46	2.57	SUPERCRITICO	13	14	1.40	SUPERCRITICO
58	57	3.30	SUPERCRITICO	CALLE GUAYAS TRAMO B			
57	56	4.01	SUPERCRITICO	33	34	1.31	SUPERCRITICO
56	55	1.96	SUPERCRITICO	34	35	0.94	SUBCRITICO
55	54	1.92	SUPERCRITICO	35	36	1.19	SUPERCRITICO
54	52	1.00	CRITICO	36	26	0.89	SUBCRITICO
52	48	0.75	SUBCRITICO	26	25	3.42	SUPERCRITICO
48	47	0.26	SUBCRITICO	25	24	1.54	SUPERCRITICO
47	46	1.61	SUPERCRITICO	24	23	0.92	SUBCRITICO
58	59	0.63	SUBCRITICO	23	22	1.36	SUPERCRITICO
59	60	0.92	SUBCRITICO	22	21	0.79	SUBCRITICO
60	61	1.70	SUPERCRITICO	21	19	2.82	SUPERCRITICO
61	63	1.33	SUPERCRITICO	19	18	1.76	SUPERCRITICO
63	64	1.11	SUPERCRITICO	18	17	0.98	SUBCRITICO
71	70	1.72	SUPERCRITICO	17	16	1.23	SUPERCRITICO
70	69	2.12	SUPERCRITICO	16	15	0.92	SUBCRITICO
69	64	2.96	SUPERCRITICO	15	14	0.81	SUBCRITICO
71	72	1.96	SUPERCRITICO	14	DESCARGA	1.92	SUPERCRITICO
72	75	1.70	SUPERCRITICO	CALLE GUAYAS TRAMO C			
75	76	1.57	SUPERCRITICO	27	28	0.98	SUBCRITICO

POZO		NUMERO DE FROUDE	
DE	A	Fr	FLUJO
CALLE LOJA			
76	77	1.45	SUPERCRITICO
81	80	1.52	SUPERCRITICO
80	79	0.85	SUBCRITICO
79	78	0.87	SUBCRITICO
78	77	0.93	SUBCRITICO

POZO		NUMERO DE FROUDE	
DE	A	Fr	FLUJO
CALLE GUAYAS TRAMO C			
28	29	0.84	SUBCRITICO
29	30	0.88	SUBCRITICO
33	32	0.50	SUBCRITICO
32	31	2.21	SUPERCRITICO
31	30	1.05	SUPERCRITICO
30	DESCARGA	1.10	SUPERCRITICO

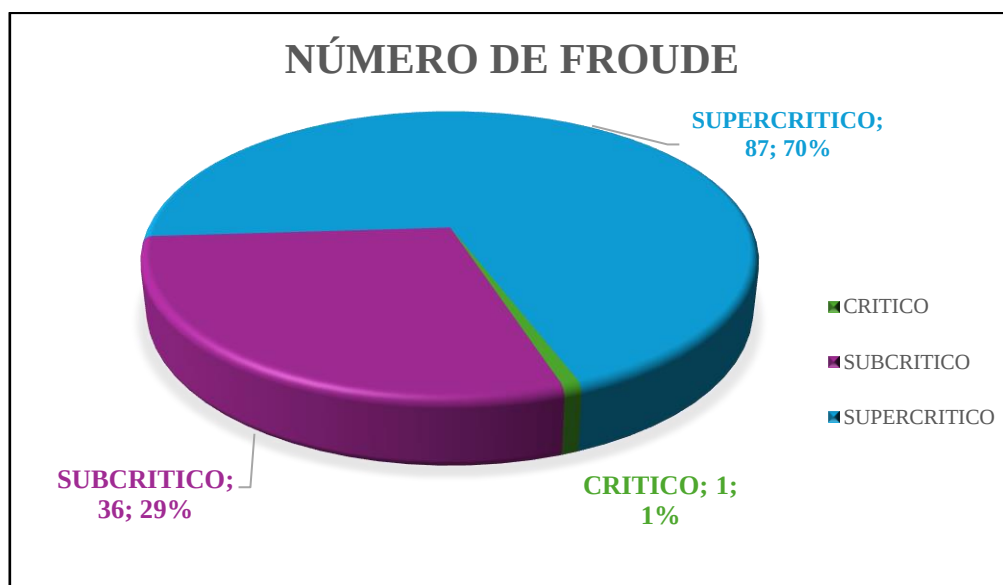
Nota. Tabla de tramos de tubería con el número de Froude y el tipo de flujo, el cual es recomendado por la Empresa

Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores.

Mediante la tabulación de la tabla 29, se tiene como resultado que 87 tramos de tubería (70 %) presentan condiciones supercríticas, 36 tramos (29 %) con flujo subcrítico y solamente un tramo, correspondiente a la tubería que conecta el pozo 54 con el 52, se encuentra en condiciones críticas con un número de Froude igual a 1.

Figura 27.

Tipo de flujo de cada sección según el número de Froude.



Nota. La figura muestra en porcentaje los tramos de tubería con el número de Froude y el tipo de flujo, el cual es recomendado por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores.

CAPITULO V

EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED BAJO DISTINTOS ESCENARIOS DE OPERACIÓN UTILIZANDO EL SOFTWARE SEWERCAD

Conforme menciona (Bentley, 2019), SewerCAD es una potente herramienta de diseño y análisis para modelar sistemas de drenaje urbano, haciendo énfasis en sistemas sanitarios, de la misma forma, permite simular sistemas de recolección por gravedad y tuberías a presión, además de calcular cargas sanitarias.

Su funcionamiento se basa en un algoritmo de cálculo el cual es diseñado para condiciones de flujo gradualmente variado (FGV), el mismo que analiza el tipo de flujo (crítico, subcrítico y supercrítico) en la sección correspondiente.

Para modelar en el programa SewerCAD las redes de alcantarillado se utiliza las siguientes ecuaciones hidráulicas e hidrológicas:

- Ecuación de flujo uniforme (Manning)
- Ecuaciones de energía y continuidad para flujos a presión

Ecuación de continuidad $Q_{\text{entrada}} = Q_{\text{salida}}$

Ecuación de energía (Bernoulli)

- Ecuación de Saint-Venant para flujo no permanente
- Método: Gradiente hidráulico

En este proyecto se realizó la modelación hidráulica de la red de alcantarillado combinado del barrio “La Colina”, mediante los datos recopilados a través del levantamiento catastral y el análisis hidráulico del sistema de alcantarillado existente realizado en el capítulo IV.

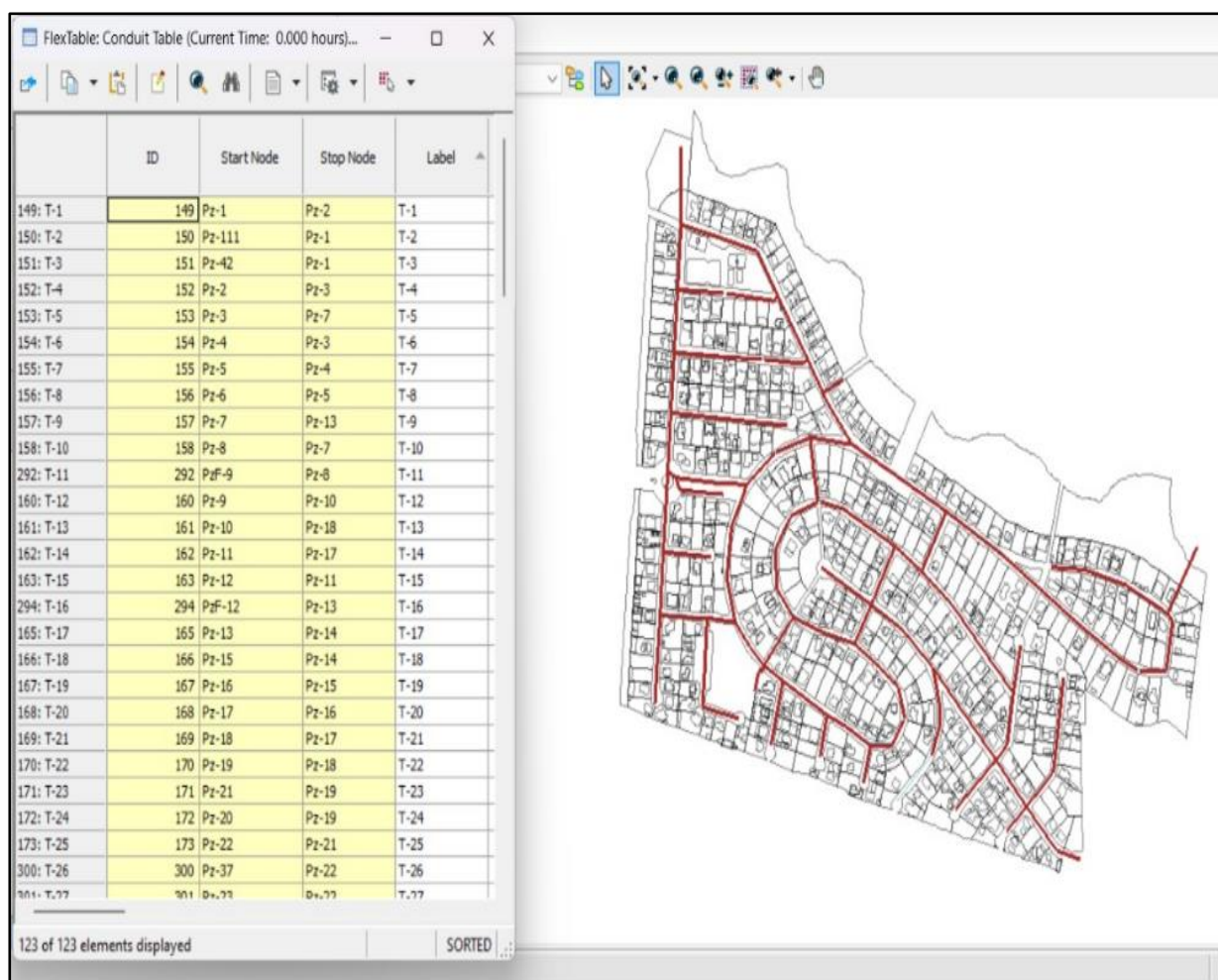
5.1. Metodología de cálculo para la simulación

5.1.1. FASE A: Construcción topológica

- Dibujos CAD y/o planos en papel
- Procesos manuales o automáticos
- Identificadores para nodos y conexiones

Figura 28.

FASE A: Construcción topológica del modelo hidráulico.



Nota. En la figura se muestra la captura de pantalla donde se presenta tramos representativos de la FASE A de la modelación hidráulica del sistema de alcantarillado combinado existente del barrio “La Colina”. Elaborado por:

Los autores, a través del software SewerCAD.

5.1.2. FASE B: Información de infraestructura

- Longitud real
- Diámetros catastrados

Figura 29.

FASE B: Información de la infraestructura del modelo hidráulico.

	ID	Start Node	Stop Node	Label	Diameter (mm)	Length (User Defined) (m)
152: T-4	152	Pz-2	Pz-3	T-4	1,000	73.15
153: T-5	153	Pz-3	Pz-7	T-5	1,000	80.74
154: T-6	154	Pz-4	Pz-3	T-6	300	63.69
155: T-7	155	Pz-5	Pz-4	T-7	300	74.17
156: T-8	156	Pz-6	Pz-5	T-8	300	66.66
157: T-9	157	Pz-7	Pz-13	T-9	1,000	81.61
158: T-10	158	Pz-8	Pz-7	T-10	400	83.36
292: T-11	292	Pz-9	Pz-8	T-11	400	70.63
160: T-12	160	Pz-9	Pz-10	T-12	400	69.81
161: T-13	161	Pz-10	Pz-18	T-13	400	7.64
162: T-14	162	Pz-11	Pz-17	T-14	400	7.75
163: T-15	163	Pz-12	Pz-11	T-15	400	83.06
294: T-16	294	Pz-12	Pz-13	T-16	400	84.29
165: T-17	165	Pz-13	Pz-14	T-17	1,000	84.87
166: T-18	166	Pz-15	Pz-14	T-18	1,000	67.11
167: T-19	167	Pz-16	Pz-15	T-19	1,000	69.89

Nota. En la figura se muestra la captura de pantalla donde se presenta tramos representativos de la FASE B de la modelación hidráulica del sistema de alcantarillado combinado existente del barrio “La Colina”. Elaborado por: Los autores, a través del software SewerCAD.

5.1.3. FASE C: Asignación de elevaciones

- Elevación del terreno
- Elevación del proyecto

Figura 30.

FASE C: Asignación de elevaciones del modelo hidráulico.

	ID	Label	Elevation (Ground) (m)	Elevation (Invert) (m)
33: Pz-1	33	Pz-1	2,491.90	2,489.10
34: Pz-2	34	Pz-2	2,491.84	2,488.34
35: Pz-3	35	Pz-3	2,491.32	2,487.47
36: Pz-4	36	Pz-4	2,493.88	2,490.80
37: Pz-5	37	Pz-5	2,497.59	2,494.44
38: Pz-6	38	Pz-6	2,499.18	2,496.03
39: Pz-7	39	Pz-7	2,490.60	2,486.70
40: Pz-8	40	Pz-8	2,492.47	2,489.17
41: Pz-9	41	Pz-9	2,493.26	2,489.56
42: Pz-10	42	Pz-10	2,491.87	2,487.97
43: Pz-11	43	Pz-11	2,488.25	2,486.40
44: Pz-12	44	Pz-12	2,489.20	2,487.50
45: Pz-13	45	Pz-13	2,489.60	2,485.95
46: Pz-14	46	Pz-14	2,486.48	2,483.93

Nota. En la figura se muestra la captura de pantalla donde se presenta tramos representativos de la FASE C de la modelación hidráulica del sistema de alcantarillado combinado existente del barrio “La Colina”. Elaborado por: Los autores, a través del software SewerCAD.

5.1.4. FASE D: Estimación de demandas

- Aporte sanitario
- Aporte pluvial

Figura 31.

FASE D: Estimación de demandas del modelo hidráulico.

	ID	Label	Inflow Type	Fixed Load (L/s)
1	33	Pz-1	Fixed Load	38.60
2	34	Pz-2	Fixed Load	87.92
3	35	Pz-3	Fixed Load	98.08
4	36	Pz-4	Fixed Load	105.91
5	37	Pz-5	Fixed Load	150.58
6	38	Pz-6	Fixed Load	168.14
7	39	Pz-7	Fixed Load	97.41
8	40	Pz-8	Fixed Load	153.38
9	41	Pz-9	Fixed Load	146.24
10	42	Pz-10	Fixed Load	146.24
11	43	Pz-11	Fixed Load	143.42
12	44	Pz-12	Fixed Load	143.42

Nota. En la figura se muestra la captura de pantalla donde se presenta tramos representativos de la FASE D de la modelación hidráulica del sistema de alcantarillado combinado existente del barrio “La Colina”. Elaborado por: Los autores, a través del software SewerCAD.

5.1.5. FASE E: Escenarios y alternativas

Gestión de alternativas para los distintos escenarios planteados.

Figura 32.

FASE E: Escenarios y alternativas del modelo hidráulico.

<General>	
ID	31
Label	Base Calculation Options
Notes	
Active Numerical Solver	GVF-Convex (SewerCAD)
Time Analysis Type	Steady State
Calculation Type	Analysis
Start/Stop Inverts Use Sump Depth	True
Measure Sump Depth To	Conduit Invert
Convex Routing	
Peak Flow Ratio (%)	100.0
Gravity Hydraulics	
Maximum Network Traversals	5
Tractive Stress (Global Minimum)	0.000
Flow Convergence Test	0.001
Flow Profile Method	Backwater Analysis
Number of Flow Profile Steps	5
Hydraulic Grade Convergence Test	0.00
Average Velocity Method	Actual Uniform Flow Velocity

Nota. En la figura se muestra la captura de pantalla donde se presenta tramos representativos de la FASE E de la modelación hidráulica del sistema de alcantarillado combinado existente del barrio “La Colina”. Elaborado por: Los autores, a través del software SewerCAD.

Una vez trazada la red en el programa se modelo el sistema de alcantarillado del barrio “La Colina”, considerando diferentes escenarios, los mismos que se presentan en los siguientes numerales.

5.1 Escenario A: alcantarillado sanitario

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis hidráulico considerando un sistema sanitario.

Figura 33.

Resultados obtenidos mediante el software SewerCAD.

Start Node	Stop Node	Label	Diameter (mm)	Manning's n	Slope (Calculated) (%)	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Tractive Stress (Calculated) (N/m ²)	Flow / Capacity (Design) (%)	Depth/Rise (%)	Froude Number
Pz-1	Pz-2	T-1	300	0.014	4.25	8.12	1.31	11.092	4.5	58.5	2.433
Pz-111	Pz-1	T-2	300	0.014	3.79	2.64	0.90	6.106	1.5	17.6	2.180
Pz-42	Pz-1	T-3	300	0.014	7.28	2.51	1.12	9.866	1.1	17.4	2.960
Pz-2	Pz-3	T-4	1000	0.014	1.19	258.95	2.01	15.324	10.9	29.5	1.634
Pz-3	Pz-7	T-5	1000	0.014	0.95	298.77	1.94	13.723	14.1	31.5	1.471
Pz-4	Pz-3	T-6	300	0.014	5.23	7.10	1.36	12.248	3.5	60.5	2.680
Pz-5	Pz-4	T-7	300	0.014	4.91	3.79	1.10	8.804	1.9	18.1	2.502
Pz-6	Pz-5	T-8	300	0.014	2.39	1.31	0.62	3.099	1.0	12.1	1.684
Pz-7	Pz-13	T-9	1000	0.014	0.92	337.33	1.98	14.046	16.2	33.5	1.447
Pz-8	Pz-7	T-10	400	0.014	2.96	2.99	0.82	5.026	0.9	45.4	1.956
PzF-9	Pz-8	T-11	400	0.014	0.55	0.90	0.32	0.797	0.6	7.5	0.819
Pz-9	Pz-10	T-12	400	0.014	2.28	1.14	0.56	2.643	0.4	7.9	1.621
Pz-10	Pz-18	T-13	400	0.014	11.39	3.42	1.37	15.138	0.5	48.3	3.684
Pz-11	Pz-17	T-14	400	0.014	5.94	3.35	1.09	9.036	0.7	50.8	2.735
Pz-12	Pz-11	T-15	400	0.014	1.33	1.12	0.46	1.729	0.5	7.8	1.254
PzF-12	Pz-13	T-16	400	0.014	1.83	0.80	0.47	1.897	0.3	45.4	1.424
Pz-13	Pz-14	T-17	1000	0.014	2.38	375.79	2.87	31.012	11.2	45.4	2.313
Pz-15	Pz-14	T-18	1000	0.014	0.79	511.13	2.11	14.866	26.4	48.3	1.339
Pz-16	Pz-15	T-19	1000	0.014	1.03	467.95	2.27	17.679	21.2	39.4	1.534
Pz-17	Pz-16	T-20	1000	0.014	1.14	425.47	2.29	18.374	18.3	37.6	1.613
Pz-18	Pz-17	T-21	1000	0.014	1.17	380.47	2.24	17.880	16.2	35.6	1.633
Pz-19	Pz-18	T-22	1000	0.014	3.79	338.61	3.28	42.576	8.0	33.6	2.887
Pz-21	Pz-19	T-23	1000	0.014	5.92	303.14	3.72	57.385	5.7	31.7	3.561
Pz-20	Pz-19	T-24	600	0.014	1.60	0.19	0.27	0.811	0.0	27.9	1.183
Pz-22	Pz-21	T-25	1000	0.014	0.76	268.97	1.73	10.937	14.2	29.9	1.310
Pz-37	Pz-22	T-26	300	0.014	66.07	10.43	3.71	103.692	1.5	61.0	9.086
Pz-23	Pz-22	T-27	1000	0.014	2.26	223.96	2.42	23.685	6.9	27.6	2.216
Pz-24	Pz-23	T-28	1000	0.014	1.04	192.65	1.76	12.083	8.7	25.3	1.514
Pz-77	Pz-24	T-29	600	0.014	7.73	139.60	3.45	54.937	9.0	40.3	3.802
Pz-25	Pz-24	T-30	1000	0.014	1.32	22.73	1.01	5.567	0.9	16.3	1.516
Pz-26	Pz-25	T-31	600	0.014	8.07	16.24	1.84	21.598	1.0	13.5	3.471
Pz-36	Pz-26	T-32	400	0.014	1.32	11.12	0.92	4.871	5.1	19.1	1.436
Pz-35	Pz-36	T-33	400	0.014	2.35	6.56	0.96	6.011	2.3	16.1	1.836
Pz-34	Pz-35	T-34	400	0.014	1.45	3.22	0.65	2.997	1.4	11.9	1.397
PzF-33	Pz-34	T-35	400	0.014	1.43	0.93	0.45	1.685	0.4	7.5	1.287
Pz-33	Pz-32	T-36	300	0.014	0.46	1.18	0.34	0.835	2.0	12.0	0.771
Pz-32	Pz-31	T-37	300	0.014	8.85	3.42	1.30	13.274	1.3	16.8	3.275
Pz-31	Pz-30	T-38	300	0.014	2.01	5.97	0.92	5.397	4.8	26.3	1.683
Pz-30	D	T-39	300	0.014	2.21	17.46	1.31	9.352	13.4	28.9	1.832

Start Node	Stop Node	Label	Diameter (mm)	Manning's n	Slope (Calculated) (%)	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Tractive Stress (Calculated) (N/m ²)	Flow / Capacity (Design) (%)	Depth/Rise (%)	Froude Number
Pz-29	Pz-30	T-40	300	0.014	1.40	5.74	0.80	4.008	5.5	26.1	1.415
Pz-28	Pz-29	T-41	300	0.014	1.27	2.54	0.61	2.581	2.6	15.7	1.296
Pz-27	Pz-28	T-42	300	0.014	1.21	0.78	0.42	1.446	0.8	9.6	1.187
Pz-38	Pz-37	T-43	300	0.014	6.23	7.70	1.48	14.546	3.5	23.7	2.924
Pz-74	Pz-38	T-44	300	0.014	6.22	4.50	1.26	11.412	2.1	19.3	2.831
Pz-39	Pz-38	T-45	300	0.014	1.48	0.63	0.42	1.543	0.6	14.0	1.273
PzF-39	Pz-40	T-46	300	0.014	0.28	0.28	0.18	0.298	0.6	7.0	0.558
PzF-40	Pz-44	T-47	300	0.014	0.02	0.52	0.08	0.044	4.6	11.6	0.154
Pz-40	Pz-42	T-48	300	0.014	9.08	1.18	0.95	8.350	0.4	10.4	3.079
Pz-41	Pz-43	T-49	300	0.014	12.11	0.43	0.78	6.524	0.1	7.0	3.320
Pz-43	Pz-111	T-50	300	0.014	5.72	1.31	0.84	6.116	0.6	10.8	2.507
Pz-44	Pz-45	T-51	300	0.014	8.07	1.57	1.00	8.674	0.6	11.7	2.981
Pz-45	Pz-46	T-52	300	0.014	4.36	3.07	0.99	7.294	1.7	36.0	2.346
Pz-46	Pz-103	T-53	1000	0.014	0.82	100.42	1.33	7.528	5.1	18.5	1.316
Pz-47	Pz-46	T-54	1000	0.014	1.69	81.33	1.62	12.052	2.9	16.6	1.839
Pz-68	Pz-48	T-55	300	0.014	3.26	31.90	1.78	16.398	20.1	56.9	2.230
Pz-51	Pz-48	T-56	250	0.014	5.72	2.46	1.05	8.441	1.9	48.7	2.634
Pz-49	Pz-50	T-57	250	0.014	0.86	0.41	0.31	0.872	0.8	8.6	0.959
Pz-50	Pz-51	T-58	250	0.014	1.27	1.23	0.50	1.925	2.0	13.2	1.239
Pz-52	Pz-48	T-59	1000	0.014	0.36	19.35	0.61	1.902	1.5	14.5	0.818
Pz-53	Pz-52	T-60	300	0.014	1.15	1.20	0.47	1.700	1.3	18.4	1.178
Pz-54	Pz-52	T-61	1000	0.014	0.57	12.14	0.62	2.188	0.7	7.3	0.983
Pz-55	Pz-54	T-62	300	0.014	6.74	6.43	1.44	14.273	2.8	20.1	2.998
Pz-56	Pz-55	T-63	300	0.014	5.95	3.97	1.20	10.401	1.9	17.8	2.766
Pz-57	Pz-56	T-64	300	0.014	12.64	0.92	0.99	9.582	0.3	11.5	3.555
PzF-58	Pz-57	T-65	300	0.014	8.04	0.31	0.61	4.088	0.1	5.9	2.691
Pz-58	Pz-59	T-66	300	0.014	0.48	0.47	0.26	0.569	0.8	8.1	0.736
Pz-59	Pz-60	T-67	300	0.014	1.54	1.66	0.57	2.459	1.5	12.3	1.387
Pz-60	Pz-61	T-68	300	0.014	5.24	3.49	1.10	8.915	1.7	18.0	2.576
Pz-61	Pz-63	T-69	300	0.014	3.21	7.33	1.15	8.514	4.7	23.7	2.125
Pz-62	Pz-61	T-70	300	0.014	11.15	0.74	0.89	7.880	0.3	14.0	3.294
PzF-66	Pz-62	T-71	300	0.014	8.00	0.25	0.58	3.669	0.1	5.3	2.668
Pz-63	Pz-64	T-72	300	0.014	2.24	10.90	1.14	7.672	8.3	27.9	1.817
Pz-69	Pz-64	T-73	300	0.014	9.67	3.65	1.37	14.637	1.3	22.2	3.424
Pz-64	Pz-65	T-74	600	0.014	23.91	20.15	2.87	55.131	0.7	17.6	5.854
Pz-65	Pz-68	T-75	300	0.014	2.45	25.96	1.52	12.014	18.9	43.3	1.935
Pz-67	Pz-66	T-76	300	0.014	5.75	1.56	0.88	6.663	0.7	19.7	2.536
Pz-96	Pz-66	T-77	300	0.014	10.44	7.52	1.76	21.504	2.7	25.6	3.720
Pz-66	Pz-76	T-78	300	0.014	6.95	13.87	1.83	20.622	6.0	32.7	3.162
Pz-70	Pz-69	T-79	300	0.014	5.08	1.80	0.89	6.425	0.9	12.7	2.450
Pz-71	Pz-70	T-80	300	0.014	2.48	0.38	0.43	1.823	0.3	7.6	1.567
PzF-71	Pz-72	T-81	300	0.014	3.62	0.76	0.61	3.349	0.5	7.8	1.960
PzF-72	Pz-75	T-82	400	0.014	2.00	0.43	0.40	1.531	0.2	5.9	1.427
Pz-72	Pz-73	T-83	600	0.014	5.71	1.81	0.84	6.048	0.1	5.6	2.554
Pz-73	Pz-74	T-84	300	0.014	12.09	3.06	1.42	15.979	1.0	15.2	3.801
Pz-75	Pz-76	T-85	400	0.014	2.38	2.29	0.71	3.757	0.8	17.6	1.739
Pz-76	Pz-77	T-86	400	0.014	3.48	23.63	1.62	14.479	6.7	43.4	2.362
Pz-78	Pz-77	T-87	600	0.014	1.24	93.70	1.61	11.030	15.1	36.2	1.542
Pz-79	Pz-78	T-88	600	0.014	1.10	79.37	1.47	9.356	13.6	31.1	1.450
Pz-80	Pz-79	T-89	600	0.014	1.05	65.75	1.37	8.299	11.5	28.4	1.410
Pz-81	Pz-80	T-90	600	0.014	3.33	53.32	1.93	18.636	5.2	25.7	2.444
Pz-82	Pz-81	T-91	300	0.014	6.21	1.12	0.82	6.062	0.5	28.4	2.587
Pz-83	Pz-81	T-92	500	0.014	4.54	39.99	2.02	21.574	5.5	27.8	2.773
Pz-84	Pz-83	T-93	500	0.014	2.20	29.97	1.44	10.794	5.9	24.6	1.935
Pz-94	Pz-84	T-94	300	0.014	1.28	2.06	0.57	2.355	2.1	24.6	1.284
Pz-85	Pz-84	T-95	300	0.014	3.62	1.56	0.76	4.634	0.9	23.9	2.071
Pz-86	Pz-84	T-96	300	0.014	4.48	17.28	1.67	16.136	9.3	35.6	2.581
Pz-87	Pz-86	T-97	300	0.014	6.44	0.82	0.76	5.382	0.4	20.1	2.595
Pz-92	Pz-86	T-98	300	0.014	9.68	1.64	1.08	10.176	0.6	21.6	3.257
Pz-88	Pz-86	T-99	300	0.014	2.50	8.97	1.12	7.672	6.5	28.4	1.905
Pz-89	Pz-88	T-100	300	0.014	2.61	5.73	1.00	6.501	4.0	21.3	1.905
Pz-90	Pz-89	T-101	300	0.014	3.12	3.32	0.90	5.836	2.1	16.5	2.011
Pz-91	Pz-90	T-102	300	0.014	5.75	1.24	0.82	5.989	0.6	11.5	2.507
Pz-93	Pz-103	T-103	300	0.014	8.74	0.41	0.68	4.967	0.2	7.5	2.837
PzF-95	Pz-94	T-104	300	0.014	5.32	0.55	0.63	3.886	0.3	8.5	2.291
Pz-95	Pz-96	T-105	300	0.014	2.81	4.83	0.97	6.359	3.3	19.4	1.959
Pz-97	Pz-95	T-106	300	0.014	1.54	2.64	0.66	3.051	2.4	15.0	1.423
Pz-98	Pz-97	T-107	300	0.014	1.67	1.48	0.57	2.494	1.3	11.1	1.420

Start Node	Stop Node	Label	Diameter (mm)	Manning's n	Slope (Calculated) (%)	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Tractive Stress (Calculated) (N/m ²)	Flow / Capacity (Design) (%)	Depth/Rise (%)	Froude Number
Pz-99	Pz-98	T-108	300	0.014	1.69	0.55	0.42	1.608	0.5	7.6	1.345
Pz-100	Pz-101	T-110	300	0.014	2.32	1.39	0.68	3.114	1.0	11.8	1.668
Pz-101	Pz-102	T-111	300	0.014	1.51	3.44	0.71	3.371	3.2	17.1	1.484
Pz-102	Pz-103	T-112	300	0.014	2.31	6.21	0.98	6.118	4.7	42.4	1.802
Pz-103	Pz-104	T-113	1000	0.014	0.73	125.75	1.37	7.603	6.8	20.3	1.259
Pz-104	Pz-105	T-114	1000	0.014	1.05	145.24	1.62	10.734	6.5	22.0	1.506
Pz-106	Pz-105	T-115	1000	0.014	1.80	3.43	0.68	2.979	0.1	13.1	1.533
Pz-107	Pz-106	T-116	1000	0.014	1.72	1.23	0.45	1.795	0.0	2.5	1.399
Pz-105	Pz-108	T-117	1000	0.014	0.90	171.12	1.62	10.308	8.3	23.8	1.412
Pz-109	Pz-108	T-118	300	0.014	1.80	1.47	0.58	2.642	1.2	45.8	1.476
Pz-108	Pz-110	T-119	1000	0.014	1.11	197.18	1.81	12.859	8.6	26.3	1.565
Pz-110	Pz-2	T-120	1000	0.014	0.34	222.18	1.24	5.400	17.5	28.2	0.883
Pz-C	Pz-54	T-121	300	0.014	1.80	1.08	0.53	2.284	0.9	14.1	1.459
Pz-Z	Pz-56	T-122	300	0.014	2.59	0.95	0.58	2.871	0.7	11.6	1.694
Pz-14	D	T-123	1000	0.014	4.48	967.36	4.72	76.563	21.0	43.5	3.198
Pz-48	Pz-47	TP-47	1000	0.014	0.08	67.31	0.52	1.031	10.9	18.1	0.424

Nota. En la figura se muestra la captura de pantalla de la tabla de resultados generados del modelo hidráulico del barrio “La Colina”. Elaborado por: Los autores, a través del software SewerCAD.

A partir de los resultados obtenidos se procede a realizar el análisis correspondiente de estos:

- **Velocidad**

Siguiendo los parámetros de velocidad establecidos por la (EMAAP-Q, 2009), se sabe que los tramos marcados de color amarillo corresponden a velocidades menores a 0.45 m/s, mientras que, los tramos marcados de color azul están dentro del rango establecido (0.45-6 m/s).

Con lo expuesto anteriormente, se determinó que 13 tramos no cumplen con lo normado, a diferencia de los 111 que si cumplen con las velocidades dispuestas.

Tabla 30.

Tabla de tramos de tubería con velocidades mínimas, según la EMAAP-Q, 2009.

Tramos de tubería con velocidades menores a 0.45 m/s.

T-11, T-24, T-45, T-46, T-47, T-57, T-66, T-80, T-82, T-35, T-36, T-42, T-108.

Nota. Tabla de tramos de tuberías que no cumplen con el criterio establecido, recomendado por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores.

Figura 34

Resultados generados de velocidad, a partir del software SewerCAD.



Nota. En la figura se muestran los tramos de tuberías marcados con el color atribuidos, según el valor de velocidad mínima y máxima, estos criterios se establecieron en base a la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores, a través del software SewerCAD.

- **Esfuerzo cortante**

Para el análisis del esfuerzo cortante se tomó en cuenta que el valor mínimo sea 1.0 N/m², se representa de color rosado los tramos de tubería que tienen valores superiores a lo mínimo y de color verde los tramos que no cumplen con lo expuesto anteriormente.

Se obtuvo como resultado que 7 tramos de tubería están por debajo del valor mínimo establecido, mientras que 116 tramos sobrepasan 1.0 N/m².

Figura 35.

Resultados generados de esfuerzo cortante, a partir del software SewerCAD



Nota. En la figura se muestran los tramos de tuberías marcados con el color atribuidos, según el valor de esfuerzo cortante medio, estos criterios se establecieron en base a la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores, a través del software SewerCAD.

Tabla 31.

Tabla de tramos de tubería con valores mínimos de esfuerzo cortante medio, según la EMAAP-Q, 2009.

Tramos de tubería menores a 1.0 N/m².
T-11, T-24, T-46, T-47, T-57, T-66, T-36.

Nota. Tabla de tramos de tuberías que no cumplen con el criterio establecido recomendado por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores.

- **Froude**

En el caso del número de Froude se tomó en cuenta el tipo de flujo que se transporta por el conducto, considerando $Fr > 1$, flujo supercrítico y $Fr < 1$, siendo flujo subcrítico. De esta forma, los tramos de color morado conducen un flujo subcrítico y por otro lado los tramos de color naranja conducen flujo supercrítico.

Figura 36.

Resultados generados de número de Froude, a partir del software SewerCAD



Nota. En la figura se muestran los tramos de tuberías marcados con el color atribuidos, según el valor de número de Froude, estos criterios se establecieron en base a la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores, a través del software SewerCAD.

En total se obtuvieron 10 tramos de tubería, las cuales transportan flujo subcrítico y 113 tramos de tubería con flujo supercrítico.

Tabla 32.

Tabla de tramos de tubería con valores de Froude <1 , según la EMAAP-Q, 2009.

Tramos de tubería con flujo subcrítico ($Fr < 1$)
T-11, T-46, T-47, T-36, TP-47, T-57, T-59, T-61, T-66, T-120.

Nota. Tabla de tramos de tuberías que no cumplen con el criterio establecido recomendado por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores.

- **Capacidad hidráulica**

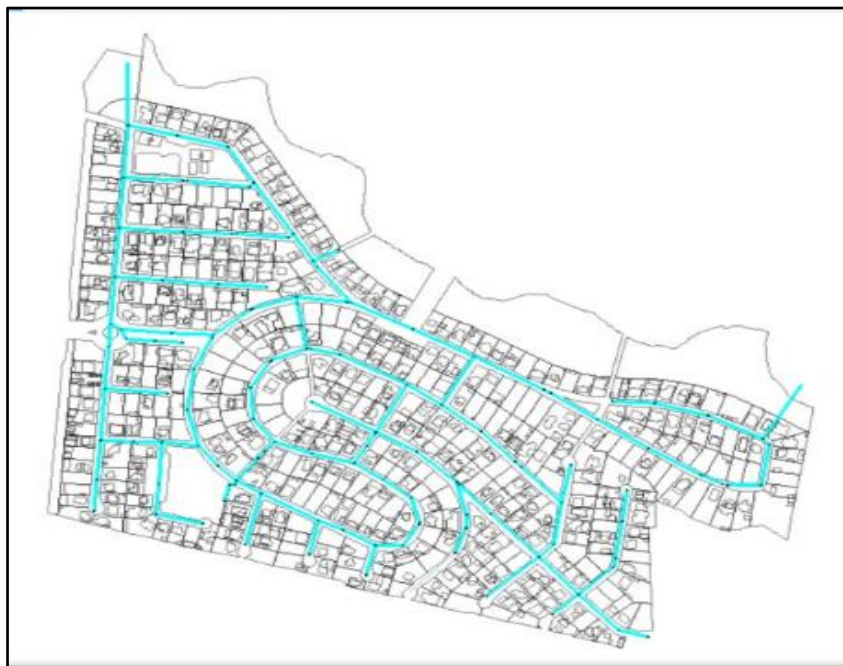
Q/Q_0

Es la relación entre el caudal de diseño y el caudal en condiciones llenas, esta relación no debe exceder el 80 % de la capacidad hidráulica, este sistema al ser sanitario se encuentra

operando en condiciones normales, es decir, ningún tramo de tubería supera su capacidad máxima, como se muestra a continuación.

Figura 37.

Resultados generados de la relación hidráulica Q/Q_o , a partir del software SewerCAD.



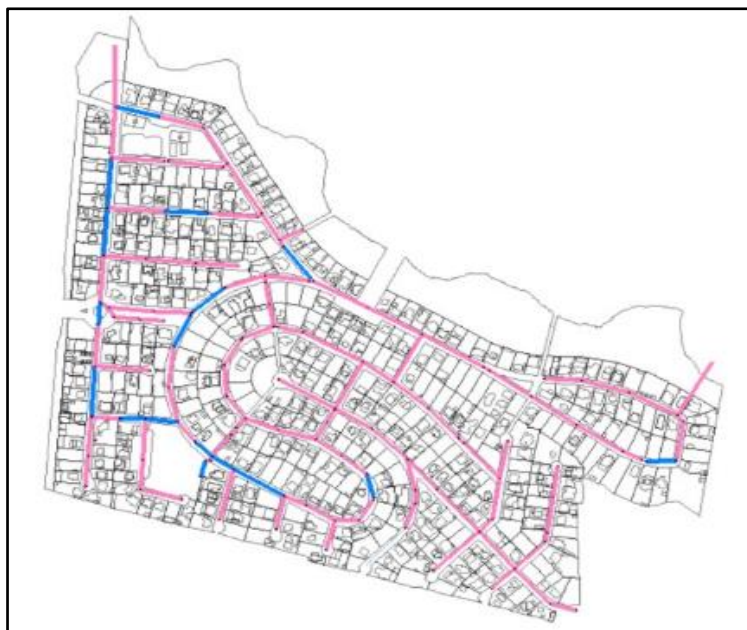
Nota. En la figura se muestran los tramos de tuberías marcados con el color atribuidos, según el valor capacidad hidráulica, la misma que no debe sobrepasar el 80%, estos criterios se establecieron en base a la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores, a través del software SewerCAD.

- **Pendiente**

Se establece como valor mínimo de pendiente el 1 %, según lo recomendado por la (EMAAP-Q, 2009), en la siguiente figura se puede observar que los tramos de color celeste no cumplen con la pendiente mínima establecida, y de color rosado los tramos de tubería que sobrepasan el 1 %. Por otro lado, la pendiente máxima está en función de la velocidad máxima de cada tramo de tubería.

Figura 38.

Resultados generados del parámetro de pendiente, a partir del software SewerCAD



Nota. En la figura se muestran los tramos de tuberías marcados con el color atribuidos, según el valor de la pendiente, estos criterios se establecieron en base a la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores, a través del software SewerCAD.

De los 123 tramos de tubería, 106 tramos superan el valor mínimo de pendiente, mientras que 17 tramos no cumplen con el requisito del 1 %.

Tabla 33.

Tabla de tramos de tubería con valores de Froude < 1 , según la EMAAP-Q, 2009.

Tramos de tubería con pendientes $< 1\%$

T-18, T-9, T-5, T-11, T-25, T-46, T-47, T-120, T-117,
T-113, T-53, T-57, TP-47, T-59, T-61, T-66, T-36.

Nota. Tabla de tramos de tuberías que no cumplen con el criterio establecido recomendado por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores.

A partir de la simulación del escenario A y el análisis de los parámetros hidráulicos, se determinó que, al disponer de un sistema separado o independiente, en este caso solo sanitario, se logra una mejora significativa en su funcionamiento y operatividad en el sistema.

5.2 Escenario B: alcantarillado pluvial

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis hidráulico considerando un sistema pluvial.

Figura 39.

Resultados obtenidos mediante el software SewerCAD.

Start Node	Stop Node	Label	Diameter (mm)	Manning's n	Slope (Calculated) (%)	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Tractive Stress (Calculated) (Nm ⁻²)	Flow/Capacity (Design) (%)	Depth/Rise (%)	Froude Number
Pz-1	Pz-2	T-1	300	0.014	4.25	380.91	5.39	31.207	210.6	100.0	3.142
Pz-111	Pz-1	T-2	300	0.014	3.79	171.07	2.42	33.912	100.1	100.0	1.790
Pz-42	Pz-1	T-3	300	0.014	7.28	171.24	2.42	60.411	72.3	100.0	2.982
Pz-2	Pz-3	T-4	1000	0.014	1.19	3,680.05	4.69	29.139	155.1	100.0	1.496
Pz-3	Pz-7	T-5	1000	0.014	0.95	4,202.76	5.35	23.365	197.8	100.0	1.709
Pz-4	Pz-3	T-6	300	0.014	5.23	424.63	6.01	38.429	211.6	100.0	3.502
Pz-5	Pz-4	T-7	300	0.014	4.91	318.72	4.51	36.071	163.9	100.0	2.629
Pz-6	Pz-5	T-8	300	0.014	2.39	168.14	2.38	17.532	124.0	100.0	1.387
Pz-7	Pz-13	T-9	1000	0.014	0.92	4,569.06	5.82	22.516	219.0	100.0	1.858
Pz-8	Pz-7	T-10	400	0.014	2.96	268.89	2.14	34.089	82.6	100.0	1.903
PzF-9	Pz-8	T-11	400	0.014	0.55	115.51	0.92	6.345	82.2	100.0	0.823
Pz-9	Pz-10	T-12	400	0.014	2.28	146.24	1.16	22.335	51.3	100.0	1.872
Pz-10	Pz-18	T-13	400	0.014	11.39	292.48	2.33	107.078	45.9	100.0	4.232
Pz-11	Pz-17	T-14	400	0.014	5.94	286.84	2.28	62.477	62.3	100.0	2.928
Pz-12	Pz-11	T-15	400	0.014	1.33	143.42	1.14	14.224	65.9	100.0	1.367
PzF-12	Pz-13	T-16	400	0.014	1.83	103.13	0.82	16.337	40.4	100.0	1.713
Pz-13	Pz-14	T-17	1000	0.014	2.38	4,837.71	6.16	58.313	144.1	100.0	1.967
Pz-15	Pz-14	T-18	1000	0.014	0.79	5,546.87	7.06	19.349	286.8	100.0	2.255
Pz-16	Pz-15	T-19	1000	0.014	1.03	5,456.68	6.95	25.254	247.0	100.0	2.219
Pz-17	Pz-16	T-20	1000	0.014	1.14	5,350.18	6.81	27.920	230.3	100.0	2.175
Pz-18	Pz-17	T-21	1000	0.014	1.17	4,997.24	6.29	28.667	209.7	100.0	2.007
Pz-19	Pz-18	T-22	1000	0.014	3.79	4,532.04	5.77	112.078	107.0	100.0	1.930
Pz-21	Pz-19	T-23	1000	0.014	5.92	4,460.26	5.68	171.154	84.2	100.0	3.107
Pz-20	Pz-19	T-24	600	0.014	1.60	24.21	0.09	7.410	3.4	100.0	1.656
Pz-22	Pz-21	T-25	1000	0.014	0.76	4,441.71	5.66	18.535	234.7	100.0	1.806
Pz-37	Pz-22	T-26	300	0.014	66.07	350.87	4.96	478.360	49.2	100.0	9.658
Pz-23	Pz-22	T-27	1000	0.014	2.26	4,022.05	5.12	55.295	123.0	100.0	1.635
Pz-24	Pz-23	T-28	1000	0.014	1.04	3,894.24	4.96	25.376	175.8	100.0	1.583
Pz-77	Pz-24	T-29	600	0.014	7.73	2,860.93	10.12	113.601	184.7	100.0	4.171
Pz-25	Pz-24	T-30	1000	0.014	1.32	833.90	1.06	27.300	33.4	100.0	1.716
Pz-26	Pz-25	T-31	600	0.014	8.07	657.86	2.33	109.471	41.6	100.0	3.847
Pz-36	Pz-26	T-32	400	0.014	1.32	586.19	4.66	12.940	269.9	100.0	2.355
Pz-35	Pz-36	T-33	400	0.014	2.35	429.05	3.41	23.041	148.0	100.0	1.724
Pz-34	Pz-35	T-34	400	0.014	1.45	294.47	2.34	14.186	129.5	100.0	1.183
PzF-33	Pz-34	T-35	400	0.014	1.43	119.22	0.95	14.196	52.7	100.0	1.479
Pz-33	Pz-32	T-36	300	0.014	0.46	152.13	2.15	3.405	254.7	100.0	1.255
Pz-32	Pz-31	T-37	300	0.014	8.85	287.38	4.07	75.787	110.0	100.0	1.968
Pz-31	Pz-30	T-38	300	0.014	2.01	328.18	4.64	14.759	263.9	100.0	2.707
Pz-30	D	T-39	300	0.014	2.21	738.78	10.45	16.275	565.7	100.0	6.093
Pz-29	Pz-30	T-40	300	0.014	1.40	410.60	5.81	10.292	395.3	100.0	3.387
Pz-28	Pz-29	T-41	300	0.014	1.27	225.45	3.19	9.345	227.8	100.0	1.860
Pz-27	Pz-28	T-42	300	0.014	1.21	100.29	1.42	10.794	104.0	100.0	0.954
Pz-38	Pz-37	T-43	300	0.014	6.23	329.53	4.66	45.772	150.4	100.0	2.718
Pz-74	Pz-38	T-44	300	0.014	6.22	185.31	2.62	53.989	84.7	100.0	2.596
Pz-39	Pz-38	T-45	300	0.014	1.48	80.88	1.14	12.466	75.7	100.0	1.325
PzF-39	Pz-40	T-46	300	0.014	0.28	36.01	0.51	2.404	77.0	100.0	0.578
PzF-40	Pz-44	T-47	300	0.014	0.02	67.22	0.95	0.124	590.0	100.0	0.554
Pz-40	Pz-42	T-48	300	0.014	9.08	115.32	1.63	62.779	43.6	100.0	3.626
Pz-41	Pz-43	T-49	300	0.014	12.11	54.81	0.78	58.064	17.9	100.0	4.305
Pz-43	Pz-111	T-50	300	0.014	5.72	112.94	1.60	42.809	53.8	100.0	2.806
Pz-44	Pz-45	T-51	300	0.014	8.07	135.29	1.91	60.658	54.2	100.0	3.332
Pz-45	Pz-46	T-52	300	0.014	4.36	192.59	2.72	38.924	105.1	100.0	1.777
Pz-46	Pz-103	T-53	1000	0.014	0.82	2,057.86	2.62	24.331	104.6	100.0	0.949
Pz-47	Pz-46	T-54	1000	0.014	1.69	1,800.41	2.29	44.874	63.6	100.0	1.814
Pz-68	Pz-48	T-55	300	0.014	3.26	769.07	10.80	23.926	481.9	100.0	6.204

Start Node	Stop Node	Label	Diameter (mm)	Manning's n	Slope (Calculated) (%)	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Tractive Stress (Calculated) (Nm ²)	Flow/Capacity (Design) (%)	Depth Rise (%)	Froude Number
Pz-51	Pz-48	T-56	250	0.014	5.72	157.53	3.21	35.050	122.0	100.0	2.050
Pz-49	Pz-50	T-57	250	0.014	0.86	52.51	1.07	6.422	104.7	100.0	0.771
Pz-50	Pz-51	T-58	250	0.014	1.27	105.02	2.14	7.764	172.8	100.0	1.366
Pz-52	Pz-48	T-59	1000	0.014	0.36	771.45	0.98	9.316	59.0	100.0	0.850
Pz-53	Pz-52	T-60	300	0.014	1.15	154.55	2.19	8.435	164.4	100.0	1.275
Pz-54	Pz-52	T-61	1000	0.014	0.57	594.36	0.76	12.184	36.2	100.0	1.123
Pz-55	Pz-54	T-62	300	0.014	6.74	315.88	4.47	49.509	138.7	100.0	2.605
Pz-56	Pz-55	T-63	300	0.014	5.95	270.09	3.82	43.734	126.2	100.0	2.228
Pz-57	Pz-56	T-64	300	0.014	12.64	78.56	1.11	69.985	25.2	100.0	4.383
PzF-58	Pz-57	T-65	300	0.014	8.04	39.57	0.56	36.616	15.9	100.0	3.502
Pz-58	Pz-59	T-66	300	0.014	0.48	60.96	0.86	4.307	100.1	100.0	0.638
Pz-59	Pz-60	T-67	300	0.014	1.54	152.93	2.16	11.287	140.6	100.0	1.261
Pz-60	Pz-61	T-68	300	0.014	5.24	235.68	3.33	38.541	117.3	100.0	1.944
Pz-61	Pz-63	T-69	300	0.014	3.21	398.55	5.64	23.590	233.5	100.0	3.287
Pz-62	Pz-61	T-70	300	0.014	11.15	63.25	0.89	57.824	21.6	100.0	4.127
PzF-66	Pz-62	T-71	300	0.014	8.00	32.72	0.46	33.572	13.2	100.0	3.481
Pz-63	Pz-64	T-72	300	0.014	2.24	458.61	6.49	16.445	349.3	100.0	3.783
Pz-69	Pz-64	T-73	300	0.014	9.67	238.11	3.37	84.559	87.3	100.0	3.192
Pz-64	Pz-65	T-74	600	0.014	23.91	719.93	2.55	269.997	26.4	100.0	6.765
Pz-65	Pz-68	T-75	300	0.014	2.45	746.97	10.57	18.013	543.6	100.0	6.161
Pz-67	Pz-66	T-76	300	0.014	5.75	199.78	2.83	51.141	94.9	100.0	2.324
Pz-96	Pz-66	T-77	300	0.014	10.44	345.51	4.89	76.725	121.8	100.0	2.850
Pz-66	Pz-76	T-78	300	0.014	6.95	615.60	8.71	51.066	266.1	100.0	5.077
Pz-70	Pz-69	T-79	300	0.014	5.08	182.17	2.58	44.983	92.1	100.0	2.239
Pz-71	Pz-70	T-80	300	0.014	2.48	49.17	0.70	15.842	35.5	100.0	1.920
PzF-71	Pz-72	T-81	300	0.014	3.62	97.19	1.37	27.907	58.2	100.0	2.208
PzF-72	Pz-75	T-82	400	0.014	2.00	55.62	0.44	13.643	20.8	100.0	1.836
Pz-72	Pz-73	T-83	600	0.014	5.71	135.49	0.48	42.799	10.2	100.0	3.282
Pz-73	Pz-74	T-84	300	0.014	12.09	160.40	2.27	89.772	52.6	100.0	4.097
Pz-75	Pz-76	T-85	400	0.014	2.38	238.61	1.90	27.330	81.8	100.0	1.714
Pz-76	Pz-77	T-86	400	0.014	3.48	959.32	7.63	34.148	271.9	100.0	3.854
Pz-78	Pz-77	T-87	600	0.014	1.24	1,840.59	6.51	18.208	296.8	100.0	2.684
Pz-79	Pz-78	T-88	600	0.014	1.10	1,749.82	6.19	16.172	299.3	100.0	2.551
Pz-80	Pz-79	T-89	600	0.014	1.05	1,596.39	5.65	15.406	279.8	100.0	2.328
Pz-81	Pz-80	T-90	600	0.014	3.33	1,568.23	5.55	49.000	154.1	100.0	2.287
Pz-82	Pz-81	T-91	300	0.014	6.21	144.13	2.04	49.997	65.9	100.0	2.821
Pz-83	Pz-81	T-92	500	0.014	4.54	1,287.24	6.56	55.624	176.3	100.0	2.961
Pz-84	Pz-83	T-93	500	0.014	2.20	1,165.09	5.93	26.923	229.3	100.0	2.680
Pz-94	Pz-84	T-94	300	0.014	1.28	193.53	2.74	9.388	195.1	100.0	1.596
Pz-85	Pz-84	T-95	300	0.014	3.62	200.44	2.84	26.627	120.0	100.0	1.653
Pz-86	Pz-84	T-96	300	0.014	4.48	751.13	10.63	32.897	404.5	100.0	6.195
Pz-87	Pz-86	T-97	300	0.014	6.44	105.07	1.49	45.877	47.2	100.0	3.027
Pz-92	Pz-86	T-98	300	0.014	9.68	158.50	2.24	74.545	58.0	100.0	3.612
Pz-88	Pz-86	T-99	300	0.014	2.50	416.34	5.89	18.384	299.9	100.0	3.434
Pz-89	Pz-88	T-100	300	0.014	2.61	310.18	4.39	19.209	218.6	100.0	2.558
Pz-90	Pz-89	T-101	300	0.014	3.12	266.56	3.77	22.939	171.9	100.0	2.199
Pz-91	Pz-90	T-102	300	0.014	5.75	159.11	2.25	48.376	75.6	100.0	2.613
Pz-93	Pz-92	T-103	300	0.014	8.74	52.81	0.75	44.210	20.4	100.0	3.654
PzF-95	Pz-94	T-104	300	0.014	5.32	70.76	1.00	33.704	35.0	100.0	2.813
Pz-95	Pz-96	T-105	300	0.014	2.81	281.18	3.98	20.640	191.2	100.0	2.319
Pz-97	Pz-95	T-106	300	0.014	1.54	148.81	2.11	11.343	136.5	100.0	1.227
Pz-98	Pz-97	T-107	300	0.014	1.67	119.37	1.69	14.847	105.4	100.0	1.089
Pz-99	Pz-98	T-108	300	0.014	1.69	70.82	1.00	13.318	62.1	100.0	1.490
Pz-100	Pz-101	T-110	300	0.014	2.32	178.31	2.52	17.029	133.5	100.0	1.471
Pz-101	Pz-102	T-111	300	0.014	1.51	263.12	3.72	11.087	244.1	100.0	2.170
Pz-102	Pz-103	T-112	300	0.014	2.31	355.57	5.03	16.954	266.7	100.0	2.933
Pz-103	Pz-104	T-113	1000	0.014	0.73	2,455.92	3.13	17.841	132.2	100.0	0.999
Pz-104	Pz-105	T-114	1000	0.014	1.05	2,503.57	3.19	25.604	112.5	100.0	1.018
Pz-106	Pz-105	T-115	1000	0.014	1.80	282.32	0.36	21.969	9.7	100.0	2.001
Pz-107	Pz-106	T-116	1000	0.014	1.72	158.46	0.20	16.455	5.6	100.0	1.917
Pz-105	Pz-108	T-117	1000	0.014	0.90	2,884.01	3.67	22.132	139.4	100.0	1.173
Pz-109	Pz-108	T-118	300	0.014	1.80	189.07	2.67	13.252	160.4	100.0	1.559
Pz-108	Pz-110	T-119	1000	0.014	1.11	3,158.22	4.02	27.128	137.9	100.0	1.284
Pz-110	Pz-2	T-120	1000	0.014	0.34	3,211.22	4.09	8.374	252.4	100.0	1.306
Pz-C	Pz-54	T-121	300	0.014	1.80	138.28	1.96	13.230	117.4	100.0	1.141
Pz-Z	Pz-56	T-122	300	0.014	2.59	121.64	1.72	22.601	86.1	100.0	1.664
Pz-14	D	T-123	1000	0.014	4.48	10,428.11	13.28	109.760	226.4	100.0	4.240
Pz-48	Pz-47	TP-47	1000	0.014	0.08	1,747.27	2.22	1.958	284.0	100.0	0.710

Nota. En la figura se muestra la tabla de resultados generados del modelo hidráulico del barrio “La Colina”.

Elaborado por: Los autores, a través del software SewerCAD.

- **Velocidad**

Según lo establecido por la (EMAAP-Q, 2009), los tramos señalados de color amarillo son menores a 0.45 m/s, mientras que, los tramos marcados de color azul son menores a la velocidad máxima establecida de 6 m/s y los de color naranja representan los tramos que exceden el rango permitido.

Figura 40.

Resultados generados de velocidad, a partir del software SewerCAD.



Nota. En la figura se muestran los tramos de tuberías marcados con el color atribuidos, según el valor de velocidad mínima y máxima, estos criterios se establecieron en base a la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores, a través del software SewerCAD.

Dicho esto, 4 tramos de tubería no cumplen con la velocidad mínima, 17 tramos de tubería exceden el rango permitido y 102 tramos de tubería cumplen con la velocidad máxima establecida.

Tabla 34.

Tabla de tramos de tubería con velocidades mínimas y máximas, las mismas que no cumplen con el rango establecido, según la EMAAP-Q, 2009.

Tramos de tubería con velocidades máximas y mínimas (0.45-6) m/s	
Tramos de tubería con velocidades <0.45 m/s.	T-82, T-24, T-115, T-116
Tramos de tubería con velocidades > (0.45-6) m/s.	T-6, T-17, T-123, T-18, T-19, T-20, T-21, T-55, T-72, T-78, T-86, T-29, T-87, T-88, T-92, T-96, T-39

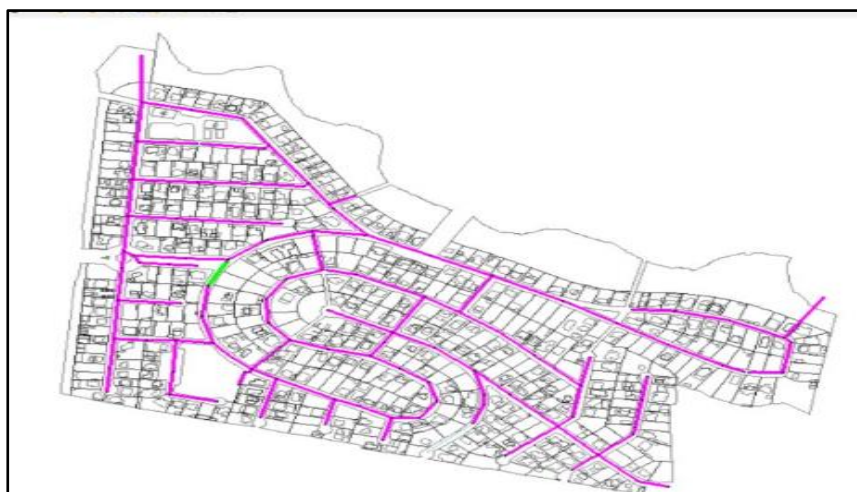
Nota. Tabla de tramos de tuberías que no cumplen con el criterio establecido recomendado por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores.

- **Esfuerzo cortante**

Para el análisis del esfuerzo cortante se tomó en cuenta que el valor mínimo sea 1.0 N/m², se representa de color morado los tramos de tubería que tienen valores superiores a lo mínimo y de color verde los tramos que no cumplen con lo mínimo. Se obtiene, un tramo de tubería que no cumplen con el valor mínimo de tensión tractiva, siendo el tramo T-47.

Figura 41.

Resultados generados de esfuerzo cortante medio, a partir del software SewerCAD.



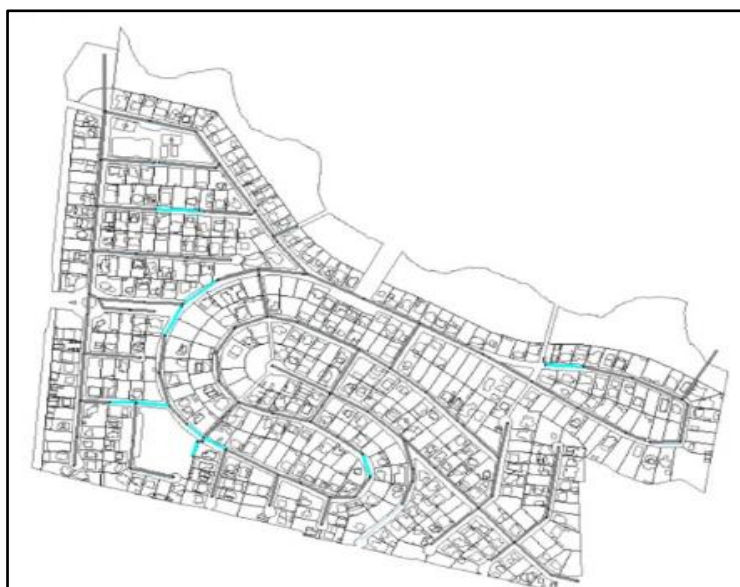
Nota. En la figura se muestran los tramos de tuberías marcados con el color atribuidos, según el valor de esfuerzo cortante, estos criterios se establecieron en base a la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores, a través del software SewerCAD.

- **Froude**

En el caso del número de Froude se tomó en cuenta el tipo de flujo que se transporta por el conducto, considerando $Fr > 1$, flujo supercrítico y $Fr < 1$, siendo flujo subcrítico. De esta forma, los tramos de color celeste conducen un flujo subcrítico y por otro lado los tramos de color gris conducen flujo supercrítico. A partir de esto, en total se tiene 10 tramos de tubería que conducen flujo subcrítico y 113 tramos que transportan flujo supercrítico.

Figura 42.

Resultados generados de número de Froude, a partir del software SewerCAD.



Nota. En la figura se muestran los tramos de tuberías marcados con el color atribuidos, según el valor de número de Froude, estos criterios se establecieron en base a la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores, a través del software SewerCAD.

Tabla 35.

Tabla de tramos de tubería con valores de Froude < 1 , según la EMAAP-Q, 2009.

Tramos de tubería con flujo subcrítico ($Fr < 1$)
T-11, T-46, T-47, T-113, T-53, TP-47, T-57, T-59, T-66, T-42

Nota. Tabla de tramos de tuberías que no cumplen con el criterio establecido recomendado por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores.

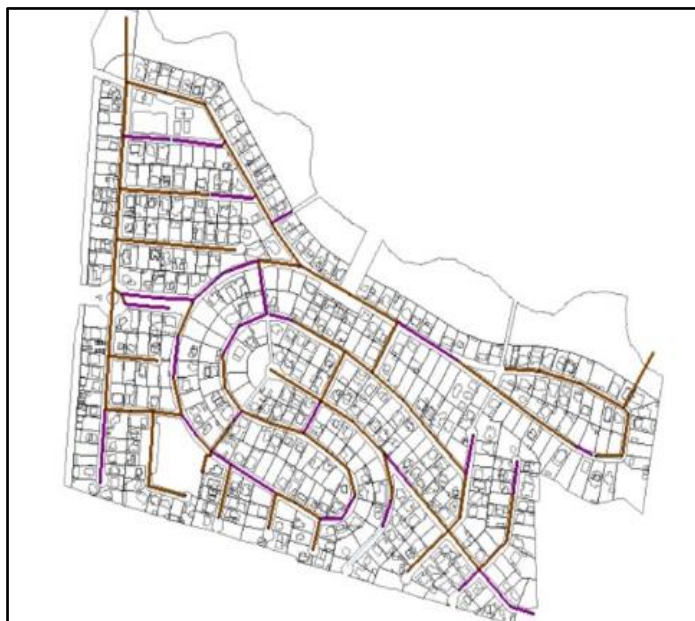
- **Capacidad hidráulica**

Q/Q₀

Esta relación no debe exceder el 80 % de la capacidad hidráulica, ya que es la relación entre el caudal de diseño y el caudal en sección llena, este sistema al ser pluvial no se encuentra operando en condiciones normales, es decir, se presentan tramos de tubería que superan su capacidad máxima; a continuación, se representa de color café los tramos que superan esta condición y de color morado los tramos que operan en condiciones normales.

Figura 43.

Resultados generados de la relación hidráulica Q/Q₀, a partir del software SewerCAD.



Nota. En la figura se muestran los tramos de tuberías marcados con el color atribuidos, según el valor capacidad hidráulica, la misma que no debe sobrepasar el 80%, estos criterios se establecieron en base a la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores, a través del software SewerCAD.

De los 123 tramos, 38 tramos están operando en condiciones normales, es decir no superan el 80 % de la capacidad hidráulica.

Tabla 36.

Tabla de tramos de tubería de la relación hidráulica Q/Q_0 , la cual considera 80 % como capacidad hidráulica, según la EMAAP-Q, 2009.

Tramos de tubería con la relación hidráulica $Q/Q_0 < 80$ %											
T-16, T-15, T-14, T-12, T-13, T-24, T-45, T-46, T-48, T-3, T-49, T-50, T-51, T-115, T-116, T-54, T-59, T-61, T-64, T-65, T-70, T-71, T-80, T-81, T-82, T-83, T-84, T-26, T-30, T-104, T-108, T-91, T-102, T-97, T-98, T-103											
<i>Nota.</i> Tabla de tramos de tuberías que no cumplen con el criterio establecido recomendado por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores.											

Una vez obtenido los resultados generados a partir de la simulación del escenario B, se determinó que, al disponer de un sistema de alcantarillado pluvial, las características físicas de la red no permiten que se cumpla con los requerimientos establecidos por la normativa vigente.

5.3 ESCENARIO C: ALCANTARILLADO COMBINADO

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis hidráulico considerando un sistema de alcantarillado combinado.

Figura 44.

Resultados obtenidos mediante el software SewerCAD.

Start Node	Stop Node	Label	Diameter (mm)	Manning's n	Slope (Calculated) (%)	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Tractive Stress (Calculated) (N/m ²)	Flow /Capacity (Design) (%)	Depth/Rise (%)	Froude Number
Pz-1	Pz-2	T-1	300	0.014	4.25	389.03	5.50	31.207	215.1	100.0	3.209
Pz-111	Pz-1	T-2	300	0.014	3.79	173.71	2.46	33.924	101.6	100.0	1.753
Pz-42	Pz-1	T-3	300	0.014	7.28	173.75	2.46	60.690	73.4	100.0	2.968
Pz-2	Pz-3	T-4	1000	0.014	1.19	3,999.00	5.02	29.139	166.0	100.0	1.602
Pz-3	Pz-7	T-5	1000	0.014	0.95	4,501.53	5.73	23.365	211.8	100.0	1.830
Pz-4	Pz-3	T-6	300	0.014	5.23	431.73	6.11	38.429	215.1	100.0	3.561
Pz-5	Pz-4	T-7	300	0.014	4.91	322.51	4.56	36.071	165.9	100.0	2.660
Pz-6	Pz-5	T-8	300	0.014	2.39	169.45	2.40	17.532	125.0	100.0	1.398
Pz-7	Pz-13	T-9	1000	0.014	0.92	4,906.39	6.25	22.516	235.2	100.0	1.995
Pz-8	Pz-7	T-10	400	0.014	2.96	271.88	2.16	34.192	83.6	100.0	1.894
PzF-9	Pz-8	T-11	400	0.014	0.55	116.41	0.93	6.358	82.9	100.0	0.821
Pz-9	Pz-10	T-12	400	0.014	2.28	147.38	1.17	22.400	51.7	100.0	1.870
Pz-10	Pz-18	T-13	400	0.014	11.39	295.90	2.35	107.522	46.4	100.0	4.231
Pz-11	Pz-17	T-14	400	0.014	5.94	290.19	2.31	62.730	63.0	100.0	2.921
Pz-12	Pz-11	T-15	400	0.014	1.33	144.54	1.15	14.262	66.4	100.0	1.365
PzF-12	Pz-13	T-16	400	0.014	1.83	103.93	0.83	16.386	40.7	100.0	1.712
Pz-13	Pz-14	T-17	1000	0.014	2.38	5,213.50	6.64	58.313	155.3	100.0	2.120
Pz-15	Pz-14	T-18	1000	0.014	0.79	6,058.00	7.71	19.349	313.3	100.0	2.463
Pz-16	Pz-15	T-19	1000	0.014	1.03	5,924.63	7.54	25.254	268.2	100.0	2.409
Pz-17	Pz-16	T-20	1000	0.014	1.14	5,775.65	7.35	27.920	248.6	100.0	2.348
Pz-18	Pz-17	T-21	1000	0.014	1.17	5,317.71	6.77	28.667	225.9	100.0	2.162
Pz-19	Pz-18	T-22	1000	0.014	3.79	4,870.65	6.20	92.810	115.0	100.0	1.980
Pz-21	Pz-19	T-23	1000	0.014	5.92	4,763.40	6.06	173.817	90.0	100.0	2.997
Pz-20	Pz-19	T-24	600	0.014	1.60	24.40	0.09	7.422	3.5	100.0	1.663
Pz-22	Pz-21	T-25	1000	0.014	0.76	4,710.68	6.00	18.535	248.9	100.0	1.915
Pz-37	Pz-22	T-26	300	0.014	66.07	361.30	5.11	483.688	50.6	100.0	9.624

Start Node	Stop Node	Label	Diameter (mm)	Manning's n	Slope (Calculated) (%)	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Tractive Stress (Calculated) (Nm ²)	Flow/Capacity (Design) (%)	Depth Rise (%)	Froude Number
Pz-23	Pz-22	T-27	1000	0.014	2.26	4,246.01	5.41	55.295	129.9	100.0	1.726
Pz-24	Pz-23	T-28	1000	0.014	1.04	4,086.89	5.20	25.376	184.5	100.0	1.662
Pz-77	Pz-24	T-29	600	0.014	7.73	3,000.53	10.61	113.601	193.7	100.0	4.375
Pz-25	Pz-24	T-30	1000	0.014	1.32	856.63	1.09	27.600	343	100.0	1.713
Pz-26	Pz-25	T-31	600	0.014	8.07	674.10	2.38	110.523	42.6	100.0	3.839
Pz-36	Pz-26	T-32	400	0.014	1.32	597.31	4.75	12.940	275.0	100.0	2.400
Pz-35	Pz-36	T-33	400	0.014	2.35	435.61	3.47	23.041	150.3	100.0	1.750
Pz-34	Pz-35	T-34	400	0.014	1.45	297.69	2.37	14.186	130.9	100.0	1.196
PzF-33	Pz-34	T-35	400	0.014	1.43	120.15	0.96	14.238	53.1	100.0	1.477
Pz-33	Pz-32	T-36	300	0.014	0.46	153.31	2.17	3.405	256.6	100.0	1.264
Pz-32	Pz-31	T-37	300	0.014	8.85	290.80	4.11	65.080	111.3	100.0	2.399
Pz-31	Pz-30	T-38	300	0.014	2.01	334.15	4.73	14.759	268.7	100.0	2.756
Pz-30	D	T-39	300	0.014	2.21	756.24	10.70	16.275	579.0	100.0	6.237
Pz-29	Pz-30	T-40	300	0.014	1.40	416.34	5.89	10.292	400.9	100.0	3.434
Pz-28	Pz-29	T-41	300	0.014	1.27	227.99	3.23	9.345	230.4	100.0	1.880
Pz-27	Pz-28	T-42	300	0.014	1.21	101.07	1.43	10.782	104.8	100.0	0.940
Pz-38	Pz-37	T-43	300	0.014	6.23	337.23	4.77	45.772	154.0	100.0	2.781
Pz-74	Pz-38	T-44	300	0.014	6.22	189.81	2.69	54.305	86.7	100.0	2.565
Pz-39	Pz-38	T-45	300	0.014	1.48	81.51	1.15	12.495	76.3	100.0	1.322
PzF-39	Pz-40	T-46	300	0.014	0.28	36.29	0.51	2.409	77.6	100.0	0.576
PzF-40	Pz-44	T-47	300	0.014	0.02	67.74	0.96	0.124	594.5	100.0	0.559
Pz-40	Pz-42	T-48	300	0.014	9.08	116.50	1.65	63.031	44.0	100.0	3.622
Pz-41	Pz-43	T-49	300	0.014	12.11	55.24	0.78	58.248	18.1	100.0	4.307
Pz-43	Pz-111	T-50	300	0.014	5.72	114.25	1.62	42.991	54.5	100.0	2.802
Pz-44	Pz-45	T-51	300	0.014	8.07	136.86	1.94	60.914	54.9	100.0	3.327
Pz-45	Pz-46	T-52	300	0.014	4.36	195.66	2.77	38.760	106.7	100.0	1.708
Pz-46	Pz-103	T-53	1000	0.014	0.82	2,158.28	2.75	23.646	109.7	100.0	0.784
Pz-47	Pz-46	T-54	1000	0.014	1.69	1,881.74	2.40	45.556	66.5	100.0	1.797
Pz-68	Pz-48	T-55	300	0.014	3.26	794.97	11.25	23.926	502.0	100.0	6.557
Pz-51	Pz-48	T-56	250	0.014	5.72	159.99	3.26	35.050	123.9	100.0	2.082
Pz-49	Pz-50	T-57	250	0.014	0.86	52.92	1.08	6.413	105.5	100.0	0.759
Pz-50	Pz-51	T-58	250	0.014	1.27	106.25	2.16	7.764	174.8	100.0	1.382
Pz-52	Pz-48	T-59	1000	0.014	0.36	790.80	1.01	9.398	60.5	100.0	0.846
Pz-53	Pz-52	T-60	300	0.014	1.15	155.75	2.20	8.435	165.6	100.0	1.285
Pz-54	Pz-52	T-61	1000	0.014	0.57	606.50	0.77	12.284	36.9	100.0	1.122
Pz-55	Pz-54	T-62	300	0.014	6.74	322.31	4.56	49.509	141.5	100.0	2.658
Pz-56	Pz-55	T-63	300	0.014	5.95	274.06	3.88	43.734	128.0	100.0	2.260
Pz-57	Pz-56	T-64	300	0.014	12.64	79.48	1.12	70.317	25.5	100.0	4.383
PzF-58	Pz-57	T-65	300	0.014	8.04	39.88	0.66	36.739	16.0	100.0	3.503
Pz-58	Pz-59	T-66	300	0.014	0.48	61.43	0.87	4.309	100.9	100.0	0.632
Pz-59	Pz-60	T-67	300	0.014	1.54	154.39	2.19	11.287	142.1	100.0	1.275
Pz-60	Pz-61	T-68	300	0.014	5.24	239.17	3.38	38.541	119.0	100.0	1.973
Pz-61	Pz-63	T-69	300	0.014	3.21	405.88	5.74	23.590	258.1	100.0	3.348
Pz-62	Pz-61	T-70	300	0.014	11.15	63.99	0.91	58.109	21.8	100.0	4.126
PzF-66	Pz-62	T-71	300	0.014	8.00	32.97	0.47	33.683	13.3	100.0	3.482
Pz-63	Pz-64	T-72	300	0.014	2.24	469.51	6.64	16.445	357.6	100.0	3.873
Pz-69	Pz-64	T-73	300	0.014	9.67	241.76	3.42	84.861	88.6	100.0	3.163
Pz-64	Pz-65	T-74	600	0.014	23.91	740.08	2.62	273.113	27.2	100.0	6.760
Pz-65	Pz-68	T-75	300	0.014	2.45	772.93	10.93	18.013	562.5	100.0	6.375
Pz-67	Pz-66	T-76	300	0.014	5.75	201.34	2.85	51.199	95.7	100.0	2.309
Pz-96	Pz-66	T-77	300	0.014	10.44	353.03	4.99	76.725	124.5	100.0	2.912
Pz-66	Pz-76	T-78	300	0.014	6.95	629.47	8.91	51.066	272.1	100.0	5.192
Pz-70	Pz-69	T-79	300	0.014	5.08	183.97	2.60	45.067	93.0	100.0	2.221
Pz-71	Pz-70	T-80	300	0.014	2.48	49.55	0.70	15.892	35.8	100.0	1.919
PzF-71	Pz-72	T-81	300	0.014	3.62	97.95	1.39	27.985	58.6	100.0	2.205
PzF-72	Pz-75	T-82	400	0.014	2.00	56.05	0.45	13.688	20.9	100.0	1.836
Pz-72	Pz-73	T-83	600	0.014	5.71	137.30	0.49	43.049	10.3	100.0	3.283
Pz-73	Pz-74	T-84	300	0.014	12.09	163.46	2.31	90.410	53.6	100.0	4.085
Pz-75	Pz-76	T-85	400	0.014	2.38	240.90	1.92	27.400	82.6	100.0	1.707
Pz-76	Pz-77	T-86	400	0.014	3.48	982.95	7.82	34.148	278.6	100.0	3.949
Pz-78	Pz-77	T-87	600	0.014	1.24	1,934.29	6.84	18.208	311.9	100.0	2.820
Pz-79	Pz-78	T-88	600	0.014	1.10	1,829.19	6.47	16.172	312.9	100.0	2.667
Pz-80	Pz-79	T-89	600	0.014	1.05	1,662.14	5.88	15.406	291.3	100.0	2.423
Pz-81	Pz-80	T-90	600	0.014	3.33	1,621.55	5.74	49.000	159.4	100.0	2.364
Pz-82	Pz-81	T-91	300	0.014	6.21	145.25	2.05	50.127	66.4	100.0	2.816
Pz-83	Pz-81	T-92	500	0.014	4.54	1,327.23	6.76	55.624	181.7	100.0	3.053
Pz-84	Pz-83	T-93	500	0.014	2.20	1,195.06	6.09	26.923	235.2	100.0	2.749
Pz-94	Pz-84	T-94	300	0.014	1.28	195.59	2.77	9.388	197.2	100.0	1.613
Pz-85	Pz-84	T-95	300	0.014	3.62	202.00	2.86	26.627	120.9	100.0	1.666
Pz-86	Pz-84	T-96	300	0.014	4.48	768.41	10.87	32.897	413.8	100.0	6.338
Pz-87	Pz-86	T-97	300	0.014	6.44	105.89	1.50	46.012	47.6	100.0	3.025
Pz-92	Pz-86	T-98	300	0.014	9.68	160.14	2.27	74.821	58.6	100.0	3.605

Start Node	Stop Node	Label	Diameter (mm)	Manning's n	Slope (Calculated) (%)	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Tractive Stress (Calculated) (Nm ²)	Flow/Capacity (Design) (%)	Depth/Rise (%)	Froude Number
Pz-88	Pz-86	T-99	300	0.014	2.50	425.31	6.02	18.384	306.4	100.0	3.508
Pz-89	Pz-88	T-100	300	0.014	2.61	315.91	4.47	19.209	222.6	100.0	2.606
Pz-90	Pz-89	T-101	300	0.014	3.12	269.88	3.82	22.939	174.1	100.0	2.226
Pz-91	Pz-90	T-102	300	0.014	5.75	160.35	2.27	48.488	76.2	100.0	2.606
Pz-93	Pz-92	T-103	300	0.014	8.74	53.22	0.75	44.355	20.5	100.0	3.654
PzF-95	Pz-94	T-104	300	0.014	5.32	71.31	1.01	33.810	35.2	100.0	2.812
Pz-95	Pz-96	T-105	300	0.014	2.81	286.01	4.05	20.640	194.5	100.0	2.359
Pz-97	Pz-95	T-106	300	0.014	1.54	151.45	2.14	11.343	138.9	100.0	1.249
Pz-98	Pz-97	T-107	300	0.014	1.67	120.85	1.71	14.794	106.7	100.0	1.055
Pz-99	Pz-98	T-108	300	0.014	1.69	71.37	1.01	13.354	62.6	100.0	1.488
Pz-100	Pz-101	T-110	300	0.014	2.32	179.70	2.54	17.029	134.5	100.0	1.482
Pz-101	Pz-102	T-111	300	0.014	1.51	266.56	3.77	11.087	247.3	100.0	2.199
Pz-102	Pz-103	T-112	300	0.014	2.31	361.78	5.12	16.954	271.4	100.0	2.984
Pz-103	Pz-104	T-113	1000	0.014	0.73	2,581.67	3.29	17.841	139.0	100.0	1.050
Pz-104	Pz-105	T-114	1000	0.014	1.05	2,648.81	3.37	25.604	119.1	100.0	1.077
Pz-106	Pz-105	T-115	1000	0.014	1.80	285.75	0.36	22.086	9.8	100.0	2.002
Pz-107	Pz-106	T-116	1000	0.014	1.72	159.69	0.20	16.512	5.6	100.0	1.918
Pz-105	Pz-108	T-117	1000	0.014	0.90	3,055.13	3.89	22.132	147.7	100.0	1.242
Pz-109	Pz-108	T-118	300	0.014	1.80	190.54	2.70	13.252	161.7	100.0	1.572
Pz-108	Pz-110	T-119	1000	0.014	1.11	3,355.40	4.27	27.128	146.5	100.0	1.364
Pz-110	Pz-2	T-120	1000	0.014	0.34	3,433.40	4.37	8.374	269.9	100.0	1.396
Pz-C	Pz-54	T-121	300	0.014	1.80	139.36	1.97	13.230	118.3	100.0	1.149
Pz-Z	Pz-56	T-122	300	0.014	2.59	122.59	1.73	22.645	86.8	100.0	1.656
Pz-14	D	T-123	1000	0.014	4.48	11,395.47	14.51	109.760	247.4	100.0	4.633
Pz-48	Pz-47	TP-47	1000	0.014	0.08	1,814.58	2.31	1.958	294.9	100.0	0.738

Nota. Tabla de resultados generados del modelo hidráulico del barrio “La Colina”. Elaborado por: Los autores, a través del software SewerCAD.

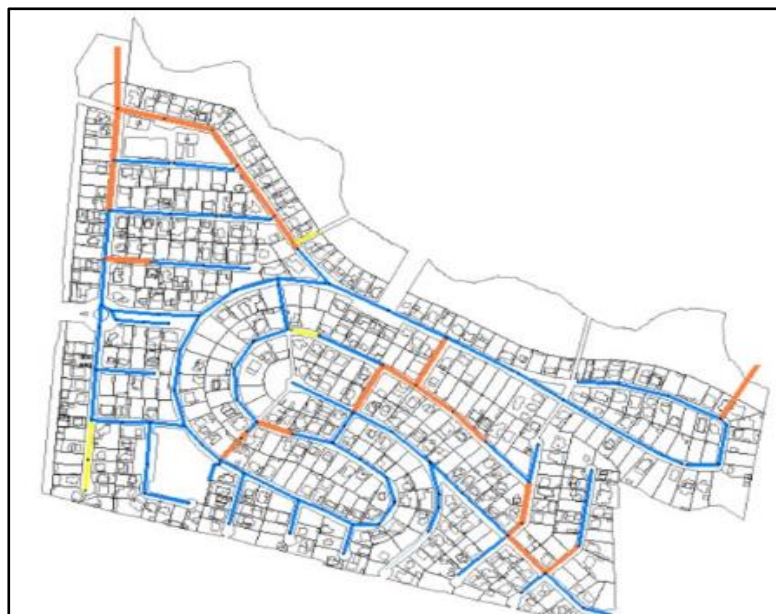
• **Velocidad**

Según lo establecido por la (EMAAP-Q, 2009), los tramos señalados de color amarillo son menores a 0.45 m/s, mientras que, los tramos marcados de color azul son menores a la velocidad máxima establecida de 6 m/s y los de color naranja representan los tramos que exceden el rango permitido.

Dicho esto, 4 tramos de tubería no cumplen con la velocidad mínima, 23 tramos de tubería exceden el rango permitido y 96 tramos de tubería cumplen con la velocidad máxima establecida.

Figura 45.

Resultados generados de velocidad, a partir del software SewerCAD.



Nota. En la figura se muestran los tramos de tuberías marcados con el color atribuidos, según el valor de velocidad mínima y máxima, estos criterios se establecieron en base a la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores, a través del software SewerCAD.

Tabla 37.

Tabla de tramos de tubería con velocidades mínimas y máximas, las mismas que no cumplen con el rango establecido, según la EMAAP-Q, 2009.

Tramos de tubería con velocidades máximas y mínimas (0.45-6) m/s	
Tramos de tubería con velocidades <a 0.45 m/s.	T-82, T-24, T-115, T-116
Tramos de tubería con velocidades > (0.45-6) m/s.	T-123, T-18, T-17, T-19, T-20, T-9, T-21, T-22, T-23, T-6, T-55, T-75, T-72, T-78, T-86, T-29, T-87, T-88, T-92, T-92, T-96, T-99, T-39

Nota. Tabla de tramos de tuberías que no cumplen con el criterio establecido recomendado por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores.

- **Esfuerzo cortante**

Para el análisis del esfuerzo cortante se tomó el valor mínimo sea 1.0 N/m^2 , de color rosado están los tramos de tubería que tienen valores $> 1.0 \text{ N/m}^2$ y de color verde los tramos con valores $< 1.0 \text{ N/m}^2$; solamente el tramo T-47 excede el 1.0 N/m^2 .

Figura 46.

Resultados generados de esfuerzo cortante medio, a partir del software SewerCAD.



Nota. En la figura se muestran los tramos de tuberías marcados con el color atribuido, según el valor de esfuerzo cortante, estos criterios se establecieron en base a la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores, a través del software SewerCAD.

- **Froude**

En el caso del número de Froude se tomó en cuenta el tipo de flujo que se transporta por el conducto, considerando $Fr > 1$, flujo supercrítico y $Fr < 1$, siendo flujo subcrítico. De esta forma, los tramos de color café conducen un flujo subcrítico y por otro lado los tramos de color

negro conducen flujo supercrítico. En total se obtuvieron 9 tramos de tubería, las cuales transportan flujo subcrítico y 114 tramos de tubería con flujo supercrítico.

Tabla 38.

Tabla de tramos de tubería con valores de Froude <1 , según la EMAAP-Q, 2009.

Tramos de tubería con flujo subcrítico ($Fr < 1$)
T-11, T-46, T-47, T-53, TP-47, T-57, T-59, T-66, T-42.

Nota. Tabla de tramos de tuberías que no cumplen con el criterio establecido recomendado por la

Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores

Figura 47.

Resultados generados de número de Froude, a partir del software SewerCAD.



Nota. En la figura se muestran los tramos de tuberías marcados con el color atribuidos, según el valor de número de Froude, estos criterios se establecieron en base a la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores, a través del software SewerCAD.

- **Capacidad hidráulica**

Q/Q_0

Esta relación no debe exceder el 80 % de la capacidad hidráulica, ya que es la relación entre el caudal de diseño y el caudal en sección llena, este sistema al ser combinado no se encuentra operando en condiciones normales, es decir, se presentan tramos de tubería que superan su capacidad máxima; a continuación, se representa de color café los tramos que superan esta condición y de color celeste los tramos que operan en condiciones normales.

Figura 48.

Resultados generados de la relación hidráulica Q/Q_0 , a partir del software SewerCAD



Nota. En la figura se muestran los tramos de tuberías marcados con el color atribuidos, según el valor capacidad hidráulica, la misma que no debe sobrepasar el 80%, estos criterios se establecieron en base a la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores, a través del software SewerCAD.

De los 123 tramos, 38 tramos están operando en condiciones normales, es decir no superan el 80 % de la capacidad hidráulica.

Tabla 39.

Tabla de tramos de tubería de la relación hidráulica Q/Q_0 , la cual considera 80 % como capacidad hidráulica, según la EMAAP-Q, 2009.

Tramos de tubería $Q/Q_0 < 80$ %
T-16, T-15, T-14, T-12, T-13, T-24, T-45, T-46, T-48, T-3, T-49, T-50, T-51, T-115, T-116, T-54, T-59, T-61, T-64, T-65, T-70, T-71, T-80, T-81, T-82, T-83, T-84, T-26, T-30, T-104, T-108, T-91, T-102, T-97, T-98, T-103

Nota. Tabla de tramos de tuberías que no cumplen con el criterio establecido recomendado por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, 2009. Elaborado por: Los autores.

Con los resultados obtenidos tanto en la modelación hidráulica del escenario C como en la hoja de calculo se determina que el sistema no se encuentra operando en condiciones normales, excediendo e incumpliendo con los rangos establecidos por la normativa utilizada.

CONCLUSIONES

De acuerdo con la información proporcionada sobre los consumos de agua potable en el periodo de un año (2022-2023) del barrio “La Colina”, se estimó una población de 3506 habitantes a partir del número de usuarios registrados, estableciendo que la zona del proyecto es residencial y comercial, debido a que cuenta con viviendas unifamiliares y multifamiliares, además de comercios como restaurantes y almacenes.

Por medio de la información del levantamiento topográfico, se tienen pendientes altas en las calles transversales y pendientes bajas en las principales, las cuales están compuestas principalmente de asfalto, esto se debe a la topografía del terreno. Por medio de los datos catastrados se verificó que la red cuenta con cambios de sección de diámetros mayores a menores en dirección del flujo, esto se presenta en las calles secundarias, mientras que en las calles principal se tienen diámetros de 1000 mm en dirección a la descarga. Estos cambios bruscos de sección afectan en la eficiencia hidráulica de la red, la misma es analizada de forma técnica en base a los criterios y parámetros establecidos en la normativa de la EMAAP-Q, 2009 y también las normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones mayores a 1000 habitantes (CPE INEN 5). Este análisis exhaustivo permite conocer y determinar el comportamiento actual del sistema de alcantarillado con la finalidad de plantear alternativas de mejora.

El barrio “La Colina” cuenta con un sistema de alcantarillado combinado que fue construido en el año 1982, a la fecha la red ya ha excedido su tiempo de vida útil, mediante visitas en campo se evaluó el sistema, se determinó que el sistema existente ya no opera en condiciones óptimas debido a su prolongado tiempo de funcionamiento, generando diversos problemas como infiltración, fugas, desbordamientos en las calles, etc. Estas fallas se presentan debido a que el 65% de tramos de tuberías exceden el porcentaje del 80 % de capacidad hidráulica, también el 3 % siendo 4 tramos de tubería correspondientes a la calle Loja, calle

Loja y Pasaje. El Carmen y el tramo B de la calle Guayas no cumplen con el valor de velocidad máxima de 6 m/s, estos tramos superan lo máximo, obteniendo respectivamente valores de velocidad de 10.29 m/s, 8.32 m/s, 7.74 m/s y en la descarga 6.01 m/s. En el caso de velocidad mínima, solamente el tramo del pozo 40 al 44 de la calle Loja tiene valores menores a los establecido de 0.18 m/s siendo como mínimo 0.45 m/s para garantizar el criterio de autolimpieza. Además, en 17 tramos de tubería se obtuvo pendientes menores al 1%, representando el 14%, asimismo considerando el criterio de esfuerzo cortante se obtuvo que el tramo de la Calle Loja del pozo 40 al 44 tienen valores de esfuerzo cortante medio de 0.15 N/m², incumpliendo con lo establecido de 1.0 N/m²; la mayor parte de tramos de tubería se encuentra en condiciones supercríticas con numero de Froude >1, representando el 70% de la red existente.

Mediante la evaluación de la situación actual del sistema de alcantarillado existente del barrio “La Colina”, de la parroquia de Sangolquí, cantón Rumiñahui, y mediante el modelo hidráulico construido en el software SewerCAD, se analizó su comportamiento, obteniendo que los problemas que influyen en su funcionamiento se relacionan con la baja capacidad hidráulica de la red, generando valores superiores a lo establecido en ciertos tramos críticos.

RECOMENDACIONES

La red de alcantarillado combinado del barrio “La Colina” es de tubería de concreto, en la actualidad este tipo de material ya no es utilizado, ya que genera problemas de infiltración y fugas, afectando a los residentes del lugar, a partir de esto se recomienda cambiar el tipo de material de la tubería en toda la red y cambiar en los tramos donde se consideren críticos el diámetro de la tubería, y las pendientes.

Una vez finalizada la modelación de la red bajo distintos escenarios de operación, se demostró que lo recomendable es disponer de un sistema de alcantarillado separado, de esta forma se podrá gestionar de mejor manera los aportes sanitarios y pluviales, reduciendo los problemas que se pueden presentar en el sistema durante máximas precipitaciones.

Finalmente, se podrá realizar correcciones en los parámetros de diseño de los pozos y tuberías que presenten afectaciones físicas y funcionales, a partir de los resultados obtenidos mediante el uso de SewerCAD, lo cual garantiza un servicio de alcantarillado óptimo y funcional a los usuarios del barrio “La Colina”.

REFERENCIAS

Aportesingecivil. (2024). *Bentley SewerCAD 2024 (v8i)*. <https://aportesingecivil.com/bentley-sewercad-2024/>

Banco Mundial. (2017). *Agua y Salud: Cobertura Sanitaria Universal (CSU)*.
<https://www.worldbank.org/en/topic/water/overview>

Calle, A & Campos, E. (2023). *Diseño del Sistema de Alcantarillado Separado de la Lotización Campos Verdes, Ubicada en la Parroquia Cotogchoa, Cantón Rumiñahui, Provincia Pichincha*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/25304/1/TTS1345.pdf>

CPE-INEN-5. (1992). *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*.
Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN.
https://inmobiliariadja.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/09/normas_disec3b1o_cpe_inen_5_parte_9-1_1992-mas-de-1000-hab.pdf

Chinchilima, J.M. (2016). *Estudio y Diseño de Alcantarillado Combinado para el Barrio la Florida II, Parroquia Macas del Cantón Morona, Provincia de Morona Santiago*.
[Tesis de pregrado, Universidad Católica de Cuenca].
<https://dspace.ucacue.edu.ec/items/b817b9ab-55ae-447d-a973-e714dee21080>

Cuello, P. B. (octubre de 2020). *Diseño del Sistema de Alcantarillado y Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el Barrio la Joya I, Parroquia de Cutuglagua, Cantón Mejía, Provincia de Pichincha*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19356>

Empresas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado EMAAP-Q. (2009). *Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q, 2009*.

[https://www.aguaquito.gob.ec/Alojamientos/PROYECTO%20LA%20MERCED/ANEXO%202%20NORMAS ALCANTARILLADO EMAAP.pdf](https://www.aguaquito.gob.ec/Alojamientos/PROYECTO%20LA%20MERCED/ANEXO%202%20NORMAS%20ALCANTARILLADO%20EMAAP.pdf)

GADMUR. (2022). BASES DE DISEÑO. En Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui. DAPA.

Krochin, S. (1986). *Diseño Hidráulico*. Editorial Escuela Politécnica Nacional.

Lifeder (2020). *Investigación descriptiva: características, técnicas, ejemplos*. Jervis. T.
<https://www.lifeder.com/investigacion-descriptiva/>

Llingui, J & Tinoco, J. (2022). *Diseño del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado para el Barrio el Rosario, Parroquia Cotogchoa, Cantón Rumiñahui, Provincia de Pincha*. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23004>

Newman, G. D. (2006). El razonamiento inductivo y deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias experimentales y sociales. *Laurus Revista Educacional*, 180-205. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=76109911>

Oscullo, A & Tipán, D. (2016). *Evaluación y Rediseño del Sistema de Alcantarillado Sanitario y Planta de Tratamiento para la Urbanización Bohíos de Jatumpamba, Cantón Rumiñahui, Provincia Pichincha*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16780>

Pulamarín, L.P. (2017). *Diseño del Sistema de Alcantarillado Sanitario y Tratamiento de sus aguas Residuales para la Localidad de El Taxo perteneciente a la Parroquia Cotogchoa, Cantón Rumiñahui, Provincia de Pincha*. [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17258>

Rumiñahui Gobierno Municipal. (2021). *Dirección de Agua Potable y Alcantarillado (DAPA)*. <https://ruminahui.gob.ec/tramites/direccion-de-agua-potable-y-alcantarillado/>

Toapanta, G. (2016). *Estudio y Diseño del Sistema de Alcantarillado Sanitario y Planta de Tratamiento para los habitantes del sector La Capetilla, Caserio El Placer, Cantón Quero, Provincia Tungurahua*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/08ff6728-519c-4dff-b43c-1046e7b8a7f2>