



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO PARA LA ETAPA I Y
II DEL BARRIO “COMITÉ AGROPECUARIO CONSTRUCTIVO PUEBLO EN
DESARROLLO Y PROGRESO” PARROQUIA GUAMANÍ, CANTÓN QUITO,
PROVINCIA DE PICHINCHA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingenieros Civiles

AUTORES: Denis Lael Ante Lasinquiza
Walter Edison Villarreal Aguirre

TUTORA: Belén Shakira Tapia Montero

Quito, Ecuador
2026


CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Denis Lael Ante Lasinquiza con documento de identificación N° 1752430973 y Walter Edison Villarreal Aguirre con documento de identificación N° 1717439648; 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, 13 de febrero del 2026

Atentamente,



Denis Lael Ante Lasinquiza
1752430973



Walter Edison Villarreal Aguirre
1717439648


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

Nosotros, Denis Lael Ante Lasinquiza con documento de identificación N° 1752430973 y Walter Edison Villarreal Aguirre con documento de identificación N° 1717439648 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: “Diseño del sistema de alcantarillado combinado para la etapa I y II del barrio “Comité Agropecuario Constructivo Pueblo en Desarrollo y Progreso” parroquia Guamaní, cantón Quito, provincia de Pichincha” el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, 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, 13 de febrero del 2026

Atentamente,



Denis Lael Ante Lasinquiza
1752430973



Walter Edison Villarreal Aguirre
1717439648

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Belén Shakira Tapia Montero con documento de identificación N° 0250072170, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO PARA LA ETAPA I Y II DEL BARRIO “COMITÉ AGROPECUARIO CONSTRUCTIVO PUEBLO EN DESARROLLO Y PROGRESO” PARROQUIA GUAMANÍ, CANTÓN QUITO, PROVINCIA DE PICHINCHA, realizado por Denis Lael Ante Lasinquiza con documento de identificación N° 1752430973 y Walter Edison Villarreal Aguirre con documento de identificación N° 1717439648, 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, 13 de febrero del 2026

Atentamente,



Ing. Belén Shakira Tapia Montero, MSc.
0250072170

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación a Dios, quien me otorgo la sabiduría necesaria y fortaleza para culminar esta meta.

A mi padre, Fausto, quien ha sido mi principal referente y ejemplo en mi crecimiento espiritual y profesional. Su historia de vida, forjada por el conocimiento y la integridad, ha sido una guía constante, y fue el pilar fundamental por la cual nació en mí el amor por la Ingeniería Civil.

A mi madre, Ermelinda, quien es una mujer maravillosa de fe y virtud que siempre estuvo ahí apoyándome en cada etapa de este proceso, por enseñarme con su gran ejemplo de honor y perseverancia a no rendirme ante cualquier adversidad.

A mis hermanos Gema y Stalin, que me han acompañado durante esta larga travesía, motivándome para alcanzar este bello sueño.

Denis Lael Ante Lasinquiza

DEDICATORIA

Gracias a Dios por darme la vida y la luz para guiarme en la oscuridad.

A mis padres Nelson Bolívar y Dolores Beatriz, por acompañarme en los momentos difíciles y ser la piedra inicial de la reconstrucción de mi vida con su apoyo y amor infinito a mi persona.

A mis hermanos Ana Lucia y Clever que complementan mi vida, Liliana y Benjamín por su apoyo constante, palabras de aliento y a mi tío Carlos por darme la visión a lo que más me gusta la Ingeniería Civil.

Walter Edison Villarreal Aguirre

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por su amor incondicional, por su grandioso poder, enseñanza y consuelo en los momentos más duros.

Mi profundo agradecimiento a nuestra tutora la Ing. Belén Shakira Tapia Montero, por su valiosa orientación y conocimientos aportados durante el desarrollo de este proyecto.

A la Universidad Politécnica Salesiana y a todos los docentes que forman parte de la carrera de ingeniería Civil, por guiarnos con dedicación y compromiso en el valioso camino del conocimiento, aportando las herramientas necesarias que son esenciales para nuestra formación y desarrollo profesional y personal.

Finalmente, expreso un profundo agradecimiento a mi familia y a todas aquellas personas que hicieron posible avanzar y concretar con éxito este proyecto, convirtiéndose en un respaldo fundamental a lo largo de todo el proceso universitario. También a un amigo especial, Kevin gracias por impulsarme a seguir adelante.

Denis Lael Ante Lasinquiza

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a mis padres y familiares, por sus esfuerzos en todo sentido y motivación constante en este largo camino universitario.

Mi especial gratitud a mi tutora por su orientación técnica, conocimientos y recomendaciones y a la universidad por volver a darme la oportunidad de una formación académica y los elementos necesarios para mi desarrollo profesional.

Finalmente, agradezco a mi familia y todos mis conocidos que fueron apoyo para culminación satisfactoria de este proyecto.

Walter Edison Villarreal Aguirre

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 Problema de estudio	3
1.2.1 Antecedentes	3
1.2.2 Importancia y alcance.....	4
1.2.3. Delimitación	6
1.3 Justificación.....	8
1.4. Objetivos	10
1.4.1 Objetivo general	10
1.4.2. Objetivos específicos.....	10
CAPÍTULO II	11
MARCO TEÓRICO	11
2.1 Bases de diseño	11
2.1.1 Población actual	11
2.1.2 Población futura	11
2.1.3 Estimación de R.	14
2.1.4 Coeficiente de simultaneidad (M).....	15
2.1.5 Áreas tributarias	16
2.1.6 Dotación	16
2.2 Caudales de diseño	16
2.2.1 Caudal de diseño sanitario QS	17
2.2.2 Caudal pluvial de diseño.	19

2.3 Estructuras de diseño.....	24
2.3.1 Estructuras de revisión	24
2.3.2 Pozos de registro	24
2.3.3 Pozos de salto	25
2.4 Parámetros hidráulicos de diseño	27
2.4.1 Velocidad mínima	27
2.4.2 Velocidad máxima.....	27
2.4.2 Pendiente máxima y mínima	27
2.4.4 Profundidad mínima.....	27
2.4.5 Diámetro interno mínimo	28
2.4.6 Esfuerzo tractivo	28
2.4.7 Relaciones Hidráulicas	29
2.4.8 Trazado de la red	30
2.5 Modelación en software	31
2.5.1 Software SewerGEMS	31
2.5.2 Modelación.....	31
CAPÍTULO III	33
METODOLOGÍA	33
3.1 Tipo de Investigación	33
3.2 Método	33
3.3 Técnicas de recolección de información	34
3.4 Proceso Técnico de Ingeniería Civil	34
3.4.1 Análisis de información	34
3.4.2 Recopilación de datos.....	35
3.4.3 Elaboración de la planimetría.....	35

3.4.4 Prediseño en Excel	35
3.4.5 Modelamiento en SewerGEMS	35
CAPÍTULO IV	36
BASES DE DISEÑO	36
4.1 Prediseño en Excel	36
4.2 Criterios de diseño.....	36
4.2.1 Periodo de diseño	36
4.2.2 Población actual	36
4.2.3 Población Futura	39
4.2.4 Dotación	41
4.2.5 Definición de área de influencia.....	42
4.2.6 Caudal sanitario.....	43
4.2.7 Caudal pluvial	46
4.2.8 Datos de diseño	47
4.3 Características físicas	49
4.4 Estructuras de diseño.....	49
4.5 Parámetros de diseño.....	50
4.5.1 Descripción del cálculo.	50
4.6 Trazado de la red.....	69
4.7 Modelación en el software SewerGEMS	70
4.7.1 SewerGEMS.....	70
4.7.2 Características para el modelado hidráulico.....	70
4.7.3 Diseño en SewerGEMS.....	74
4.8. Resultados de la red combinada.	75
4.8.1 Observación del perfil	77

4.8.2 Parámetros sewerGEMS.	78
4.8.3 Análisis de Diámetros	80
4.8.4 Análisis de Pendientes y velocidades.....	82
4.8.5. Análisis de pozos de salto y profundidad.....	83
4.8.6 Comparación de Análisis hidráulicos con Microsoft Excel y SewerGEMS	85
CONCLUSIONES.....	90
RECOMENDACIONES.....	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
ANEXOS	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Límites del proyecto</i>	8
Tabla 2 <i>Límites del proyecto etapa II</i>	8
Tabla 3 <i>Coficiente de retorno de aguas residuales.</i>	15
Tabla 4 <i>Aportes máximos por conexiones erradas con sistema pluvial.</i>	18
Tabla 5 <i>Coficiente de infiltración.</i>	19
Tabla 6 <i>Coficientes de escorrentía para un área urbana</i>	20
Tabla 7 <i>Valores de m para la fórmula de Kerby</i>	23
Tabla 8 <i>Periodos de retorno</i>	23
Tabla 9 <i>Pozos de caída Tipo I.</i>	25
Tabla 10 <i>Pozos de caída Tipo II</i>	25
Tabla 11 <i>Profundidades mínimas para tuberías.</i>	28
Tabla 12 <i>Relaciones hidráulicas para conductos circulares.</i>	29
Tabla 13 <i>Encuestas realizadas en CACPUDEP en agosto del 2025</i>	37
Tabla 14 <i>Tasa de crecimiento demográfico de las parroquias de Quito.</i>	37
Tabla 15 <i>Crecimiento poblacional de 1990-2022 para Guamaní.</i>	38
Tabla 16 <i>Método Aritmético</i>	39
Tabla 17 <i>Cálculo del método geométrico</i>	40
Tabla 18 <i>Cálculo del método exponencial</i>	40
Tabla 19 <i>Resumen de parámetros de diseño.</i>	48
Tabla 20 <i>Descripción de los pozos en el proyecto.</i>	50
Tabla 21 <i>Diseño hidráulico en Excel del tramo principal (T1-T9). Columna N° 1 - Columna N° 21</i>	52
Tabla 22 <i>Diseño hidráulico en Excel del tramo principal (T1-T9). Columna N° 22 - Columna N° 42.</i>	53
Tabla 23 <i>Diseño hidráulico en Excel del tramo principal (T1-T19). Columna N° 1- Columna N° 21.</i>	54
Tabla 24 <i>Diseño hidráulico en Excel del tramo principal (T1-T19). Columna N° 22- Columna N° 42.</i>	55

Tabla 25 <i>Diseño hidráulico analizado para el cálculo. Columna N° 1- Columna N° 21.</i>	56
Tabla 26 <i>Diseño hidráulico analizado para el cálculo. Columna N° 22 -Columna N° 41.</i>	57
Tabla 27 <i>Derivación de relaciones hidráulicas</i>	65
Tabla 28 <i>Catálogo de tuberías de alcantarillado.</i>	72
Tabla 29 <i>Resultados obtenidos para todos los tramos del proyecto mediante el software</i>	79
Tabla 30 <i>Diámetros y longitudes máximos</i>	80
Tabla 31 <i>Pendientes y velocidades en Excel.</i>	82
Tabla 32 <i>Profundidad y salto de pozos</i>	84
Tabla 33 <i>Comparación de resultados hidráulicos para la red principal (Excel-SewerGEMS).</i>	86
Tabla 34 <i>Comparación de resultados hidráulicos para los tramos secundarios (Excel-SewerGEMS).</i>	87
Tabla 35 <i>Comparación de resultados hidráulicos para los tramos terciarios (Excel-SewerGEMS).</i>	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Área delimitada del proyecto “CACPUDEP”</i>	6
Figura 2 <i>Plano del barrio</i>	7
Figura 3 <i>Corte trasversal de un pozo registro</i>	24
Figura 4 <i>Pozo de salto tipo I</i>	26
Figura 5 <i>Comparación de métodos</i>	41
Figura 6 <i>Contribución de áreas de aportación</i>	42
Figura 7 <i>Conexiones de colectores en el barrio</i>	69
Figura 8 <i>Módulo de resolución numérica del programa</i>	71
Figura 9 <i>Bibliotecas del software SewerGEMS</i>	73
Figura 10 <i>Proyecto integrado en la plataforma SewerGEMS</i>	75
Figura 11 <i>Perfil de tramo crítico</i>	76
Figura 12 <i>Colector de la red principal</i>	77
Figura 13 <i>Perfil de la red principal en el proyecto</i>	78

RESUMEN

Para solucionar la insalubridad de las aguas residuales que tiene el barrio CACPUDEP ubicado en la parroquia Guamaní cantón Quito , se diseñó el sistema de alcantarillado combinado que beneficie a sus habitantes con un excelente tratamiento de aguas negras , Se realizo la recopilación de información para el análisis hidráulico del sistema tanto topográfico como socio-económico y problemas existente y colaterales de barrios aledaños para la vialidad del sistema de alcantarillado, con la diseño en el programa numérico en EXCEL para su optimización de materiales con longitudes y diámetros más comerciales , esta proyecto será para beneficio de sus habitantes ,bajo la utilización de normas municipales de la EMAAPS-2009 y su comprobación en el programa SEWERGEMS el cual diseña el sistema de alcantarillado en función de datos exactos caudal de diseño longitudes, diámetros, cotas , con sus respectivos planos.

PALABRAS CLAVES: topográficos, residuales, insalubridad, caudales.

ABSTRACT

To address the unsanitary wastewater conditions in the CACPUDEP neighborhood, located in the Guamaní parish of Quito canton, a combined sewer system was designed to benefit its residents with excellent wastewater treatment. Information was gathered for the hydraulic analysis of the system, including topographic, socio-economic, and existing and collateral problems in neighboring communities related to the sewer system's infrastructure. The design was then developed using Excel to optimize material usage with more readily available lengths and diameters. This project will benefit the residents, adhering to EMAAPS-2009 municipal standards and verifying its design using SEWERGEEMS software, which designs the sewer system based on precise data such as design flow, lengths, diameters, and elevations, along with corresponding plans.

KEYWORDS: topography, residual conditions, unsanitary conditions, flow rates.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1 Introducción

El Barrio Comité Agropecuario Constructivo Pueblo en Desarrollo y Progreso (CACPUDEP), ubicado en la parroquia Guamaní del cantón Quito, enfrenta actualmente limitaciones en la gestión de sus aguas residuales. Según las encuestas aplicadas a los habitantes de las Etapas I y II, la comunidad dispone únicamente de pozos sépticos como sistema de tratamiento doméstico. Sin embargo, estos presentan una vida útil superada y una capacidad de almacenamiento insuficiente, lo que ocasiona constantes desbordamientos y problemas de insalubridad.

De acuerdo con la información proporcionada por la directiva barrial en la memoria técnica existente, el área considerada para la implementación de un sistema de alcantarillado combinado abarca aproximadamente 11,4 hectáreas. Esta delimitación se establece con base en la dinámica de crecimiento poblacional del sector, proyectando un incremento significativo en el número de habitantes en los próximos años. Dichas proyecciones se sustentan en los datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), según lo indicado en (Ecuador en cifras, 2024), el cual constituye una referencia oficial para la planificación de infraestructuras en función del desarrollo urbano.

Asimismo, la presencia de lotes baldíos dentro del área de estudio anticipa un proceso progresivo de urbanización que incrementará la demanda de servicios básicos, especialmente del alcantarillado sanitario y pluvial. La ausencia de esta infraestructura podría derivar en graves

consecuencias ambientales y de salud pública, tales como la contaminación del suelo y de cuerpos de agua subterráneos, la proliferación de roedores, y el deterioro de las condiciones de habitabilidad del sector.

Adicionalmente, la localización del barrio en las faldas del volcán Atacazo lo hace vulnerable a eventos de inundación y deslizamientos durante épocas de lluvias intensas. El volumen de escorrentía superficial proveniente de las zonas altas agrava la situación, generando acumulaciones de agua y posibles desbordamientos hacia las áreas bajas del sector. Esta condición evidencia la necesidad de intervención técnica y de coordinación institucional para mitigar los riesgos asociados.

El considerable volumen de caudal pluvial y sanitario proveniente de las zonas altas podría agravar la problemática descrita en el párrafo anterior, afectando principalmente a las áreas más cercanas y exigiendo una mayor intervención de la autoridad competente en caso de desastres.

Frente a esta problemática, la directiva barrial del CACPUDEP gestionó el apoyo de la Universidad Politécnica Salesiana con la finalidad de elaborar el Proyecto Técnico de Diseño del Sistema de Alcantarillado Combinado para las Etapas I y II. Esta iniciativa refleja el compromiso comunitario y académico por desarrollar una solución integral, sostenible y conforme a la normativa vigente, que contribuya a fortalecer la calidad de vida de los pobladores del sector y la protección del entorno natural.

1.2 Problema de estudio

El sistema de alcantarillado combinado es vital para el desarrollo de las comunidades, ya que un manejo inadecuado de las aguas servidas de los sectores puede provocar insalubridad y por ende enfermedades que afectarían a las poblaciones cercanas por donde se evacuan estas aguas residuales, según los estudios realizados por la (O.M.S, 2024), es por ello que una buena planificación para la descarga de estas aguas es fundamental y prioritario para los habitantes, tomando en cuenta también, que es responsabilidad de las autoridades el brindar estos servicios.

Tomando en cuenta que el Barrio Agropecuario Constructivo “Pueblo en Desarrollo y Progreso” (CACPUDEP) se encuentra en vías de regularización y aun no cuentan con los servicios básicos legalizados, es de vital importancia la implementación del sistema de alcantarillado combinado, según lo establece la resolución mediante la (EPMAPS-QUITO, 2023).

1.2.1 Antecedentes

Los habitantes del Barrio Agropecuario Constructivo “Pueblo en Desarrollo y Progreso” (CACPUDEP) para el manejo de las aguas servidas en la actualidad cuentan con pozos sépticos según las encuestas realizadas a los habitantes de la I y II Etapa del Barrio, y tomando en cuenta que su vida útil y capacidad de los mismos ya supera el límite de almacenamiento de las aguas residuales, se ve en la necesidad de contar con el diseño de alcantarillado combinado, acorde con los lineamientos establecidos por la EMAAP-Q en la norma Normativa Técnica para un adecuado manejo de las aguas residuales del sector evitando así enfermedades gastrointestinales, que afecten a los habitantes de la localidad.

La presencia de lotes baldíos en el sector es un factor importante, ya que su futuro poblamiento incrementará la demanda del servicio de alcantarillado combinado. La carencia de

este servicio, además, podría acarrear graves problemas de salubridad para la comunidad. Adicionalmente, esta problemática involucra a las autoridades municipales, dada la vulnerabilidad del barrio a inundaciones y deslaves por su ubicación en las faldas del volcán Atacazo.

El considerable volumen de caudal pluvial y sanitario proveniente de las zonas altas podría agravar la problemática descrita en el párrafo anterior, afectando principalmente a las áreas más cercanas y exigiendo una mayor intervención de la autoridad competente en caso de desastres naturales.

En atención a lo anteriormente expuesto, el proyecto es el objetivo fundamental la implementación del sistema de alcantarillado combinado para las etapas I y II del Barrio CACPUDEP, con el fin de satisfacer esta necesidad básica de la comunidad.

1.2.2 Importancia y alcance

La falta de un sistema de alcantarillado en el barrio representa una problemática que afecta directamente a la calidad de vida e higiene de los pobladores del sector, al no contar con infraestructura apropiada para la eliminación de aguas residuales genera prácticas de disposición inadecuada de excretas y aguas grises, las cuales contaminan el subsuelo y aumentan el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua.

Los malos olores provenientes de la descomposición de las aguas residuales al aire libre generan gases malolientes como el sulfuro de hidrógeno, afectando la calidad del aire, el bienestar de los residentes, a la vez, que también da paso a la proliferación de bacterias, por las aguas estancadas y los desechos orgánicos en descomposición que proporcionan hábitats ideales para la reproducción de insectos, roedores, otras plagas que pueden transmitir enfermedades. Otra problemática que se puede evidenciar es que al utilizar pozos sépticos para la evacuación de las

aguas servidas pueden contaminar algún acuífero existente en el subsuelo, especialmente durante periodos de lluvias intensas, causando encharcamientos y dificultando la movilidad, evidenciando así la necesidad urgente de una solución técnica integral.

El diseño de sistema de alcantarillado garantizará a los residentes el acceso a servicios que les corresponde por derecho, según el Art. 4 numeral 2 que menciona (Defensoría del pueblo, 2024) el “Derecho a la protección de la vida, salud y seguridad en el consumo de bienes, servicios básicos, así como a la satisfacción de las necesidades fundamentales” norma que protege la salud, accesibilidad, ya que mejorará significativamente y prolongará su calidad de vida al prevenir problemas de salud, y detener la contaminación ambiental existente.

El diseño del sistema de alcantarillado combinado del barrio para las etapas I y II que abarcan aproximadamente 18 manzanas, contempla la ubicación de los pozos, colectores y descargas, distancias respectivas mediante normativas municipales y el uso de un programa especializado en el cual se visualizará el modelo de flujo del sistema hidráulico para su optimización. La descarga final de las aguas servidas será hacia la quebrada Saguanchi.

Este sistema de alcantarillado combinado beneficiará directamente a los habitantes del Barrio CACPUDEP primera y segunda Etapa, con la implementación de este diseño, se convertirá al sector en un entorno más saludable y libre de contaminación, así como también, ayudará a la prevención de enfermedades infecciosas, a mejorar las condiciones de higiene en sus hogares, espacios públicos e indirectamente al medio ambiente local, al evitar la contaminación del suelo y a contribuir a la conservación del entorno natural.

1.2.3. Delimitación

El presente proyecto se desarrollará en el Barrio “Comité Agropecuario Constructivo Pueblo en Desarrollo y Progreso” (CACPUDEP) primera y segunda etapa, ubicado en la Parroquia de Guamaní, Cantón Quito, en un área aproximada de 11.4 hectáreas, con 384 habitantes hasta el momento de la inspección.

En la figura 1, se visualiza el área de influencia del proyecto y a su alrededor barrios legalizados del sur de Quito.

Figura 1

Área delimitada del proyecto “CACPUDEP”

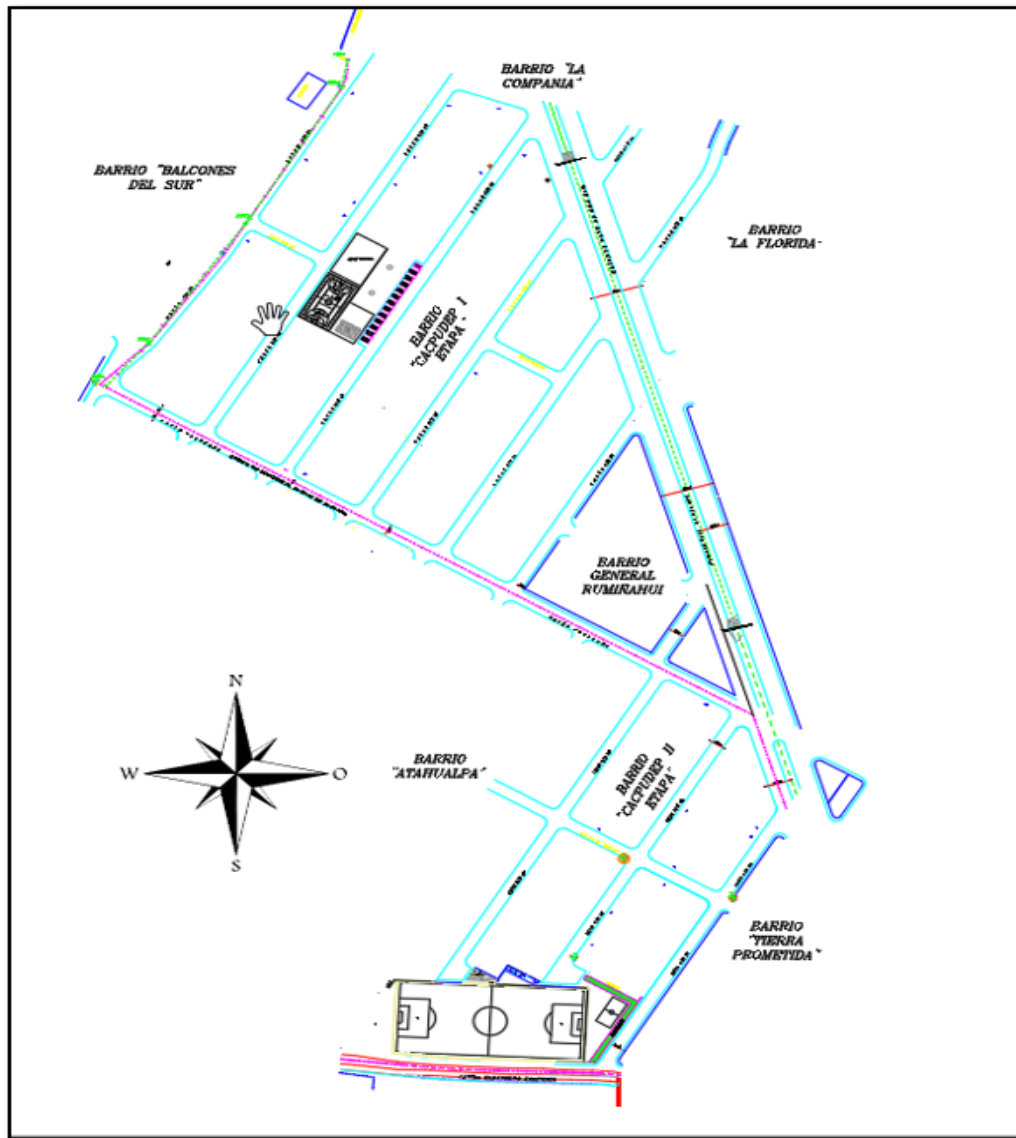


Nota. Sistema de Alta tensión eléctrico que atraviesa el barrio, (línea azul). Elaborado por: Los autores, a través de (ARGIS, 2025).

En la figura 2 se observa el esquema del proyecto con la distribución de manzanas, calles y barrios colindantes.

Figura 2

Plano del barrio



Nota. Visualización de las áreas del proyecto. Elaborado por: Los autores a través de software ACAD,2025.

La zona para implementar este proyecto se encuentra delimitada por:

Tabla 1*Límites del proyecto*

Puntos Cardinales	Calles o barrio
Norte	Barrio La Compañía
Sur	Calle Cotopaxi
Este	Barrio General Rumiñahui, calle SN37
Oeste	Barrio Balcanes Del Sur S/N 44

Nota. Calles que limitan la etapa I del Barrio. Elaborado por: Los Autores.

Tabla 2*Límites del proyecto etapa II*

Puntos Cardinales	Calles o barrio
Norte	Calle Cotopaxi
Sur	Camino Lastrada
Este	Barrio Tierra Prometida S/N 9
Oeste	Barrio Atahualpa

Nota. Calles que limitan la etapa II del Barrio. Elaborado por: Los Autores.

1.3 Justificación

En el presente proyecto se diseñará el sistema de alcantarillado combinado, infraestructura de vital importancia para el desarrollo urbano y sanitario del barrio CACPUDEP. La construcción de este sistema permitirá la captación adecuada de las aguas residuales y pluviales. Este barrio se encuentra en proceso de regularización y carece de servicios básicos legalizados, lo que hace necesario la implementación del sistema de alcantarillado, conforme lo establecido en la “NORMA

DE DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO PARA LA EMAAP-Q” (EMAAP-Q, 2009).

Es importante recalcar que un sistema de alcantarillado combinado tiene la doble funcionalidad de recolectar eficientemente tanto las aguas residuales generadas en los hogares como las aguas pluviales provenientes de las precipitaciones ya que estas últimas, serán canalizadas y evacuadas desde los barrios ubicados en las zonas topográficamente superiores al área donde se planifica la construcción del sistema.

La factibilidad del proyecto, en términos de recursos, se ve fortalecida por la colaboración con la Universidad Politécnica Salesiana para la elaboración del Proyecto Técnico. Esta alianza proporciona acceso a la experiencia técnica, al conocimiento especializado necesarios para diseñar un sistema eficiente y conforme a la normativa municipal vigente. Esta colaboración optimizara los recursos disponibles para las etapas futuras de implementación que define las bases técnicas y regulatorias para el desarrollo del proyecto, asegurando su viabilidad técnica y legal dentro del contexto local.

Este trabajo comprende la elaboración de un proyecto técnico integral para el diseño de un sistema de alcantarillado combinado y su modelación en el software especializado, destinado a la gestión eficiente de la evacuación de aguas servidas y pluviales en el Barrio “CACPUDEP” primera etapa y segunda etapa.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar el sistema de alcantarillado combinado del barrio “Comité Agropecuario Constructivo Pueblo en Desarrollo y Progreso”, analizando su correcto funcionamiento para que cumpla con la normativa vigente y su verificación en el software especializado.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar la información técnica proporcionada por la Directiva del Barrio CACPUDEP, mediante la revisión detallada de los documentos, datos necesarios, para establecer la información base y precisa de las condiciones del diseño de la red de alcantarillado combinado.

Aplicar las normas, criterios vigentes, revisando sus lineamientos técnicos, para que el diseño del sistema hidráulico cumpla con las regulaciones y que garantice su correcto funcionamiento.

Revisar la información topográfica base del proyecto para la obtención de datos a ser usados en el prediseño, mediante la planimetría y perfiles de la red de alcantarillado combinado, utilizando el software ACAD.

Diseñar la red de alcantarillado combinado para el Barrio CACPUDEP, mediante el uso del programa Excel, evaluando los caudales de diseño, diámetros y longitudes del sistema hidráulico, verificando el cumplimiento de la normativa vigente.

Modelar el sistema de alcantarillado mediante el uso del software especializado, comparando los resultados con los obtenidos del programa Excel, verificando así su correcto funcionamiento y validación de los cálculos en el diseño hidráulico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Bases de diseño

El sistema de alcantarillado según (Pérez Carmona, 2012) se define como “*el conjunto de conductos, estructuras destinadas a recibir, evacuar, conducir y disponer las aguas servidas; fruto de las actividades humanas, o las que provienen como fruto de la precipitación pluvial*”, con datos de diseño de alcantarillado combinado.

2.1.1 Población Actual

“*La población actual y futura servida por el proyecto puede estimarse a partir de los censos de población y completamente con información del número de suscriptores de diferentes servicios públicos, como por ejemplo de acueducto o energía*”. (López Cualla, 2003).

2.1.2 Población futura

“*La población futura se harán las proyecciones de crecimiento utilizando por lo menos tres métodos conocidos, proyección aritmética o geométrica. La población futura se escogerá finalmente tomando en consideración, aspectos económicos, geopolíticos y sociales*”. (INEN, 2012). A partir de este cálculo, se seleccionará el valor más crítico de los tres métodos de crecimiento poblacional.

2.1.2.1 Período de diseño

“El período de diseño o planeamiento, debe fijar las condiciones básicas del proyecto como la capacidad del sistema para atender la demanda futura, la densidad actual y saturación, la durabilidad de los materiales, equipos empleados, la calidad de la construcción.” (EPMAPS-QUITO, 2023).

2.1.2.2 Métodos de Crecimiento

Para la determinación de la proyección demográfica, se emplearán tres modelos métodos distintos. Estos permitirán estimar con precisión la población proyectada al cierre del horizonte de diseño.

2.1.2.2.1 Método Aritmético

“Si el aumento de la población es constante e independiente del tamaño de esta, el crecimiento es lineal. Si P es la población y T es el tiempo”. (López Cualla, 2003).

$$Pf = Pa * \left(1 + \frac{r * n}{100}\right) \quad (Ec. 1)$$

Donde:

Pa = Población actual

Pf = Población futura

r = Taza de crecimiento

n = Período de diseño

2.1.2.2.3. Método Exponencial

La proyección de datos se sustenta en la aplicación del método exponencial, el cual asume una tasa de crecimiento constante aplicada de forma constante. A diferencia de otros métodos de interpolación, la variante exponencial considera que los recursos o individuos se capitalizan de manera permanente.

$$Pf = Pa * e^r * n \quad (Ec. 3)$$

Donde:

Pa = Población actual

Pf = Población futura

r = Taza de crecimiento

n = Periodo de diseño

e = exponencial

2.1.2.2.2 Método Geométrico

“Los datos son ajustados a la realidad, la población de diseño es calculada a base de la población presente determinada mediante un recuento constante, en función de las características de la comunidad que no presenta influencia de población flotante.” (INEN, 2012), p. 28 presentada en la tabla 2.6.

$$Pf = Pa * (1 + r)^n \quad (Ec.2)$$

Donde:

Pf = Población futura (habitantes)

Pa = Población actual (habitantes)

r = Tasa de crecimiento geométrico. de la población expresada como fracción decimal

n = Período de diseño (años)

2.1.2.2.4 Densidad Poblacional

“La densidad de población se define como el número de personas que habitan en una extensión de una hectárea”. (Pérez Carmona, 2012). Es la relación directamente proporcional entre la población y el área del proyecto.

$$Pa = \text{Número de lotes} * \text{Promedio Ponderado} \quad (\text{Ec. 4})$$

$$Dp = \frac{Dp}{At} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

Pa = Población actual

Dp = Densidad poblacional

At = Área total

2.1.3 Estimación de R.

“El coeficiente de retorno es la fracción del agua de uso doméstico servida (dotación neta), entregada como agua negra al sistema de recolección y evacuación de aguas residuales”. (EMAAP-Q, 2009). Según la norma de diseño de sistemas de alcantarillado se estimará mediante la siguiente tabla.

Tabla 3*Coefficiente de retorno de aguas residuales domesticas*

Tabla N 4.2.3.1	
Coefficiente de retorno de aguas de servidas domesticas	
Nivel de complejidad del sistema	Coefficiente de retorno
Bajo y medio	0.7 – 0.8
Medio alto y alto	0.8 – 0.85

Nota. Coeficiente de retorno va a ser de 0.8. Fuente: (EMAAP-Q, 2009, p. 30).

2.1.4 Coeficiente de simultaneidad (M)

El coeficiente de simultaneidad exhibe una relación inversamente proporcional respecto a la población servida; esto implica que, a mayor número de habitantes, las fluctuaciones en el consumo tienden a estabilizarse sobre el caudal medio diario. Para su determinación con la normativa vigente de alcantarillado.

Harmon:

$$M = 1 + \frac{14}{4 + P^{0.5}} \quad (Ec. 6)$$

Babbit:

$$M = \frac{5}{P^{0.2}} \quad (Ec. 7)$$

Flores:

$$M = \frac{3.5}{p^{0.1}} \quad (\text{Ec. 8})$$

Los Angeles:

$$M = \frac{3.53}{Q_{med}^{0.0914}} \quad (\text{Ec. 9})$$

2.1.5 Áreas tributarias

Se contempla como el área definida que comprende la distancia entre dos pozos de la red, mediante el método de la bisectriz, en la cual se analizaran por varios factores y utilidades de los siguientes parámetros:

- ✓ Distribución de lotes
- ✓ Topografía del proyecto
- ✓ Ubicación de pozos
- ✓ Diámetros de tuberías

2.1.6 Dotación

“Corresponde a la dotación neta por habitante, es decir, a la cantidad de agua que el consumidor efectivamente recibe para satisfacer sus necesidades”. (EMAAP-Q, 2009).

2.2 CAUDALES DE DISEÑO

El cálculo de caudales se obtiene de los aportes que recibirá la red de alcantarillado combinado. A continuación, se describen los conceptos teóricos de los valores estipulados.

2.2.1 Caudal de diseño sanitario **QS**

El caudal de diseño sanitario es la sumatoria del caudal doméstico, caudal por conexiones erradas, caudal de infiltración.

$$Q.S = Q.D + Q.CE + Q.INF \quad (EC.10)$$

Donde:

Q.S = Caudal Sanitario

Q.D = Caudal Domestico

Q. CE = Caudal de Conexiones Erradas

Q. INF = Caudal de Infiltración

2.2.1.1 Caudal domestico (**QD**)

El caudal doméstico es la estimación del consumo medio diario por habitante, obtenido del producto entre la población y la dotación neta. Este caudal se incrementa conforme se van incrementado los aportes a lo largo del colector y es directamente proporcional al coeficiente de retorno.

$$Q_{med} = \frac{Pf * Dot}{86400 \text{ seg}} \quad (Ec. 11)$$

$$Q_{dom} = Q_{med} * R * M \quad (Ec. 12)$$

Donde:

Q.med = Caudal medio diario (L/s)

Q.dom = Caudal domestico (L/s)

Pf = Población futura (Hab.)

Dot = Dotación (L/Hab./día)

R = Coeficiente de retorno [A]

M = Coeficiente de mayoración [A]

2.1.2.2 Caudal Conexiones erradas (QCE)

El caudal de conexiones erradas se origina por deficiencias en las conexiones domiciliarias, la existencia de conexiones clandestinas y la inadecuada ejecución de las aguas lluvias desde las cubiertas.

Tabla 4

Aportes máximos por conexiones erradas con sistema pluvial

Tabla N 4.2.3.5

Aportes máximos por conexiones erradas con sistema pluvial

Nivel de complejidad del sistema	Aporte (l/s - ha)
Bajo y medio	0.2 - 2
Medio alto y alto	0.1 - 1

Nota. Estimación de caudal de conexiones erradas. Fuente: (EMAAP-Q, 2009, p. 33).

2.1.2.3 Caudal Infiltración (QINF)

“La infiltración de aguas a las redes de sistemas de alcantarillado sanitario, principalmente son freáticas, a través de fisuras en las tuberías, en juntas ejecutadas

deficientemente, en la unión de tuberías con pozos de inspección y demás estructuras”. De acuerdo con la (EMAAP-Q, 2009).

Tabla 5

Coeficiente de infiltración

Tabla N 4.2.3.7			
Nivel de complejidad del sistema	Infiltración alta (L/s-ha)	Infiltración media (L/s-ha)	Infiltración baja (L/s-ha)
bajo y medio	0.1 - 0.3	0.1 - 0.3	0.05 - 0.2
medio alto y alto	0.15 – 0.4	0.1 – 0.3	0.05 – 0.2
(*) Puede ser definido por la empresa prestadora de servicio			

Nota. Coeficiente de infiltración. Fuente: (EMAAP-Q, 2009, p. 33).

2.2.2 Caudal pluvial de diseño.

“El alcantarillado de aguas lluvias está conformado por el conjunto de colectores y canales necesarios para evacuar la escorrentía superficial producida por la lluvia”. (López Cualla, 2003).

2.2.2.1 Método racional

“Para cuencas de tamaños menores (hasta 200 ha) y de características hidrológicas-hidráulicas simples, es decir sin elementos de detención o retardos, se podrá aplicar el Método Racional.” (EMAAP-Q, 2009).

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{0.36} \quad (\text{Ec.13})$$

Donde:

Q = Caudal de escurrimiento (L/s)

C = Coeficiente de escurrimiento [A]

A = Área de drenaje (Ha)

I = Intensidad

2.2.2.1.1 Coeficiente de escorrentía(C)

“Para la determinación del caudal pico y el volumen. 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).p 79.

Tabla 6

Coeficientes de escorrentía para un área urbana

Tabla N 5.3.7.2 (A)	
Descripción del área	Coeficiente de escorrentía
Negocios	
Centro	0.70 a 0.95
<u>Barrios</u>	<u>0.50 a 0.75</u>
Residencial	
Unifamiliar	0.30 a 0.60
Multi-unidades, contiguas	0.40 a 0.75
Departamentos	0.60 a 0.85
Industrias	
Livianas	0.50 a 0.80
Pesadas	0.60 a 0.90
Sin mejoras	0.10 a 0.30

Nota. Coeficientes de escurrimiento para las áreas urbanas. Fuente: (EMAAP-Q, 2009, p. 80).

2.2.2.1.2 Intensidad de lluvia (I)

“Se define como el cociente entre la altura de lluvia, h , y la duración, d , del intervalo que demandó su acumulación”. (EMAAP-Q, 2009), p. 72.

Con su ecuación para hallar la intensidad de lluvia I:

EMAAP-Q SISHILAD (1996-1999) 5-360

$$I = \frac{74,7140 * Tr^{0.088} * [ln(tc+3)]^{3.8202} * (ln Tr)^{0.1892}}{tc^{1.6079}} \quad (Ec.14)$$

Donde:

I: Intensidad de precipitación(mm/h)

TR: Periodo de Retorno (años)

Tc: tiempo de concentración de la lluvia más tiempo de recorrido (minutos)

2.2.2.1.2.1 Tiempo de concentración

Tiempo de concentración más el tiempo de recorrido. El tiempo de concentración inicial se determina con las ecuaciones de tiempo de flujo superficial como son: Kerby (1959) para longitudes de tramos menores a 366 metros, Izzard (1946), Kirpich (1940) para canales bien definidos y de pendientes altas entre 5% y 10%.

$$Tc = Te + Tf \quad (Ec. 15)$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración

Te = Tiempo de entrada del flujo

Tf = tiempo de recorrido del flujo

El tiempo de recorrido Tf: o escurrimiento del sistema de alcantarillado a través de los conductos se determina usando la fórmula de Manning según la (EMAAP-Q, 2009) .

$$tf = \frac{1}{60} \sum \left(\frac{Li}{Vi} \right) \quad (Ec. 16)$$

Donde

tf: tiempo de recorrido del flujo

Li: longitud del colector(m)

KERBY (1959)

$$te = 1.44 \left(\frac{L * m}{S^{\frac{1}{2}}} \right)^{0.467} \quad (Ec. 17)$$

Donde:

Te = Tiempo de entrada del flujo

L = Longitud

m = tipo de superficie

Tabla 7

Valore de m para la fórmula de Kerby

Tipo de Superficie	m
Impermeable	0.02
Suelo-compacto-continuo	0.10
Superficie sin cobertura	0.20
Pastos medio	0.40
Bosques de coníferas, tierra cubierta de hojas con pastos densos.	0.70

Nota. Valores de “m” según Kerby para el tipo de suelo. Fuente: (EMAAP-Q, 2009, p. 88).

2.2.2.1.2.2 Período de retorno

” El período de retorno de un evento hidrológico se calcula como la inversa de la probabilidad de excedencia anual y representa el intervalo de tiempo promedio” (EMAAP-Q, 2009).

Tabla 8

Periodos de retorno

Períodos de retorno para diferentes ocupaciones del área		
Tipo de obra	Tipo de ocupacion del área de influencia de la obra	TR (AÑOS)
Micro drenaje	<u>Residencial</u>	<u>5</u>
Micro drenaje	Comercial	5
Micro drenaje	Área con edificios de servicio público	5
Micro drenaje	Aerepuertos	10
Micro drenaje	Área comerciales y vías de transito intenso	10-25
Micro drenaje	Área comerciales y residenciales	25
Micro drenaje	Área de importancia especifica	50-100

Nota. Periodos de retorno para diferentes ocupaciones del área Tabla N.º 5.3.1.1. Fuente: (EMAAP-Q, 2009, p. 88)

2.2.2.1.3 Áreas de drenaje

“En general el área total de drenaje correspondiente a una localidad debe ser dividida por los proyectistas hidráulicos del sistema de drenaje en subáreas”. (EMAAP-Q, 2009), p. 71.

2.3 ESTRUCTURAS DE DISEÑO

2.3.1 Estructuras de revisión

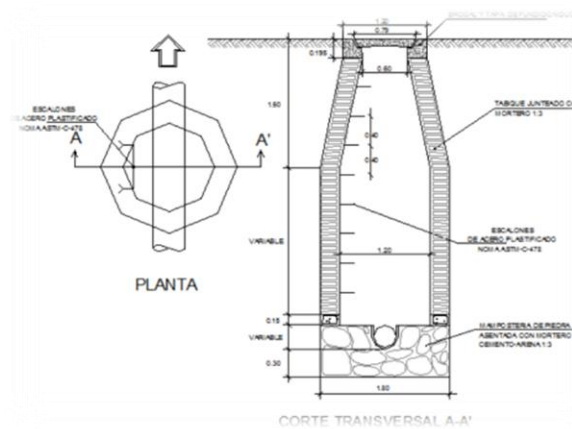
Son estructuras hidráulicas, diseñadas para manejar el flujo y permite conducir el agua hacia un emisario final.

2.3.2 Pozos de registro

Son estructuras de inspección, limpieza y mantenimiento y de fácil acceso a través de los pozos. Estos elementos cumplirán una adecuada ventilación en el sistema y su ubicación deberá satisfacer los criterios técnicos establecidos en la (EMAAP-Q, 2009), para su correcta operación.

Figura 3

Corte trasversal de un pozo registro



Nota. Vista en elevación Pozo registro. Fuente: (EMAAP-Q, 2009, p. 119).

Tabla 9*Pozos de caída Tipo I*

Cámara de caída	Entrada	Pozo	Altura de caída máxima
Tipo Ia		1.20	0.50
Tipo Ib	< 0.90 m	1.50	0.60
Tipo Ic		1.80	0.75

Nota. Dimensiones típicas de pozos de caída Tipo I. Fuente: (EMAAP-Q, 2009, p. 120)

2.3.3 Pozos de salto

Los pozos de salto se definen como la diferencia de la cota de la tubería de entrada y la cota de la tubería de salida. Consecuentemente al disminuir la pendiente en tramos continuos. Existen dos tipos de pozos de salto. “Adecuado para desniveles con una altura máxima de 0,75 m y para conductos de entrada cuyo diámetro hidráulico sea inferior a 0,90 m”. Según la (EMAAP-Q, 2009).

Tabla 10*Pozos de caída Tipo II*

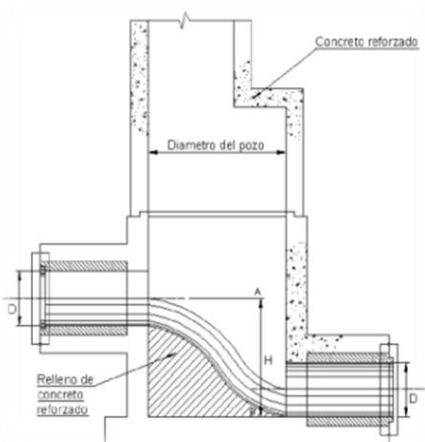
D entrada	Altura de caída máxima	D del tubo de caída	Ancho de la cámara	Profundidad h del fondo de la cámara	Longitud de la cámara
0.50	1.0	0.50	0.75	0.35	1.30
0.60		0.50	0.80	0.35	1.30
0.75		0.75	0.95	0.40	1.60
0.90		0.75	1.10	0.45	2
0.50		0.50	0.75	0.35	1.30

0.60		0.50	0.80	0.40	1.40
0.75	1.5	0.75	0.95	0.45	1.70
0.90		0.75	1.10	0.50	2.20
0.50		0.50	0.75	0.40	1.40
0.60	2.0	0.50	0.80	0.40	1.50
0.75		0.75	0.95	0.45	1.80
0.90		0.75	1.10	0.50	2.40
0.50		0.5	0.75	0.40	1.50
0.60		0.50	0.80	0.40	1.60
0.75	2.5	0.75	0.95	0.45	1.90
0.90		0.75	1.10	0.50	2.50
0.5		0.50	0.75	0.50	1.60
0.60		0.50	0.80	0.55	1.70
0.75	3.0	0.75	0.95	0.60	2.10
0.90		0.75	1.10	0.70	2.60

Nota. Vista en elevación de un pozo de salto tipo II. Fuente: (EMAAP-Q, 2009, p. 120)

Figura 4

Pozo de salto tipo I.



Nota. Vista en elevación de pozo de salto tipo I. Fuente: (EMAAP-Q, 2009).

2.4 PARÁMETROS HIDRÁULICOS DE DISEÑO

Los parámetros hidráulicos detallados a continuación constituirán la base técnica para el desarrollo del proyecto, asegurando la eficiencia de los lineamientos establecidos en la normativa vigente.

2.4.1 Velocidad mínima

“La velocidad mínima debe encontrarse en 0.60m/s, este valor asegura la autolimpieza del sistema, evitando la acumulación de sedimentos en las tuberías”. (EMAAP-Q, 2009).

2.4.2 Velocidad máxima

“La velocidad máxima permisible, para evitar erosión en las tuberías, está en función del tipo de material que se utilice y de la cantidad y características de las partículas sólidas arrastradas y suspendidas en el escurrimiento.”. (EMAAP-Q, 2009). Al garantizar la eficiencia estructural del alcantarillado combinado, se limitará la velocidad del flujo a un máximo de 7.5 m/s.

2.4.2 Pendiente máxima y mínima

Las pendientes máximas y mínimas serán aquellas que permitan que se cumpla con las velocidades máximas y mínimas del sistema dependiendo del material utilizado, diámetros para optimizar el rendimiento”. (EMAAP-Q, 2009).

2.4.4 Profundidad mínima

“Los sistemas de alcantarillado pluvial deben estar a la profundidad necesaria para permitir el drenaje por gravedad de las aguas lluvias de su área tributaria. La profundidad del alcantarillado con respecto a la cota extradós de la tubería”. (EMAAP-Q, 2009).

Tabla 11

Profundidades mínimas para tuberías.

Zona	Profundidad (m)
Peatonal o verde	1,5
Vehicular	1,5

Nota. Valores para los conductos del alcantarillado. Fuente: (EMAAP-Q, 2009.p 100).

2.4.5 Diámetro interno mínimo

“El diámetro mínimo en alcantarillados pluviales será de 400 mm; esto con el fin de evitar obstrucciones en el colector ocasionado por agentes externos adicionales al caudal de escorrentía transportado (basuras y otros). Para tramos iniciales en sistemas de drenaje no muy complejos, verificando el proyectista las condiciones de velocidad mínima y máxima, podrán aceptarse diámetros de 300 mm”. (EMAAP-Q, 2009), p 98. En este sentido se estable el diámetro mínimo de 300 mm al ser un barrio en proceso de legalización.

2.4.6 Esfuerzo tractivo

“Se debe calcular el esfuerzo cortante medio con el objeto de verificar la condición de autolimpieza de la tubería con las condiciones iniciales de operación del sistema.” (López Cualla, 2003), p 397.

$$\tau = \gamma * R * S \quad (\text{Ec. 18})$$

Donde:

γ = Peso específico

R = Radio hidráulico

S = Pendiente

T = Esfuerzo tractiva

2.4.7 Relaciones Hidráulicas

Las tablas de relaciones hidráulicas son representaciones adimensionales de los parámetros hidráulicos de una sección circular, que permiten determinar el comportamiento del flujo cuando el tirante de agua es menor al diámetro interno de la tubería para su optimización.

Tabla 12

Relaciones hidráulicas para conductos circulares

Tabla 8.2
Relaciones hidráulicas para conductos circulares (n_0/n variable)*

Q/Q ₀	Rel.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	V/V ₀	0,000	0,292	0,362	0,400	0,427	0,453	0,473	0,492	0,505	0,520
	d/D	0,000	0,092	0,124	0,148	0,165	0,182	0,196	0,210	0,220	0,232
	R/R ₀	0,000	0,239	0,315	0,370	0,410	0,449	0,481	0,510	0,530	0,554
	H/D	0,000	0,041	0,067	0,086	0,102	0,116	0,128	0,140	0,151	0,161
0,1	V/V ₀	0,540	0,553	0,570	0,580	0,590	0,600	0,613	0,624	0,634	0,645
	d/D	0,248	0,258	0,270	0,280	0,289	0,298	0,308	0,315	0,323	0,334
	R/R ₀	0,586	0,606	0,630	0,650	0,668	0,686	0,704	0,716	0,729	0,748
	H/D	0,170	0,179	0,188	0,197	0,205	0,213	0,221	0,229	0,236	0,244
0,2	V/V ₀	0,656	0,664	0,672	0,680	0,687	0,695	0,700	0,706	0,713	0,720
	d/D	0,346	0,353	0,362	0,370	0,379	0,386	0,393	0,400	0,409	0,417
	R/R ₀	0,768	0,780	0,795	0,809	0,824	0,836	0,848	0,860	0,874	0,886
	H/D	0,251	0,258	0,266	0,273	0,280	0,287	0,294	0,300	0,307	0,314
0,3	V/V ₀	0,729	0,732	0,740	0,750	0,755	0,760	0,768	0,776	0,781	0,787
	d/D	0,424	0,431	0,439	0,447	0,452	0,460	0,468	0,476	0,482	0,488
	R/R ₀	0,896	0,907	0,919	0,931	0,938	0,950	0,962	0,974	0,983	0,992
	H/D	0,321	0,328	0,334	0,341	0,348	0,354	0,361	0,368	0,374	0,381
0,4	V/V ₀	0,796	0,802	0,806	0,810	0,816	0,822	0,830	0,834	0,840	0,845
	d/D	0,498	0,504	0,510	0,516	0,523	0,530	0,536	0,542	0,550	0,557
	R/R ₀	1,007	1,014	1,021	1,028	1,035	1,043	1,050	1,056	1,065	1,073
	H/D	0,388	0,395	0,402	0,408	0,415	0,422	0,429	0,436	0,443	0,450
0,5	V/V ₀	0,850	0,855	0,860	0,865	0,870	0,875	0,880	0,885	0,890	0,895
	d/D	0,563	0,570	0,576	0,582	0,588	0,594	0,601	0,608	0,615	0,620
	R/R ₀	1,079	1,087	1,094	1,100	1,107	1,113	1,121	1,125	1,129	1,132
	H/D	0,458	0,465	0,472	0,479	0,487	0,494	0,502	0,510	0,518	0,526
0,6	V/V ₀	0,900	0,903	0,908	0,913	0,918	0,922	0,927	0,931	0,936	0,941
	d/D	0,626	0,632	0,639	0,645	0,651	0,658	0,666	0,672	0,678	0,686
	R/R ₀	0,136	1,139	1,143	1,147	1,151	1,155	1,160	1,163	1,167	1,172
	H/D	0,534	0,542	0,550	0,559	0,568	0,576	0,585	0,595	0,604	0,614
0,7	V/V ₀	0,945	0,951	0,955	0,958	0,961	0,965	0,969	0,972	0,975	0,980
	d/D	0,692	0,699	0,705	0,710	0,719	0,724	0,732	0,738	0,743	0,750
	R/R ₀	1,175	1,179	1,182	1,184	1,188	1,190	1,193	1,195	1,197	1,200
	H/D	0,623	0,633	0,644	0,654	0,665	0,677	0,688	0,700	0,713	0,725
0,8	V/V ₀	0,984	0,987	0,990	0,993	0,997	1,001	1,005	1,007	1,011	1,015
	d/D	0,756	0,763	0,770	0,778	0,785	0,791	0,798	0,804	0,813	0,820
	R/R ₀	1,202	1,205	1,208	1,211	1,214	1,216	1,219	1,219	1,215	1,214
	H/D	0,739	0,753	0,767	0,783	0,798	0,815	0,833	0,852	0,871	0,892
0,9	V/V ₀	1,018	1,021	1,024	1,027	1,030	1,033	1,036	1,038	1,039	1,040
	d/D	0,828	0,835	0,843	0,852	0,860	0,868	0,876	0,884	0,892	0,900
	R/R ₀	1,212	1,210	1,207	1,204	1,202	1,200	1,197	1,195	1,192	1,190
	H/D	0,915	0,940	0,966	0,995	1,027	1,063	1,103	1,149	1,202	1,265

Nota. Obtención de valores centesimales a partir de la tabla 8.2. Fuente:(López Cualla, 2003, p.171).

Donde:

Q = Caudal de diseño

V = Velocidad de diseño

R = Radio hidráulico al cauce de diseño

d = Lámina de agua

R_o = Radio hidráulico a tubo lleno

H= Profundidad Hidráulica

Q_e = Caudal a tubo lleno

V_o = Velocidad a tubo lleno

D= Diámetro de la tubería

2.4.8 Trazado de la red

Es una secuencia de pasos que se debe seguir correctamente en la norma municipal como los siguientes.

- Los tramos de tuberías deberían ser rectos, no tener curvas.
- La guía de los tramos debería estar en paralelo con la formación de las calles.
- Se debe minimizar costos de tuberías utilizando un diámetro en común en la red.
- Profundizar lo establecido en la norma según el sector donde se encuentra el tramo.
- Se observará las longitudes del tramo para su autolimpieza y obstrucciones visibles.
- Si las calles son de varios carriles se deberá realizar estudios para colectores combinados a ambos lados de la calle.
- Con topografías irregulares se trabajará con la mayoría de los pozos de caída para cumplir con parámetros de velocidad y pendiente según la norma.

- El trazado de red deberá tener un punto de descarga en común para luego ser tratada en PTAR.

2.5 MODELACIÓN EN SOFTWARE

2.5.1 Software SewerGEMS

El programa SewerGEMS es un software hidráulico desarrollado por la compañía BENTLEY, reconocida por crear herramientas especializadas para el análisis, diseño y operación de las infraestructuras hidráulicas.

2.5.2 Modelación

Este software permite la modelación y simulación de redes de aguas residuales y pluviales, así como la optimización de diseños hidráulicos. Facilita el cálculo de parámetros hidráulicos clave, incluyendo caudales, velocidades, calados y diámetros de tuberías. Además, el programa selecciona de manera automática el método de cálculo de fricción más adecuado, pudiendo emplear los procedimientos de Manning, Hazen-Williams o Darcy-Weisbach, según las condiciones específicas de la red y los criterios de diseño establecidos.

El software facilita la utilización de algoritmos numéricos para la simulación del flujo a superficie libre en las tuberías, permitiendo la planificación, gestión de sistemas de alcantarillado. Gracias a su interfaz de funciones y variables, se simplifica la elaboración de los modelos hidráulicos, optimizando el cálculo de los resultados y asegurando la obtención de soluciones precisas y eficientes.

La Universidad Politécnica Salesiana cuenta con la licencia académica del software, especializado en la elaboración de modelos hidráulicos para sistemas de alcantarillado combinado.

Esta licencia permite a los estudiantes aplicar de manera práctica los conocimientos teóricos, facilitando la simulación y análisis de redes de alcantarillado dentro de un entorno educativo.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Tipo de Investigación

Se utilizará el método de investigación descriptiva que según (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”. Para el diseño del sistema de alcantarillado combinado del Barrio “CACPUDEP”, ubicado en la Parroquia Guamaní, Cantón Quito, Provincia de Pichincha, con la documentación obtenida; memoria técnica de agua potable, los planos topográficos del lugar, el respectivo nombramiento de la directiva. Se analizarán los parámetros de diseño y constantes de los materiales con el fin de optimizar este proyecto hidráulico.

3.2 Método

“Se empleará el método analítico, que consiste en descomponer un problema específico en sus elementos fundamentales para obtener soluciones cuantitativas y cualitativas (Carazo, 2006). En el presente proyecto, este método permitirá calcular los parámetros hidráulicos necesarios para el diseño del sistema de alcantarillado combinado, incluyendo caudales, velocidades, calados y diámetros de tuberías.

La aplicación del método analítico facilitará la evaluación detallada del comportamiento hidráulico de la red, sirviendo de base para la optimización del diseño, la identificación de posibles mejoras y la toma de decisiones técnicas fundamentadas en datos precisos, asegurando así la eficiencia y funcionalidad del sistema de alcantarillado propuesto.

3.3 Técnicas de recolección de información

En esta investigación se aplicarán diversas técnicas de recolección de información, que permitirán comprender de manera integral la situación actual que atraviesa el barrio y fundamentar una solución adecuada a la falta de sistema de alcantarillado combinado.

Observación: Se observará las características del campo mediante catastros técnicos con visitas y diálogos con los dirigentes del barrio “CACPUDEP”.

Descripción y encuestas: Para el proyecto se aplicará encuestas sobre servicios básicos, calidad de agua y la utilización de pozos sépticos. Del total de 299 predios del barrio, 115 se encuentran habitados en el sector,

Además, se llevará a cabo una entrevista al presidente de esta organización barrial para solicitar el levantamiento topográfico e información del estudio para tener una solución factible del proyecto con respecto al sistema de alcantarillado combinado.

3.4 Proceso Técnico de Ingeniería Civil

3.4.1 Análisis de información

Teniendo los datos proporcionados como: planos topográficos e información geográfica y catastral de los pozos existentes, se procederá a calcular la densidad poblacional, la población futura se determinará por los métodos aritmético, geométrico o exponencial. La dotación y los coeficientes ((M), (R)) se estimarán por normativa, a su vez se obtendrán los caudales domésticos, caudales de aguas erradas y caudales de infiltración. Para obtener el periodo de diseño, tiempo de concentración se determinarán por su ocupación en el proyecto y la intensidad de lluvia por su ubicación. Las áreas tributarias se distribuirán por la división de las manzanas del sector.

3.4.2 Recopilación de Datos

Recopilando las normas municipales a través de una revisión bibliográfica técnica se obtendrán los parámetros de velocidades y pendientes que son necesarios para el prediseño.

3.4.3 Elaboración de la Planimetría

Con el uso del software ACAD se realizará la planimetría, los perfiles de dirección de la red, donde se obtendrán los parámetros para el prediseño y el cálculo en Microsoft Excel. Con la implantación se colocará los pozos, ejes, cotas de terreno y cotas de proyecto.

3.4.4 Prediseño en Excel

En el prediseño de la red de alcantarillado combinado, mediante Microsoft Excel se configurará la hoja de cálculo con los datos establecidos, en los cuales se obtendrán los caudales sanitarios y pluviales, manejando las longitudes, pendientes, coeficientes de rugosidad de la tubería en función del calado y diámetro, se verificará la capacidad hidráulica máxima al 80% para su óptimo funcionamiento, se revisará los tipos de pozos del sistema.

3.4.5 Modelamiento en SewerGEMS

Con la información obtenida de la planimetría realizada en ACAD, se procederá a modelar el flujo a superficie libre del sistema de alcantarillado combinado en el software SewerGEMS. En el programa se representarán los pozos, redes de tuberías, configurando los parámetros hidráulicos como: diámetros, cotas, caudales. Posteriormente, se ejecutará la simulación para verificar el diseño y cumplimiento con la normativa vigente.

CAPÍTULO IV

BASES DE DISEÑO

4.1 Prediseño en Excel

El prediseño del proyecto se desarrolla mediante hojas de cálculo, orientado a establecer los parámetros hidráulicos del sistema. Este análisis inicial estará en base a los criterios técnicos de la norma municipal.

4.2 Criterios de diseño

Se considera todos los parámetros indicados en la normativa en el diseño del sistema combinado para su correcto funcionamiento y cumplir con los estándares de calidad del municipio.

4.2.1 Periodo de diseño

Se establece un tiempo determinado de 30 años considerando la vida útil de la obra.

4.2.2 Población actual

Para la determinación de la población actual, se toma como base el número de habitantes identificado mediante el levantamiento de información directa (encuesta) en el área de estudio, estableciendo una población inicial de 384 habitantes.

Tabla 13*Encuestas realizadas en CACPUDEP*

Encuesta-CACPUDEP		Unidad
Etapa Uno	248	Hab.
Etapa Dos	136	Hab.
Total	384	Hab.

Nota. Encuesta realizada en agosto del 2025. Elaborado: Los autores (2025).

4.2.2.1 Tasa de Crecimiento

Ante el gran incremento de 23 a 33 parroquias rurales en las últimas dos décadas en la ciudad de Quito cada parroquia tiene su tasa de crecimiento establecida por varios factores que los afecta en el censo realizado en el año 2022 en el Ecuador.

Tabla 14*Tasa de crecimiento demográfico de las parroquias de Quito*

Parroquia rural	Tasa de crecimiento	Parroquia rural	Tasa de crecimiento
Nono	4.930%	Turubamba	4.650%
Calderón	4.240%	<u>Guamaní</u>	<u>3.170%</u>
Tumbaco	3.840%	Quitumbe	2.680%
Conocoto	3.770%	Iñaquito	2.600%
San Antonio	3.690%	Condado	2.190%

Nota. Crecimiento demográfico intercensal en Quito. Fuente: (Quito_comovamos, 2024).

4.2.2.2 Estimación de la población actual y establecimientos no residenciales.

La determinación de la población base se realiza a partir de los datos oficiales de los censos de población de los periodos 2010 y 2022, emitidos por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Para el cálculo de la población futura, se aplica una tasa de crecimiento intercensal del 3.17%, correspondiente a la parroquia de Guamaní (Ecuador en cifras, 2024). Dicho valor se corrobora mediante un análisis comparativo entre las series históricas 1990-2010 y las proyecciones validadas por los autores al año 2022.

Tabla 15

Crecimiento poblacional de 1990-2022 para Guamaní.

Periodo	Año	Población (Hab)	Periodo	Año	Población (Hab)
0	1990	13,525	17	2007	55,989
1	1991	14,878	18	2008	59,573
2	1992	16,365	19	2009	63,385
3	1993	18,002	20	2010	67,442
4	1994	19,802	21	2011	71,758
5	1995	21,782	22	2012	76,351
6	1996	23,96	23	2013	81,237
7	1997	26,356	24	2014	86,437
8	1998	28,992	25	2015	91,969
9	1999	31,891	26	2016	97,855
10	2000	35,08	27	2017	104,117
11	2001	38,588	28	2018	110,781
12	2002	41,058	29	2019	117,871
13	2003	43,686	30	2020	125,414
14	2004	46,482	31	2021	133,441
15	2005	49,456	32	2022	141,981
16	2006	52,622	-	-	-

Nota. Estimación de la población de la parroquia Guamaní hasta el año 2022. Elaborado por los autores.

4.2.3 Población Futura

El cálculo de la población futura se estimará mediante el análisis comparativo de tres métodos demográficos:

La estimación de la población futura se realiza mediante la aplicación de tres métodos matemáticos de proyección demográfica. Este procedimiento permite comparar los resultados obtenidos y seleccionar el modelo que mejor se ajuste a la tendencia de crecimiento de la zona de estudio para el horizonte de diseño establecido.

4.2.3.1 Método Aritmético

$$Pf = Pa * \left(1 + \frac{r * n}{100}\right) \text{ (Ec. 1)}$$

$$Pf = 384 * \left(1 + \frac{3.17 * 30}{100}\right)$$

$$Pf = 749 \text{ hab}$$

Tabla 16

Método Aritmético

Pi	384	Hab
r	3.17	%
n	30	Años
Pf	749	Hab

Nota. Cálculo de población futura. Elaborado por los autores.

4.2.3.2 Método Geométrico

$$Pf = Pa * (1 + r)^n \quad (Ec.2)$$

$$Pf = 384 * \left(1 + \frac{3.17}{100}\right)^{30}$$

$$Pf = 979.34 \text{ hab}$$

$$Pf = 979 \text{ hab}$$

Tabla 17

Cálculo del método geométrico.

Pi	384	Hab
R	3,17	%
N	30	años
Pf	979	Hab

Nota. Cálculo de población futura. Elaborado por los autores.

4.2.3.3 Método Exponencial

$$Pf = Pa * e^r * n \quad (Ec.3)$$

$$Pf = 384 * e^{3.17\%} * 30 = 994 \text{ hab}$$

Tabla 18

Cálculo del método exponencial.

Pi	384	Habitantes
r	3,17	%
n	30	años
Pf	994	Hab

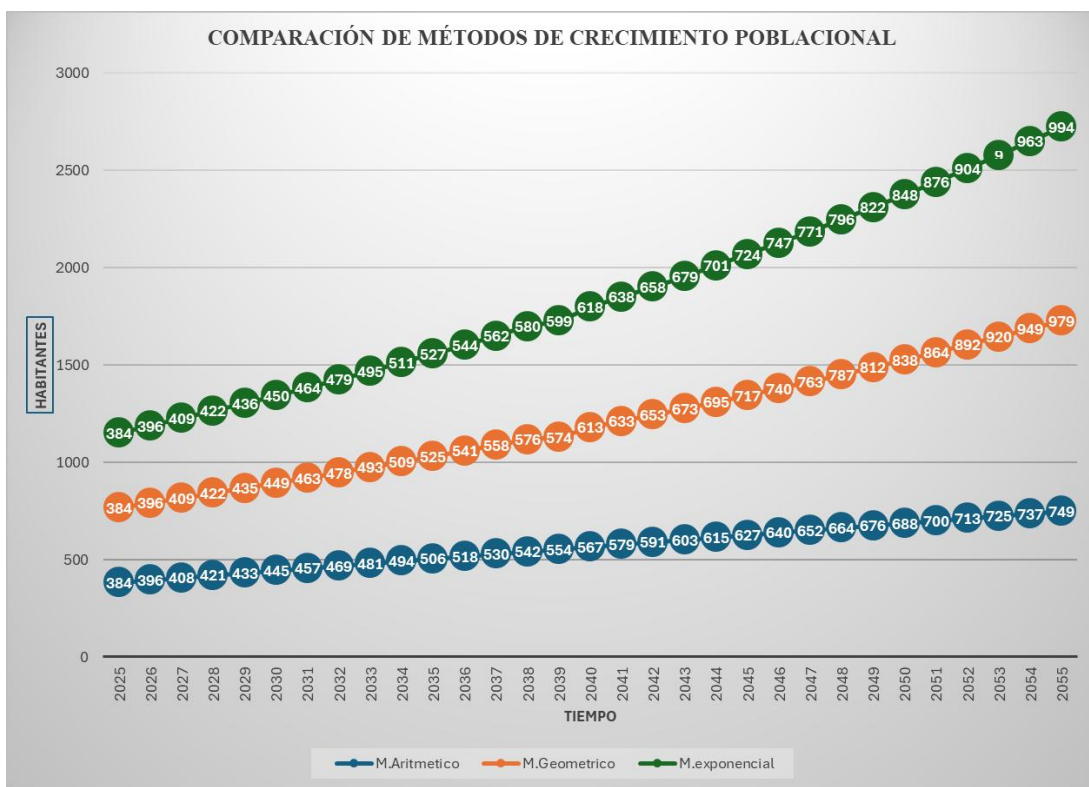
Nota. Cálculo de población futura. Elaborado por los autores.

4.2.3.4 Población de diseño

Con el fin de obtener el resultado del sistema a largo de la vida útil de diseño se adoptó una población futura de 994 habitantes. Este valor es un parámetro más conservador y crítico de todos los métodos aplicados, el cual nos garantiza el diseño de la expansión poblacional calculada.

Figura 5

Comparación de métodos.



Nota. Se observa que los tres métodos muestran una tendencia creciente, siendo el método exponencial el más crítico. Elaborado por los autores.

4.2.4 Dotación

La determinación de las demandas de agua potable se realizó mediante un proceso de levantamiento de información básica, tomado en encuestas de consumo y percepción de calidad

aplicadas a la población del sector. A partir del análisis técnico de los resultados obtenidos, se estableció una dotación neta de 195 L/Hab/día.

4.2.5 Definición de área de influencia

Esta delimitación la obtendremos de la definición por archivo ACAD para localizar las calles, las manzanas y lotes baldíos también debemos realizar las áreas de barrios aledaños y la dirección de la tubería hacia la descarga que se localizara en la parte más baja y cercana a una quebrada.

Figura 6

Contribución de áreas de aportación



Nota. Área total de influencia (líneas color verde). Elaborado por los autores. A través del civil 3D.

4.2.6 Caudal sanitario

El volumen agua aportadas por el sistema de recolección y evacuación está conformado por las aguas residuales, domésticas, infiltración y erradas, en este proyecto no hay contabilización de aguas comerciales e institucionales al ser un lugar residencial inicialmente. Su cálculo se estimará por su consumo de agua potable.

4.2.6.1 Estimación de R

Para el cálculo de las proyecciones, se adoptó un valor de $R = 0.8$, conforme a lo estipulado en la normativa técnica (Tabla N 4.2.3.1). Este valor se justifica por la naturaleza del sistema de alcantarillado combinado, cuya complejidad se categoriza como media, permitiendo así una estimación coherente con las exigencias hidráulicas y operativas del diseño.

4.2.6.2 Coeficiente de simultaneidad (M)

Para el cálculo del coeficiente de mayoración de caudales, se procedió a estimar la población futura expresada en miles de habitantes, empleando los diversos métodos estipulados en la normativa municipal vigente. En este contexto, se aplicó la ecuación de Hartmon (Ec. 6), mediante la cual se obtuvo un valor de 3.80. Este coeficiente permite ajustar el caudal medio diario para considerar las variaciones máximas instantáneas que ocurren en el sistema de alcantarillado.

Hartmon:

Población en miles = 0.994 Hab

$$M = 1 + \frac{14}{4 + 0.994^{0.5}} = 3.80 \quad (\text{Ec. 6})$$

Babbit:

$$M = \frac{5}{0.994^{0.2}} = 5.01 \quad (\text{Ec. 7})$$

Flores:

$$M = \frac{3.5}{0.994^{0.1}} = 3.50 \quad (\text{Ec. 8})$$

Los Ángeles:

$$M = \frac{3.5}{2.24^{0.1}} = 3.70 \quad (\text{Ec. 9})$$

4.2.6.3 Caudal medio diario (Qm)

$$Q_{med} = \frac{994 * 195}{86400 \text{ seg}} \quad (\text{EC. 11})$$

$$Q_{med} = 2.24 \text{ L/seg}$$

4.2.6.4 Caudal domestico

$$Q_{dom} = 2.24 * 0.8 * 3.80 \quad (\text{Ec. 12})$$

$$Q_{dom} = 6.82 \text{ L/seg}$$

4.2.6.5 Caudal de conexiones erradas (QCE)

En el presente proyecto, se determina el aporte por conexiones erradas bajo un criterio de 0.2 L/s/Ha, en cumplimiento con los lineamientos para el municipio de Quito en base a la norma municipal.

$$Q_{err} = 0.20 * \text{Área} \quad (\text{Ec. 19})$$

$$Q_{err} = 0.20 * 11.4 \text{ ha}$$

$$Q_{err} = 2.28 \text{ L/seg}$$

4.2.6.6 Caudal de infiltración (Q INF)

Se obtiene un coeficiente 0.20 dado las condiciones del terreno con cobertura vegetal pese al incremento paulatino de urbanización residencial es una infiltración media baja.

$$Q_{inf} = 0.20 * \text{Área} \quad (\text{Ec. 20})$$

$$Q_{inf} = 0.20 * 11.4 \text{ ha}$$

$$Q_{inf} = 2.28 \text{ L/seg}$$

$$q_{inf} = \frac{2.28 \frac{\text{lt}}{\text{s}}}{11.4 \text{ Ha}} = 0.2 \frac{\text{lt}}{\text{seg}} / \text{Ha} \quad (\text{Ec. 21})$$

4.2.6.7 Caudal de diseño sanitario.

$$Q_{sanitario} = Q_{err} + Q_{inf} + Q_{dis \text{ Dom}} \quad (\text{Ec. 10})$$

$$Q_{sanitario} = 2.28 \frac{\text{lt}}{\text{s}} + 2.28 \frac{\text{lt}}{\text{s}} + 6.81 \frac{\text{lt}}{\text{s}}$$

$$Q_{\text{sanitario}} = 11.38 \text{ lt/s}$$

4.2.7 Caudal pluvial

Para el cálculo del caudal pluvial se utilizó el método racional debido que comprende un área menor a 200 hectáreas (Ha). Esta decisión metodológica se ajusta estrictamente a los lineamientos técnicos estipulados en la normativa vigente de la (EMAAP-Q 2009).

4.2.7.1 Coeficiente de escorrentía(C)

En la representación de la zona con viviendas unifamiliares de acuerdo con la (Tabla N 5.3.7.2) con densidad poblacional de 100 ha/Ha, se selecciona el valor del coeficiente de escurrimiento al valor de 0,50.

4.2.7.2 Periodo de retorno

Se establece un periodo de retorno de 5 años considerado en la (EMAAP-Q, 2009) y su detallado en la tabla 5.3.1.1, ya que este valor es el adecuado para zonas de expansión urbana.

4.2.7.3 Tiempo de concentración

$$T_c = T_i + T_f \quad (\text{Ec. 22})$$

$$T_c = 10 \text{ min}$$

4.2.7.4 Intensidad

$$I = \frac{74,7140 * 5^{0.088} * [\ln(10 + 3)]^{3.8202} * (\ln 5)^{0.1892}}{10^{1.6079}} \quad (\text{Ec. 14})$$

$$I = 85.00 \text{ mm/h}$$

4.2.7.5 Área total

Al realizar la comparación normativa, se determina que este valor es significativamente inferior al límite establecido de 200 Ha.

$$A * C \quad (\text{Ec. 23})$$

Donde el área total es igual 11,4 Ha y su conversión km², mientras que “C” es el coeficiente de escorrentía para el sector.

$$0.114 * 0.5 = 0.057 \text{ Ha}$$

4.2.7.6 Método racional.

Con los datos estipulados para el proyecto se realiza el cálculo del caudal pluvial mediante el siguiente cálculo demostrativo.

$$Q = \frac{85 \frac{\text{mm}}{\text{h}} * 0.057 \text{ Ha}}{0.36} \quad (\text{Ec. 13})$$

$$Q = 13.45 \text{ L/s}$$

$$Q_{Dis \text{ final}} = Q_{pluvial} + Q_{sanitario} \text{ (lt/s)} \quad (\text{Ec. 24})$$

$$Q_{Diseño \text{ final}} = 13.45 \frac{\text{L}}{\text{s}} + 11.37 \frac{\text{L}}{\text{s}} = 23.97 \text{ (L/s)}$$

4.2.8 Datos de diseño

Tabla 19*Resumen de parámetros de diseño*

Datos	Valor	Unidad	Validación
Periodo de Diseño	30	Años	Vida útil para el diseño una obra de alcantarillado combinado
Área de Servicio	11.4	Ha	Área del proyecto
Población Actual	384	Hab	Encuesta a habitantes de la Etapa I y II agosto 2025
Tasa de Crecimiento Poblacional	3.17	%	PDOT-2024
Población de Diseño	994	Hab	Método Exponencial
Densidad-Poblacional	127	Hab/Ha	Zona de uso residencial (suelo consolidado urbano)
Dotación de Agua Potable	195	L/Hab/día	Realizada por medio de encuestas
Coefficiente-de- Retorno Aguas Residuales	0,8	-	Norma EMAAP-Q
Caudal de Agua - Infiltración	0,2	L/s-Ha	Norma EMAAP-Q
Caudal de Agua - Conexiones Erradas	0,2	L/s-Ha	Norma EMAAP-Q
Coefficiente de Escorrentía	0,5	-	Área verde, calles, pasto,
Ecuación -Intensidad- Duración-Frecuencia EMAAP-SISHILAD	$I = \frac{74,7140 * Tr^{0.088} + [\ln(tc + 3)]^{3.9202} * (ln * Tr)^{0.1892}}{tc^{1.6079}}$		
Tiempo de Concentración	10	Min	Norma EMAAP-Q
Periodo de Retorno	5	Años	Zona residencial por tabla

Nota. Tabla resumida de datos. Elaborado por: Los autores.

4.3 Características físicas

4.3.1 Rugosidad

La decisión de la rugosidad se tomará con la elección del mejor funcionamiento hidráulico del tipo de material para este tipo de proyectos de alcantarillado combinado, donde el elemento más óptimo es el PVC con $n = 0.011$, ya que cumple con todos los estándares nacionales e internacionales y es el más recomendado para estos proyectos hidráulicos y sanitarios en la actualidad.

4.4 Estructuras de diseño

4.4.1 Pozos de revisión (I y II) y Pozos de salto

En el diseño del sistema de alcantarillado combinado, se establece una clasificación de pozos de acuerdo con la estructura y funcionalidad hidráulica. Estas estructuras fueron verificadas mediante el software especializado SewerGEMS, así como las hojas de cálculo Excel y los planos de ingeniería desarrollados en Civil 3D, asegurando la coherencia entre el modelado digital y los requerimientos físicos de la red.

Tabla 20

Descripción de los pozos en el proyecto

Pozos de cabecera	Pozo de revisión	Pozos de salto	Pozos de cabecera	Pozo de revisión	Pozos de salto
PZ-1	PZ-4	PZ-2	PZ-41	PZ-33	PZ-57
PZ-3	PZ-8B	PZ-6	PZ-50	PZ-35	PZ-62
PZ-5	PZ-9B	PZ-7	PZ-54	PZ-37	PZ-63
PZ-10	PZ-14	PZ-8	PZ-56B	PZ-38B	PZ-64
PZ-11	PZ-20	PZ12	PZ-58	PZ-40	PZ-65
PZ-15	PZ-21B	PZ-16	PZ-59C	PZ-42	PZ-66
PZ-19	PZ-22	PZ-17	-	PZ-59	PZ-67
PZ-23	PZ-24	PZ-18	-	PZ-60	PZ-68

PZ-26	PZ-26B	PZ-21	-	PZ-66B	PZ-69
PZ-29	PZ-27	PZ-25	-	PZ-71	PZ-70
PZ-32	PZ-28	PZ-51	-	PZ-72	PZ-73
PZ-34	PZ-28B	PZ-52	-	PZ-78	PZ-75
PZ-36	PZ-29B	PZ-53	-	PZ-79	PZ-76
PZ-38	PZ-30	PZ-55	-	-	PZ-77
PZ-39	PZ-31	PZ-56	-	-	-

Nota. Se contabiliza los tipos de pozos que se diseñaron para el barrio. Elaborado: Por los autores.

4.5 Parámetros de diseño

Para el diseño del sistema de alcantarillado combinado se utilizó una hoja de cálculo en Microsoft Excel, el cual permitió organizar los cálculos hidráulicos en concordancia con las relaciones hidráulicas y se verificó el cumplimiento de los criterios de diseño establecidos por la normativa vigente.

El análisis hidráulico incluye el cálculo del caudal de diseño y caudal a tubería llena, verificando que la relación entre ambos se mantenga dentro de rangos aceptables, el cual sirve como dato base para la comprobación de todos los parámetros establecidos en la norma de diseño y que esto no supere el 80 % de la capacidad hidráulica del conducto, garantizando un margen de seguridad adecuado.

4.5.1 Descripción del cálculo.

La hoja de cálculo detalla la secuencia de procedimientos aplicados al análisis hidráulico de los tramos comprendidos entre los pozos (Pz78 - Pz79), considerando las características físicas del conducto, los caudales de diseño y las condiciones planimétricas. A través de este proceso se

valida el correcto funcionamiento hidráulico del tramo analizado, asegurando que los resultados obtenidos cumplan con los criterios técnicos exigidos para el diseño del sistema de alcantarillado.

Tabla 21

Diseño hidráulico en Excel del tramo principal (T1-T9). Columna N° 1 - Columna N° 21

DESCRIPCIÓN			ÁREA TOTAL		CAUDAL SANITARIO						CAUDAL PLUVIAL						CAUDAL DISEÑO			
Tramo	Pozos	L (m)	ÁREA PARCIAL (Ha)	ÁREA ACUM. (Ha)	Q.dom (lt/s)	Q.inf (lt/s)	Q.errad (lt/s)	Q.com (lt/s)	Q.Aporte Anexado	Qsanitario	C	te (min) Ec. Kervi	te sum (min)	tf (min)	tc (min)	I (mm/h)	Q pluvial (lt/s)	Q anexos (lt/s)	Qsan + Qpluv (lt/s)	Qdis-tot (lt/s)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
T-1	PZ-61	48,80	0,17	0,17	0,102	0,034	0,034	0	0	0,170	0,5	0,24	10	0,21	10,21	84,09	19,855	0,00	20,02	20,02
	PZ-62																			
	PZ-62																	142,56		
T-2	PZ-63	50,10	0,12	0,12	0,072	0,024	0,024	0	0	0,120	0,5	0,24	10	0,21	10,41	83,32	13,886		14,01	176,59
	PZ-63																			
	PZ-63																	135,01		
T-3	PZ-64	50,00	0,12	0,12	0,072	0,024	0,024	0	0	0,120	0,5	0,27	10	0,21	10,63	82,53	13,755		13,87	325,47
	PZ-64																			
	PZ-64																	106,57		
T-4	PZ-65	50,00	0,12	0,12	0,072	0,024	0,024	0	0	0,120	0,5	0,31	10	0,24	10,87	81,65	13,609		13,73	445,77
	PZ-65																			
	PZ-65																	93,47		
T-5	PZ-66	46,17	0,10	0,1	0,060	0,02	0,02	0	0	0,100	0,5	0,26	10	0,18	11,05	81,04	11,255		11,36	550,60
	PZ-66																			
	PZ-66																			
T-6	PZ-66B	44,10	0,11	0,11	0,066	0,022	0,022	0	0	0,110	0,5	0,26	10	0,17	11,22	80,45	12,291	0,00	12,40	563,00
	PZ-66B																			
	PZ-66B																			
T-7	PZ-67	45,60	0,17	0,17	0,102	0,034	0,034	0	0	0,170	0,5	0,26	10	0,18	11,40	79,86	18,856	0,00	19,03	582,02
	PZ-67																			
	PZ-67																	180,62		
T-8	PZ-68	56,60	0,11	0,11	0,066	0,022	0,022	0	0	0,110	0,5	0,26	10	0,17	11,39	79,88	12,204		12,31	774,96
	PZ-68																			
	PZ-68																			
T-9	PZ-69	46,50	0,09	0,09	0,054	0,018	0,018	0	0	0,090	0,5	0,24	10	0,13	11,52	79,44	9,930	0,00	10,02	784,98
	PZ-69																			

Tabla 22

Diseño hidráulico en Excel del tramo principal (T1-T9). Columna N° 22 - Columna N° 42.

CARACTERISTICAS FISICAS			DATOS HIDRÁULICOS														COTAS		PROFUNDIDAD	
D (mm)	J (%)	n	VLL (m/s)	QLL (m3/s)	Qdis/QLL (m3/s)	Cap. Max (80%)	Dt (mm)	Cap.Max (80%)	v / VLL	v (m/s)	V ² / (2g)	R/D	R (m)	τ (N/m ²)	Y/D	Y (m)	COTA TERRENO (m.s.n.m)	COTA PROYECTO (m.s.n.m)	H POZO (m)	P SALTO (m)
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
																	3141,441	3136,44	5	
300	5,9%	0,011	3,92	277,15	0,07225	Si cumple	111,99	300	0,581	2,28	0,265	0,111	0,03	19,17	0,182	0,05		P.salto		
																	3136,071	3133,57		2,5
																	3136,071	3130,87	5,2	
300	6,3%	0,011	4,07	287,61	0,61400	Si cumple	249,85	300	1,051	4,28	0,932	0,269	0,08	50,20	0,566	0,17		P.salto		
																	3129,198	3127,70		1,5
																	3129,198	3126,20	3	
400	3,9%	0,011	3,88	487,92	0,66706	Si cumple	343,65	400	1,067	4,14	0,874	0,275	0,11	42,46	0,590	0,24		P.salto		
																	3126,533	3124,23		2,3
																	3126,533	3122,03	4,5	
500	2,2%	0,011	3,40	668,48	0,66684	Si cumple	429,51	500	1,067	3,63	0,672	0,275	0,14	30,31	0,590	0,30		P.salto		
																	3124,411	3120,91		3,5
																	3124,411	3120,21	4,2	
500	3,7%	0,011	4,37	858,05	0,64168	Si cumple	423,36	500	1,062	4,64	1,097	0,273	0,14	49,58	0,582	0,29		P.salto		
																	3122,304	3118,50		3,8
																	3122,304	3117,80	4,5	
500	3,6%	0,011	4,29	843,06	0,66780	Si cumple	429,75	500	1,067	4,58	1,069	0,275	0,14	48,20	0,590	0,30		P.salto		
																	3119,990	3116,23	3,76	
																	3119,990	3116,23	3,76	
500	3,6%	0,011	4,30	844,22	0,68942	Si cumple	434,91	500	1,067	4,59	1,072	0,275	0,14	48,34	0,590	0,30		P.salto		
																	3117,598	3114,60		3
																	3117,598	3112,10	5,5	
500	5,9%	0,011	5,53	1084,84	0,71435	Si cumple	440,74	500	1,067	5,89	1,770	0,275	0,14	79,82	0,590	0,30		P.salto		
																	3110,453	3108,75		1,7
																	3110,453	3105,75	4,7	
600	5,2%	0,011	5,84	1650,28	0,47566	Si cumple	454,09	600	0,988	5,76	1,693	0,245	0,15	74,69	0,486	0,29		P.salto		
																	3104,348	3103,35		1

Tabla 23

Diseño hidráulico en Excel del tramo principal (T1-T19). Columna N° 1- Columna N° 21.

DESCRIPCIÓN			ÁREA TOTAL		CAUDAL SANITARIO						CAUDAL PLUVIAL						CAUDAL DISEÑO			
Tramo	Pozos	L (m)	ÁREA PARCIAL (Ha)	ÁREA ACUM. (Ha)	Q.dom (lt/s)	Q.inf (lt/s)	Q.errad (lt/s)	Q.com (lt/s)	Q.Aporte Anexado	Q.sani (lt/s)	C	te (min) Ec. Kervi	te sum (min)	tf (min)	tc (min)	I (mm/h)	Q pluvial (lt/s)	Q anexos (lt/s)	Q pluvial Diseño (lt/s)	Q total (lt/s)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	PZ-69																	193,92		
T-10		40,60	0,08	0,08	0,048	0,016	0,016	0	0	0,080	0,5	0,26	10	0,14	11,66	78,99	8,777		8,86	987,75
	PZ-70																			
	PZ-70																			
T-11		56,70	0,12	0,12	0,072	0,024	0,024	0	0	0,120	0,5	0,31	10	0,20	11,86	78,37	13,061	0,00	13,18	1000,93
	PZ-71																			
	PZ-71																	383,00		
T-12		52,50	0,11	0,11	0,066	0,022	0,022	0	0	0,110	0,5	0,33	10	0,21	12,07	77,70	11,871		11,98	1395,92
	PZ-72																			
	PZ-72																			
T-13		48,00	0,15	0,15	0,090	0,03	0,03	0	0	0,150	0,5	0,32	10	0,19	12,26	77,12	16,066	0,00	16,22	1412,13
	PZ-73																			
	PZ-73																	20,28		
T-14		41,20	0,14	0,14	0,084	0,028	0,028	0	0	0,140	0,5	0,26	10	0,13	12,39	76,74	14,921		15,06	1447,47
	PZ-75																			
	PZ-75																			
T-15		46,90	0,1	0,1	0,060	0,02	0,02	0	0	0,100	0,5	0,27	10	0,14	12,52	76,33	10,601	0,00	10,70	1458,17
	PZ-76																			
	PZ-76																			
T-16		28,80	0,07	0,07	0,042	0,014	0,014	0	0	0,070	0,5	0,22	10	0,08	12,61	76,08	7,397	0,00	7,47	1465,64
	PZ-77																			
	PZ-77																			
T-17		41,26	0,08	0,08	0,048	0,016	0,016	0	0	0,080	0,5	0,30	10	0,17	12,78	75,58	8,397	0,00	8,48	1474,11
	PZ-78																			
	PZ-78																			
T-18		57,30	0,14	0,14	0,084	0,028	0,028	0	0	0,140	0,5	0,34	10	0,22	13,00	74,95	14,573	0,00	14,71	1488,83
	PZ-79																			
	PZ-79																			
T-19		9,20	0	0	0,000	0	0	0	0	0,000	0,5	0,15	10	0,04	13,04	74,85	0,000	0,00	0,00	1488,83
	O-1																			

Tabla 24

Diseño hidráulico en Excel del tramo principal (T1-T19). Columna N° 22- Columna N° 42.

CARACTERISTICAS FISICAS			DATOS HIDRÁULICOS														COTAS		PROFUNDIDAD	
D (mm)	J (m)	n	VLL (m/s)	QLL (m3/s)	Qdis/QLL (m3/s)	Cap. Max (80%)	Dt (mm)	Dc (mm)	v / VLL	v (m/s)	V ² / (2g)	R/D	R (m)	τ (N/m ²)	Y/D	Y (m)	COTA TERRENO (m.s.n.m)	COTA PROYECTO (m.s.n.m)	H POZO (m)	P SALTO (m)
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
700	2,9%	0,011	4,88	1877,90	0,52599	Si cumple	550,13	700	1,013	4,94	1,244	0,255	0,18	51,49	0,515	0,36	3104,348	3100,35	4	
																	3101,153	3099,15		2
																	3101,153	3097,15	4	
700	2,9%	0,011	4,85	1864,99	0,53670	Si cumple	554,30	700	1,018	4,93	1,240	0,257	0,18	51,16	0,522	0,37	3098,007	3095,51	2,5	
																	3098,007	3095,51	2,5	
																	3097,583	3094,58	3	
800	1,8%	0,011	4,12	2073,26	0,67330	Si cumple	689,71	800	1,067	4,40	0,986	0,275	0,22	38,03	0,590	0,47	3097,583	3094,58	3	
																	3096,424	3093,72	2,7	
																	3096,424	3093,72	2,7	
800	3,1%	0,011	5,44	2736,22	0,52900	Si cumple	630,07	800	1,014	5,52	1,553	0,255	0,20	61,42	0,517	0,41	3094,461	3092,46		2
																	3094,461	3090,96	3,5	
800	3,3%	0,011	5,68	2852,92	0,51111	Si cumple	621,99	800	1,005	5,71	1,660	0,252	0,20	65,93	0,507	0,41	3091,198	3089,40		1,8
																	3091,198	3086,70	4,5	
800	3,4%	0,011	5,72	2876,91	0,50945	Si cumple	621,23	800	1,005	5,75	1,685	0,252	0,20	66,96	0,506	0,40	3087,522	3085,72		1,8
																	3087,522	3084,02	3,5	
800	1,6%	0,011	3,95	1986,99	0,74188	Si cumple	715,26	800	1,067	4,22	0,906	0,275	0,22	34,93	0,590	0,47	3085,655	3083,36	2,3	
																	3085,655	3083,36	2,3	
800	1,9%	0,011	4,34	2179,03	0,68325	Si cumple	693,52	800	1,067	4,62	1,089	0,275	0,22	42,01	0,590	0,47	3085,241	3082,24	3	
																	3085,241	3082,24	3	
800	1,8%	0,011	4,23	2124,36	0,70084	Si cumple	700,16	800	1,067	4,51	1,035	0,275	0,22	39,93	0,590	0,47	3085,221	3082,07	3,15	

Nota. Cálculo del caudal combinado de toda la red. Elaborado por: Los Autores a través del Excel

Tabla 25

Diseño hidráulico analizado para el cálculo. Columna N° 1 - Columna N° 21.

DESCRIPCIÓN			AREA TOTAL		CAUDAL SANITARIO						CAUDAL PLUVIAL						CAUDAL DISEÑO			
Tramo	Pozos	L (m)	Area Parcial (Ha)	Area Acum (Ha)	Qdom (lt/s)	Qinf (lt/s)	Qerrad (lt/s)	Qcom (lt/s)	Q aporta anexado	Q.sani (lt/s)	C	te (min) Ec. Kervi	te sum (min)	tf (min)	tc (min)	I (mm/h)	Q pluvial (lt/s)	Q.Aporte Anexado (lt/s)	Qsan + Qpluv (lt/s)	Qdis-total (lt/s)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	PZ-77																			
T-18		41,26	0,08	0,08	0,048	0,016	0,016	0	0	0,08	0,5	0,30	10,00	0,17	12,78	75,58	8,40	0	8,48	1474,11
	PZ-78																			
	PZ-78																			
T-19		57,30	0,14	0,14	0,084	0,028	0,028	0	0	0,14	0,5	0,34	10,00	0,22	13,00	74,95	14,57	0	14,71	1488,83
	PZ-79																			

Tabla 26

Diseño hidráulico analizado para el cálculo. Columna N° 22 - Columna N° 41.

CARACTERISTICAS FISICAS			DATOS HIDRAULICOS													COTAS		PROFUNDIDAD	
D.int (mm)	J (%)	n	VLL (m/s)	QLL (m3/s)	Qdis/QLL (m3/s)	Dt (mm)	Cap. Max (80%)	v / VLL	v (m/s)	v ² / (2g)	R/D	R (m)	τ (N/m ²)	Y/D	Y (m)	COTA TERRENEO (m.s.n.m)	COTA PROYECTO (m.s.n.m)	H POZO (m)	P.SALTO (m)
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
																3087,52	3084,02	3,5	0
800	1,6%	0,011	3,95	1986,99	0,74	715,26	Si cumple	1,07	4,22	0,91	0,28	0,22	34,93	0,590	0,47				
																3085,66	3083,36	2,3	0
																3085,66	3083,36	2,3	0
800	1,9%	0,011	4,34	2179,03	0,68	693,52	Si cumple	1,07	4,62	1,09	0,28	0,22	42,01	0,590	0,47				
																3085,24	3082,24	3	0

Nota. Cálculo del caso práctico en los tramos comprendidos (PZ-77 a PZ-79), de estudio para su procedimiento.

4.5.1.2 Evaluación de pasos.

- Columna N°1: Nombre de la tubería.

Se describe la nomenclatura de las tuberías.

- Columna N°2: Números de pozos.

Indica el número del pozo de inicio y pozo terminal del tramo de alcantarillado.

- Columna N°3: Longitud de los colectores.

Longitud determinada entre los pozos iniciales y pozos finales.

Área total

- Columna N°4: Área parcial para el caudal de diseño.

Es el área cooperante de los tramos que aportan en el diseño del alcantarillado, para el PZ 77-78 es de 0.08 Ha, mientras que en el PZ 78-79 es de 0.14 Ha.

- Columna N°5: Área acumulada para el caudal de diseño.

Es el área cooperante de los tramos que aportan en el diseño del alcantarillado, para el PZ 77-78 es de 0.08 Ha, mientras que en el PZ 78-79 es de 0.14 Ha.

Caudal sanitario

- Columna N°6: Caudal domestico de aguas residuales.

Es el caudal unitario domestico por el área total en su tramo.

$$Q_{dom} = q_{dom} * A_p \quad (\text{Ec. 25})$$

$$Q_{dom} = 0.60 * 0.08 = 0.048 \text{ (lt/seg)}$$

- Columna N°7: Caudal de infiltración (lt/s).

Es el producto del caudal unitario de infiltración con el total del área acumulada.

$$Q_{dom} = q_{inf} * A_p \quad (\text{Ec. 26})$$

$$Q_{dom} = 0.20 * 0.08 = 0.016 \text{ (lt/seg)}$$

- Columna N°8: Caudal de conexiones erradas (lt/s).

Es el producto del caudal unitario de conexiones erradas con el área total acumulada del tramo.

$$Q_{dom} = q_{errad} * A \quad (\text{Ec.27})$$

$$Q_{dom} = 0.20 * 0.08 = 0.016 \text{ (lt/seg)}$$

- Columna N°9: Caudal comercial.

Tenemos datos igual a será 0 (lt/s), al ser un lugar netamente residencial y en crecimiento.

- Columna N°10: Caudal aportes anexados sanitarios.

Se obtienen valores igual a 0 (lt/s), ya que no incorpora ningún flujo adicional en este tramo de la tubería.

- Columna N°11: Caudal sanitarios.

Es la acumulación de todos los caudales de aguas servidas domésticas, infiltración, erradas, comercial, institucional e industrial.

$$Q_{san} = Q_{dom} + Q_{inf} + Q_{err} + Q_{com} + Q_{int} + Q_{ind} \quad (\text{Ec.28})$$

$$Q_{san} = 0.08 \text{ lt/seg}$$

- PZ 78-79

$$Q_{san} = 0.14 \text{ lt/seg}$$

Caudal pluvial

- Columna N°12: Coeficiente de escorrentía.

Se estimo el valor de coeficiente de escorrentía de 0.5 para todos los colectores de acuerdo con la (Tabla N 5.3.7.2 (A)) estipulada en la norma (EMAAP-Q, 2009).

- Columna N°13: Ecuación de Kerby.

Se considera la ecuación de Kerby para estimar el valor mínimo del tiempo de entrada de la lámina del flujo superficial.

$$te = 1.44 \left(\frac{L*m}{s^{1/2}} \right)^{0.467} \quad (\text{Ec.17})$$

- Buzón PZ 77-78 $te = 0.30 \text{ min}$

- Buzón PZ 77-78 $te = 0.34 \text{ min}$

- Columna N°14: Tiempo de entrada.

Se estima en un tiempo mínimo de entrada de 10 minutos.

- Columna N°15: Tiempo de flujo (tf).

Se considera esta ecuación para estimar el valor mínimo del tiempo de viaje en el conducto.

$$tf = \frac{L}{60 \cdot VLL} \quad (\text{Ec.16})$$

Donde:

L = Longitud (m).

VLL = Velocidad del flujo a tubo lleno (m/s).

- PZ 77-78 $tf = 0.17 \text{ min}$

$$tf = \frac{57.30}{60 \cdot 4.34}$$

- PZ 78-79

$$tf = 0.22 \text{ min}$$

- Columna N°16: Tiempo de concentración acumulado (tc).

$$tc = tf + te \quad (\text{Ec.15})$$

Buzón PZ 77-78 $tc = 12.78 \text{ min}$

Buzón PZ 77-78 $tc = 13 \text{ min}$

- Columna N°17: Intensidad de lluvias (mm/h).

Para el cálculo del proyecto se estimó con la ecuación de la norma municipal para el sur de Quito.

$$I = \frac{74,7140 * T_R^{0.088} * [\ln(tc + 3)]^{3.8202} * (\ln T_R)^{0.1892}}{tc^{1.6079}} \quad (\text{Ec. 14})$$

- PZ 78-79

$$I = \frac{74,7140 * 5^{0.088} * [\ln(13 + 3)]^{3.8202} * (\ln 5)^{0.1892}}{13^{1.6079}} = 74.95 \text{ mm/h}$$

- Columna N°18: Caudal pluvial.

Se determina a través del método racional.

$$Qp = \frac{0.5 * 74.95 * 0.14}{0.36} \quad (\text{Ec.13})$$

- PZ 78-79

$$Qp = 14.57 \text{ (lt/seg)}$$

- Columna N°19: Caudal de aportes anexados pluviales.

Se obtienen valores igual a 0 (lt/s), ya que no incorpora ningún flujo adicional en este tramo de la tubería.

- Columna N°20: Caudal sanitario más Caudal pluvial.

- Buzón PZ 78-79

$$Qs + Qp = 0.14 + 14.57 = 14.71 \text{ (lt/seg)} \quad (\text{Ec.29})$$

- Columna N°21: Caudal de diseño.

Corresponde a la suma del caudal sanitario, caudal pluvial, y el aporte de caudales anexados para este tramo final del conducto ya que se determina para las condiciones finales de este proyecto.

- Buzón PZ 78-79

$$Qd = Qs + Qp + Qan = 14.71 + 1474.11 = 1488.83 \text{ (lt/seg)} \quad (\text{Ec.30})$$

Características físicas

- Columna N°22: Diámetro interno.

Para la red de tuberías del sistema combinado se iniciará con el diámetro mínimo de (300 mm). Sin embargo, para el tramo final de diseño se estipulan diámetros internos de (800mm).

- Columna N°23: Pendiente del colector.

El valor por tomar en esta columna se calcula como pendiente mínima al 1%.

- Columna N°24: El coeficiente de rugosidad de Manning.

Se selecciona el valor de 0.011 para tuberías de PVC.

Datos hidráulicos

- Columna N°25: La velocidad a tubo lleno (lt/s).

Calcular con la expresión de Manning.

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{2}} * S^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ec22. 31})$$

- Buzón PZ 78-79

$$V_{LL} = \frac{1}{0.011} * \left(\frac{800}{4000}\right)^{\frac{1}{2}} * (0.019)^{\frac{1}{2}} = 4.34 \text{ m/seg}$$

- Columna N°26: Caudal a tubo lleno.

Calculada con la ecuación básica de continuidad o balance de masas.

$$Q_{LL} = V_{LL} * \frac{\pi * D^2}{4} \quad (\text{Ec.32})$$

$$Q_{LL} = 4.34 * \frac{\pi * \left(\frac{800}{1000}\right)^2}{4} = 2179.03 \text{ (Lt/s)}$$

- Columna N°27: Relación entre el caudal de diseño con el caudal a tubo lleno.

A través de esta expresión se define el borde libre requerido.

- Buzón PZ 77-78

$$\frac{Q_d}{Q_{LL}} = 0.74 \quad (\text{Ec.33})$$

- Buzón PZ 78-79

$$\frac{Q_d}{Q_{LL}} = \frac{1488.83}{2179.03} = 0.68$$

- Columna N°28: El diámetro teórico de la tubería.

Se calcula de acuerdo con la ecuación de Manning.

$$D_t = 1.548 * \left(\frac{n * Q_d}{\sqrt{S}}\right)^{\frac{3}{8}} \quad (\text{Ec.34})$$

$$D_t = 1.548 * \left(\frac{0.011 * 1.49}{\sqrt{0.019}}\right)^{\frac{3}{8}} = 0.69 \text{ m}$$

- Columna N°29: Comprobación de la relación de llenado.

Se verifica que no sobrepase el 80%.

- Buzón PZ 77-78

$$\frac{Qd}{QLL} = 0.74 < 0.80 \text{ OK}$$

- Buzón PZ 78-79

$$\frac{Qd}{QLL} = 0.68 < 0.80 \text{ OK}$$

- Columna N°30: Relación entre velocidad real y velocidad a tubería llena.

Se determinará a partir de la tabla 12 de las relaciones hidráulicas y su derivación en la tabla 26.

$$\frac{v}{vLL} = 1.07 \quad (\text{Ec.35})$$

Tabla 27

Derivación de las relaciones hidráulicas

Q/QLL	V/VLL	R/D	Y/D
0.60325	1,046	0,267	0,560
0.62325	1,054	0,270	0,570
0.64325	1,062	0,273	0,584
0.66325	1,065	0,274	0,588
<u>0.68325</u>	<u>1.067</u>	<u>0,279</u>	<u>0.590</u>
0.70325	1,076	0,280	0,606
0.71325	1,083	0,282	0,618
0.72325	1,086	0,283	0,624

Nota. Deducción de valores en milésimas donde se obtiene el resultado hidráulico de análisis. En base a la tabla 12.

Donde:

V = Velocidad real

VLL = Velocidad del flujo a tubo lleno (m/s).

R=Radio hidráulico

Y= calado normal

D=Diámetro de la tubería

P=Profundidad hidráulica

- Columna N°31: Velocidad real de la sección de la tubería (m/s).

Se determina con el producto de velocidad a tubería llena y el valor definido en la tabla 26 de la relación hidráulica (V/VLL). Verificando que no sobrepase la velocidad máxima del flujo a superficie libre los 7.5 m/s.

$$V = 4.34 * 1.067 = 4.62 \text{ (m/s)} \quad (\text{Ec.36})$$

- Columna N°32: Carga de velocidad (m/s).

Se determina mediante la siguiente expresión.

$$\frac{V^2}{2g} = 1.09 \quad (\text{Ec. 37})$$

- Columna N°33: Relación entre radio hidráulico de la sección de flujo y radio hidráulico a tubería llena. A partir de la tabla 27

$$\frac{R}{D} = 0.279 \quad (\text{Ec. 38})$$

- Columna N°34: Radio hidráulico en la sección del flujo (m).

Se determina con el producto del diámetro y el valor definido en la tabla 26 de la relación hidráulica(R/D).

Buzón PZ 78-79

$$R = 0.279 * \frac{8008}{1000} = 0.22 \text{ (m)} \quad (\text{Ec. 39})$$

- Columna N°35: Esfuerzo tractivo (N/m2).

“Es posible diseñar para velocidades reales menores de 0,45 m/s, siempre y cuando el esfuerzo cortante sea superior a 1,2 N/m² y así garantizar la condición de tubería auto limpiante”.

(López Cualla, 2003)

$$\tau = 9.810 * R * S \quad (\text{Ec. 18})$$

Buzón PZ 78-79

$$\tau = 9810 * 0.22 * 0.019 = 42.01 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

- Columna N°36: Relación entre el calado normal y diámetro interno de la tubería, encontrada en la tabla 26.

$$\frac{Y}{D} = 0.590 \quad (\text{Ec. 40})$$

- Columna N°37: Calado normal (m/s).

Se determina con el cálculo del diámetro comercial y el valor definido en la tabla 26 de la relación hidráulica (Y/D).

Buzón PZ 78-79

$$Y = 0.590 * \frac{8008}{1000} = 0.22 (m) = 0.47 (m) \quad (\text{Ec. 41})$$

Cotas

Columna N°38: Cota Terreno (m.s.n.m).

Buzón PZ 77-78 3087.52 m.s.n.m - 3085.66 m.s.n.m

Buzón PZ 77-78 3085.66 m.s.n.m - 3085.24 m.s.n.m

- Columna N°39: Cota Proyecto (m.s.n.m).

Buzón PZ 77-78 3084.02 msnm - 3083.36 msnm

Buzón PZ 77-78 3083.36 msnm - 3082.24 msnm

Profundidades

- Columna N°40: Altura de pozos (m.s.n.m).

Buzón PZ 77-78 3.5 m

Buzón PZ 77-78 2.3 m

- Columna N°40: Pozos de salto

Los pozos de salto solo se diseñaron en las partes iniciales e intermedias de la red principal debido a la topografía del terreno para obtener pendientes que cumplan con la normativa.

4.6 Trazado de la red

En el trazado de la red se adoptan los lineamientos establecidos en la norma EMAAP-Q (2009), con el fin de cumplir los parámetros de diseño exigidos, tales como diámetros mínimos, distancias, pendientes y velocidades. El diseño será representado mediante el software AutoCAD, permitiendo una adecuada modelación del flujo del sistema de alcantarillado combinado hasta su punto de descarga.

Figura 7

Conexión de colectores en el Barrio



Nota. Diseño de la red alcantarillado con su tramo principal, secundarios y terciarios. Elaborado por: Los autores.

4.7 Modelación en el software SewerGEMS

La simulación hidráulica de un sistema de alcantarillado combinado permite diseñar el desplazamiento del flujo a superficie libre a través de los conductos, mediante estas condiciones reales de operación, es posible identificar una mayor optimización en el diseño.

A través del programa se pueden diseñar distintos escenarios de funcionamiento, incorporar variaciones en los parámetros del sistema y analizar sus efectos, con el fin de plantear mejoras y definir el cumplimiento de criterios hidráulicos, normativos y operativos, optimizando el dimensionamiento de tuberías y estructuras que permita un funcionamiento eficiente de la red.

4.7.1 SewerGEMS

Este software permite diseñar y analizar el comportamiento hidráulico de los sistemas de alcantarillado sanitario, pluvial o combinado, bajo diferentes márgenes de operación. Contiene herramientas esenciales que permiten manejar distintos parámetros hidráulicos, no obstante, es necesario configurar correctamente los datos base, debido a que arrojará resultados inconsistentes que no se adapten a las condiciones necesarias de diseño.

4.7.2 Características para el modelado hidráulico.

El modelado hidráulico en SewerGEMS se realizó con la carga de datos técnicos específicos y la planimetría del proyecto. Previo a la ejecución de las simulaciones, se establecieron las condiciones de borde y parámetros de diseño.

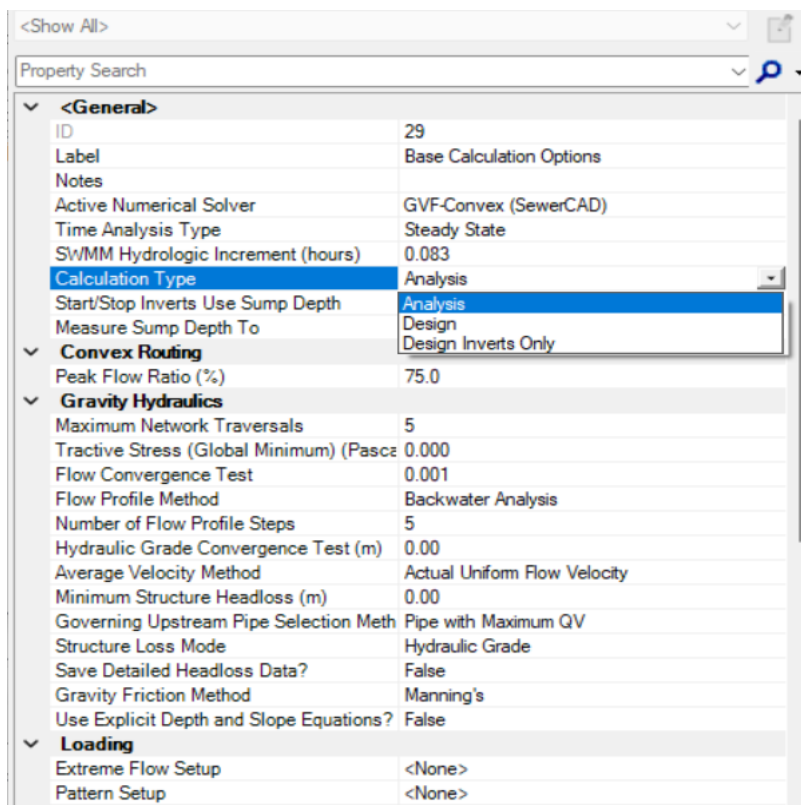
4.7.2.1 Solucionador numérico.

Para la elaboración de este proyecto de diseño eficiente, se empleó el solucionador numérico GVF-Convex (SewerCAD), en virtud de que se definieron como datos básicos las áreas de contribución para la estimación de los caudales pluviales y para los aportes de las aguas residuales se calcularon a partir de las condiciones reales de operación de acuerdo con el ajuste de la normativa correspondiente.

En la Figura 8 se observa cómo el software permite escoger el tipo de solucionador numérico para desarrollar el diseño eficiente del comportamiento hidráulico en el sistema.

Figura 8

Módulo de resolución numérica del programa



Nota. Imagen de la interfaz del programa en la cual se define por el método de solución numérica. Elaborado por los autores a través del software SewerGEMS, 2026.

Adicionalmente, cabe recalcar que en la sección “Calculation Type” se asigna como primera opción “Design”, ya que el objetivo del proyecto es optimizar un diseño adecuado del comportamiento hidráulico del sistema, y a su vez para el análisis del segundo escenario se selecciona la opción “Análisis”, donde se realiza la evaluación del diseño combinado.

4.7.2.2 Catálogo de tuberías.

El software permite incorporar un catálogo de tuberías que incluye la opción del tipo del material, ya sea el diámetro y el coeficiente de rugosidad de los conductos. Para la definición de estos parámetros, se analizó los distintos colectores, en la cual se determina que la mayoría de las tuberías corresponden al material PVC, específicamente del fabricante de tuberías “RIVAL”. En consecuencia, se empleó un catálogo técnico del fabricante con el fin de establecer de manera concisa y precisa el diámetro interno de las tuberías, asegurando que los valores utilizados se ajusten a las condiciones reales del sistema.

Tabla 28

Catálogo de tuberías de alcantarillado

DIÁMETRO NOMINAL (mm)	DIÁMETRO INTERIOR (mm)	LONGITUD NOMINAL (m)	SERIE NTE INEN 2059:2010	RIGIDEZ ANULAR		
				ISO 9969 ANEXO A NTE INEN 2059 kPa(kN/m ²)	DIN 16961 ANEXO B NTE INEN 2059 kPa(kN/m ²)	ASTM D 2412 lb/psi ² NTE INEN 2059 kPa(kN/m ²)
110	100,00	6	6	8	63	57 (394)
125	110,00	6	6	8	63	57 (394)
160	145,00	6	5	4	31,5	29 (199)
175	160,00	6	5	4	31,5	29 (199)
200	183,00	6	5	4	31,5	29 (199)
220	200,00	6	5	4	31,5	29 (199)
250	228,00	6	5	4	31,5	29 (199)
280	250,00	6	5	4	31,5	29 (199)
315	286,00	6	5	4	31,5	29 (199)
335	300,00	6	5	4	31,5	29 (199)
400	364,00	6	5	4	31,5	29 (199)
440	400,00	6	5	4	31,5	29 (199)
540	500,00	6	5	4	31,5	29 (199)
650	600,00	6	5	4	31,5	29 (199)
760	700,00	6	5	4	31,5	29 (199)
875	800,00	6	5	4	31,5	29 (199)
975	900,00	6	5	4	31,5	29 (199)

Nota. Diámetros nominales según los distintos tamaños de las tuberías. Fuente: (RIVAL, 2026).

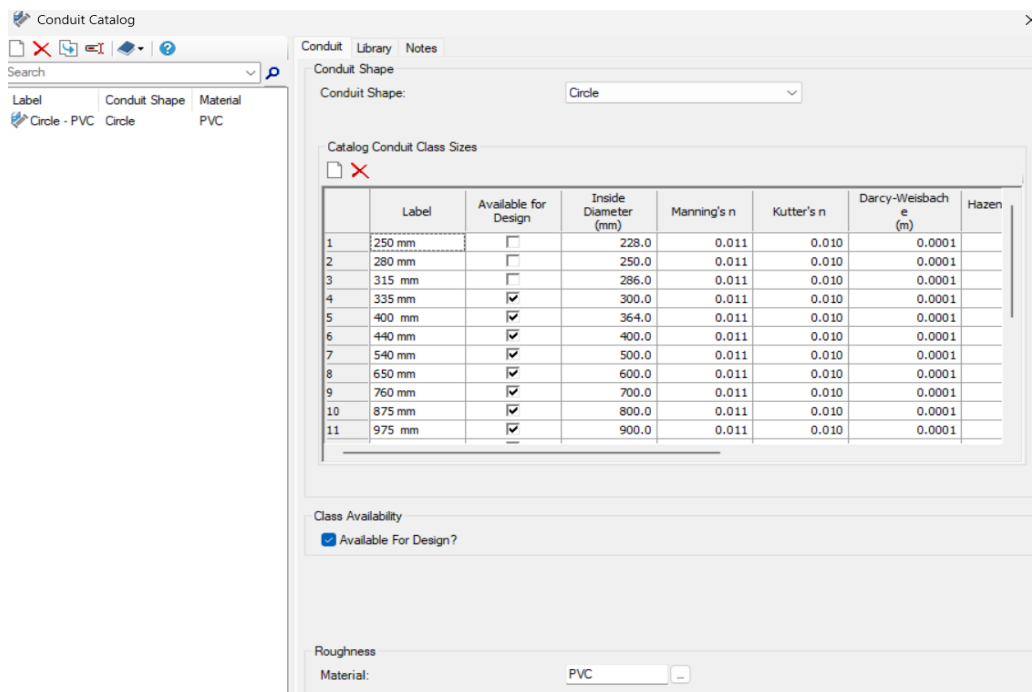
Para este tipo de proyecto se establece que el sistema de diseño preliminar está conformado en su mayoría por tuberías de PVC cuyos diámetros internos fueron medidos e incorporados en el catálogo del software, mismos que se comprobaran con el cálculo y análisis realizados en el programa Microsoft Excel.

4.7.2.3 Coeficientes de rugosidad

Al igual que los diámetros internos, se asignan los coeficientes de rugosidad según la normativa que es el valor 0.011 para materiales de PVC que son óptimos para alcantarillado combinado, este dato es primordial para ejecutar en el programa.

Figura 9

Bibliotecas del software SewerGEMS



Nota. Vista del programa que permite incorporar los diámetros de las tuberías. Elaborado por los autores mediante SewerGEMS, 2026.

4.7.3 Diseño en SewerGEMS

En la creación de este proyecto para el diseño sistema hidráulico combinado, se utilizó la integración del software CAD, que permite importar directamente la red previamente diseñada en Civil 3D, juntamente con las áreas de contribución, cabe recalcar que estos pasos deben ser configurados adecuadamente sin incorporar errores por conectividad o falencias en el manejo del programa puede afectar al modelado preliminar.

4.7.3.1 Escenario base

El software SewerGEMS incorpora el manejo de múltiples escenarios mediante su amplia biblioteca de materiales y ecuaciones hidráulicas, facilitando la optimización de sistemas complejos. No obstante, para los fines del presente proyecto, se definió un escenario técnico único centrado en la red del barrio CACPUDEP, bajo las siguientes consideraciones:

Selección de Materiales

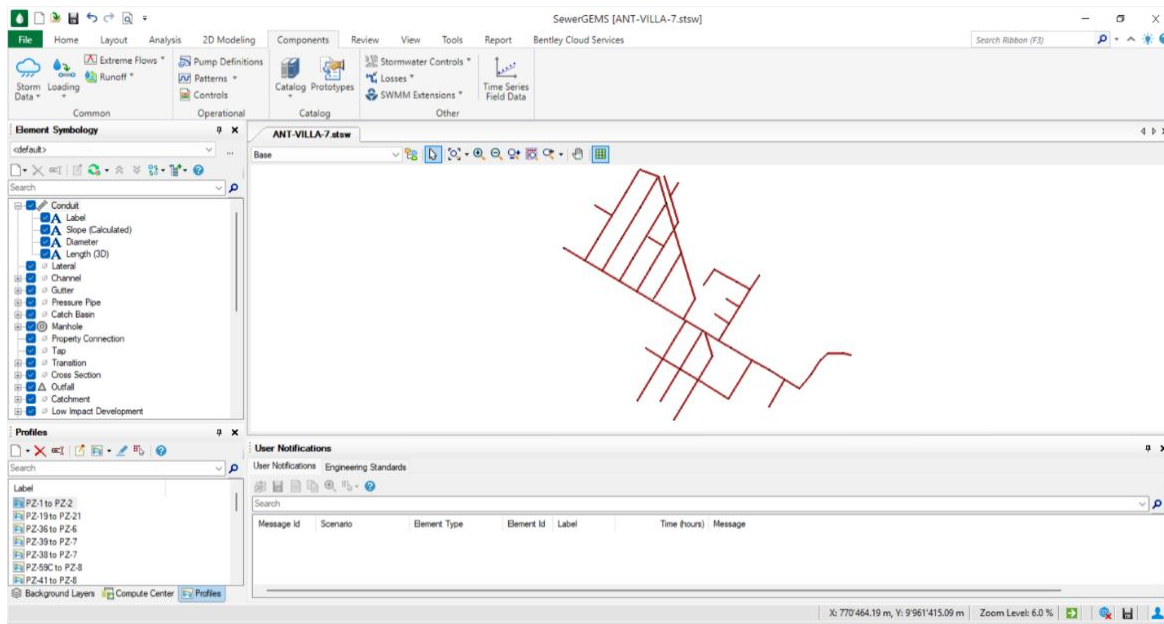
Análisis de Aportes

Ajuste Topográfico

Factibilidad de Empalme

Figura 10

Proyecto integrado en la plataforma SewerGEMS



Nota. Las líneas de color rojo representan la red de tuberías en el barrio. Elaborado por los autores mediante el programa SewerGEMS, 2026.

4.8. Resultados de la red combinada.

Se efectuó un análisis de los tramos iniciales, así como de aquellos segmentos que presentan deficiencias en su funcionamiento, mediante la visualización de perfiles hidráulicos y la información calculada por el software. Como resultado de la modelación y simulación del comportamiento del sistema de alcantarillado, se obtuvieron perfiles longitudinales en los que se aprecia el comportamiento del flujo a lo largo de las tuberías.

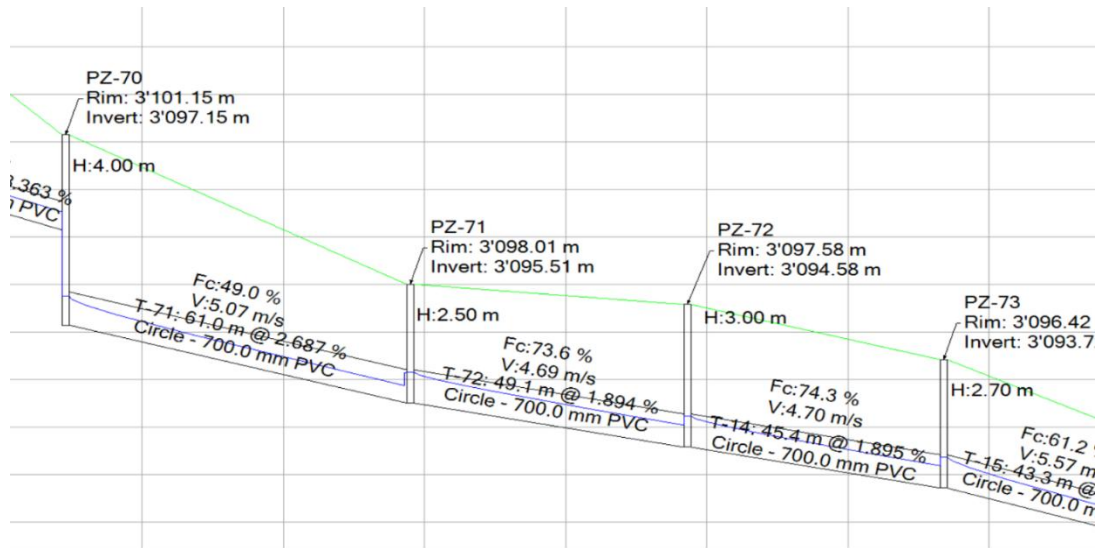
En el tramo “T-71” ubicado en la red principal, se evidencia un deficiente comportamiento hidráulico. Se registra un desbordamiento de caudal como consecuencia del elevado volumen de flujo que ingresa al colector identificado como “Pozo 71”. Dado que este tramo dispone de tuberías

de diámetro reducido, su capacidad resulta insuficiente para transportar los caudales generados durante eventos de precipitación máxima.

En la Figura 11 se observa el máximo flujo. En el diseño de estos pozos que conforman este tramo, se detectó un caudal considerable, en condiciones de lluvia. De igual manera, se reconoció aumentar el diámetro de la tubería para que no exceda el 80% de su capacidad máxima.

Figura 11

Perfil de tramo crítico.

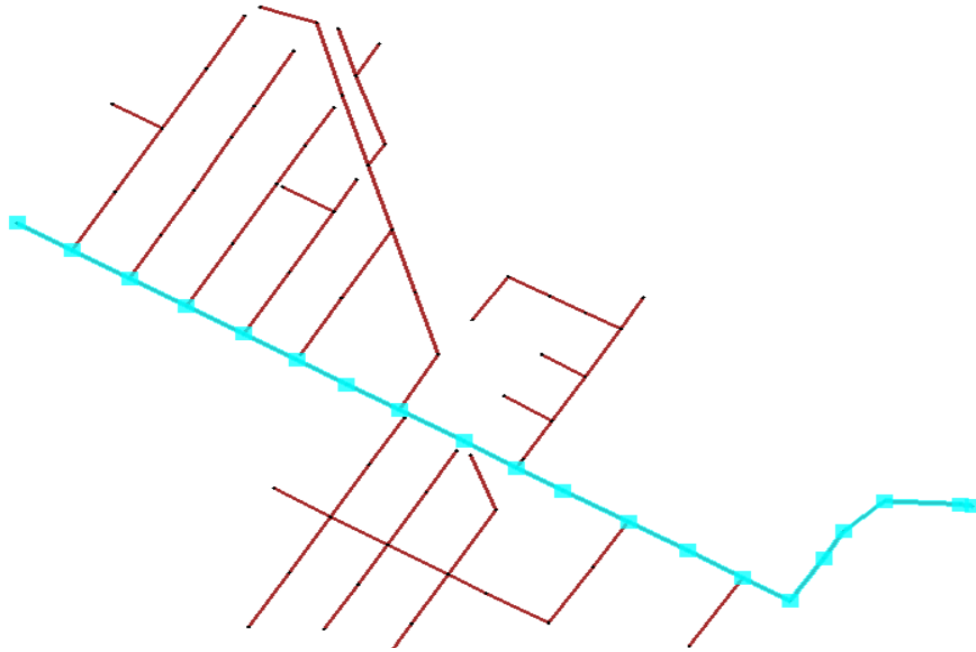


Nota. Resultados obtenidos de la simulación del tramo “T-72” colector localizado en la red principal. Elaborado por los autores mediante el programa SewerGEMS, 2025.

En la Figura 12 se muestra la configuración y dimensionamiento de la red colectora principal, encargada de conducir el caudal acumulado proveniente de todos los tramos de las dos etapas del barrio, hasta su punto de descarga final.

Figura 12

Colector de la red principal.



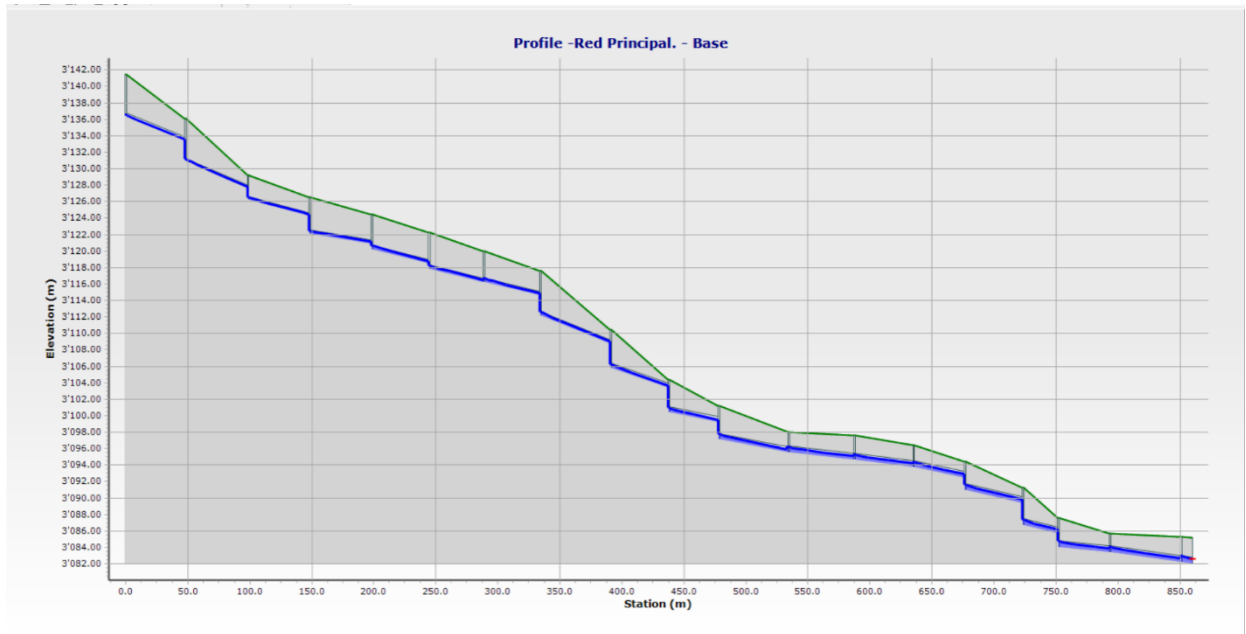
Nota. La línea de color celeste se identifican el tramo del colector principal que atraviesa por los dos Barrios. Elaborado por los autores mediante el programa SewerGEMS, 2026.

4.8.1 Observación del perfil

En el diseño se contempla una serie de saltos o caídas en los pozos de revisión como resultado óptimo para cumplir con todos los parámetros ya calculados en el Excel.

Figura 13

Perfil de la red principal en el proyecto.



Nota. Se presenta la distribución de pozos y conductos en la red principal de la calle denominada (Cotopaxi). Elaborado por los autores mediante el programa SewerGEMS, 2026.

4.8.2 Parámetros SewerGEMS.

En la presente sección se exponen los resultados derivados del diseño del proyecto, los cuales se encuentran consolidados en la tabla de parámetros hidráulicos adjuntado. A través de esta información, se determina la factibilidad técnica del sistema y su estricto cumplimiento con la normativa vigente.

Tabla 29

Resultados obtenidos para todos los tramos del proyecto mediante el software

Label	Start Node	Stop Node	Material	Length (Scaled) (m)	Slope (Calculated) (%)	Diameter (mm)	Velocity (m/s)	Depth (Normal) (m)	Flow / Capacity (Design) (%)	Depth (Normal) / Rise (%)	Tractive Stress (Calculated) (Pascals)
T-1	PZ-63	PZ-64	PVC	50.0	3.9	400.0	4.16	0.24	68.2	59.7	42.764
T-2	PZ-30	PZ-31	PVC	64.5	2.4	300.0	2.41	0.14	43.7	45.6	16.700
T-3	PZ-31	PZ-64	PVC	66.9	1.7	300.0	2.27	0.19	74.0	63.0	13.899
T-4	PZ-2	PZ-25	PVC	68.5	1.5	364.0	2.25	0.18	49.4	49.0	13.345
T-5	PZ-25	PZ-62	PVC	62.8	2.4	364.0	2.81	0.18	49.6	49.1	20.824
T-6	PZ-61	PZ-62	PVC	48.5	5.9	300.0	2.28	0.05	7.4	18.2	19.255
T-7	PZ-62	PZ-63	PVC	50.1	6.3	300.0	4.27	0.17	62.9	56.7	50.092
T-8	PZ-64	PZ-65	PVC	50.0	2.2	500.0	3.64	0.30	68.3	59.7	30.409
T-9	PZ-65	PZ-66	PVC	46.2	3.7	500.0	4.64	0.29	65.6	58.2	49.605
T-10(1)	PZ-66	PZ-66B	PVC	44.1	3.6	500.0	4.60	0.30	68.4	59.8	48.410
T-11	PZ-67	PZ-68	PVC	56.6	5.9	500.0	6.01	0.31	73.0	62.4	82.105
T-12	PZ-68	PZ-69	PVC	46.5	5.2	600.0	5.76	0.29	48.7	48.6	74.551
T-13	PZ-69	PZ-70	PVC	40.6	3.0	700.0	4.95	0.36	53.7	51.4	51.657
T-14	PZ-72	PZ-73	PVC	48.0	1.8	800.0	4.47	0.48	69.1	60.2	39.071
T-15	PZ-73	PZ-75	PVC	41.2	3.1	800.0	5.51	0.41	54.2	51.7	61.222
T-16	PZ-75	PZ-76	PVC	46.9	3.3	800.0	5.70	0.41	52.3	50.7	65.773
T-17	PZ-76	PZ-77	PVC	28.7	3.4	800.0	5.76	0.40	51.9	50.5	67.294
T-18	PZ-77	PZ-78	PVC	41.7	1.6	800.0	4.30	0.52	76.4	64.4	35.873
T-19	PZ-78	PZ-79	PVC	57.0	2.0	800.0	4.68	0.48	69.7	60.5	42.770
T-20	PZ-79	O-1	PVC	9.2	2.6	800.0	5.23	0.44	60.4	55.2	54.280
T-21	PZ-5	PZ-6	PVC	50.0	6.8	300.0	2.16	0.04	4.9	14.8	18.352
T-22	PZ-6	PZ-7	PVC	50.0	5.8	300.0	3.90	0.15	51.0	49.9	42.768
T-23	PZ-7	PZ-8	PVC	53.0	3.8	400.0	3.80	0.20	50.9	49.8	36.932
T-24	PZ-34	PZ-35	PVC	58.5	2.1	300.0	1.81	0.09	19.3	29.4	10.570
T-25	PZ-35	PZ-6	PVC	60.0	2.2	300.0	2.19	0.12	35.4	40.6	14.188
T-26	PZ-37	PZ-6	PVC	56.4	4.8	300.0	2.74	0.09	20.2	30.1	23.954
T-27	PZ-36	PZ-37	PVC	50.5	4.8	300.0	2.22	0.06	9.6	20.7	17.536
T-28(1)	PZ-38	PZ-38B	PVC	48.5	1.6	300.0	1.44	0.08	14.0	25.0	6.937
T-29	PZ-7	PZ-40	PVC	56.4	2.2	300.0	2.05	0.11	28.1	35.8	12.844
T-30	PZ-59C	PZ-60	PVC	53.8	6.8	300.0	2.11	0.04	4.4	14.2	17.700
T-31	PZ-41	PZ-42	PVC	64.1	0.7	300.0	1.06	0.09	21.3	31.0	3.572
T-32	PZ-42	PZ-8	PVC	53.2	1.5	300.0	1.61	0.10	22.5	31.9	8.160
T-33	PZ-1	PZ-2	PVC	43.7	6.2	300.0	2.15	0.05	5.5	15.7	17.824
T-34(1)	PZ-9	PZ-9B	PVC	61.0	4.4	500.0	4.45	0.21	38.8	42.7	48.690
T-35(1)	PZ-63	PZ-28B	PVC	46.3	1.5	364.0	2.35	0.20	58.2	54.0	14.366
T-36	PZ-28	PZ-27	PVC	56.5	4.7	300.0	3.22	0.12	36.7	41.4	30.466
T-37	PZ-2	PZ-24	PVC	64.4	0.6	300.0	1.35	0.19	72.8	62.4	4.894
T-38	PZ-4	PZ-33	PVC	65.0	1.0	300.0	1.67	0.16	56.8	53.2	7.770
T-39	PZ-33	PZ-65	PVC	66.4	1.3	300.0	1.99	0.19	74.0	63.0	10.690
T-40	PZ-17	PZ-18	PVC	67.6	5.7	300.0	2.45	0.06	10.0	21.1	21.139
T-41	PZ-18	PZ-21	PVC	62.2	1.2	300.0	1.82	0.15	53.3	51.2	9.241
T-42	PZ-22	PZ-67	PVC	58.8	1.8	364.0	2.69	0.22	71.4	61.5	18.348
T-43	PZ-21	PZ-20	PVC	73.4	1.9	300.0	2.12	0.14	43.2	45.3	12.927
T-44	PZ-10	PZ-12	PVC	45.6	5.9	300.0	1.58	0.03	2.2	10.1	11.132
T-45	PZ-12	PZ-14	PVC	66.8	4.2	300.0	2.26	0.07	12.8	23.9	17.490
T-46	PZ-11	PZ-12	PVC	34.4	1.2	300.0	1.19	0.07	11.3	22.4	4.899
T-47	PZ-15	PZ-16	PVC	44.8	3.2	300.0	1.36	0.04	3.5	12.7	7.545
T-51	PZ-50	PZ-51	PVC	47.9	4.4	300.0	2.09	0.06	9.1	20.1	15.584
T-52	PZ-51	PZ-52	PVC	35.9	3.6	300.0	2.16	0.08	14.4	25.4	15.616
T-53	PZ-52	PZ-53	PVC	30.7	4.6	300.0	2.75	0.09	21.4	31.0	23.892
T-54	PZ-53	PZ-55	PVC	30.6	5.3	300.0	3.00	0.10	22.6	31.9	28.187
T-55	PZ-54	PZ-55	PVC	33.2	1.9	300.0	1.51	0.07	12.1	23.2	7.847
T-56	PZ-16	PZ-17	PVC	69.4	4.8	300.0	2.04	0.05	7.1	17.9	15.447
T-57	PZ-55	PZ-56	PVC	51.8	2.2	300.0	2.61	0.19	76.4	64.4	18.337
T-58	PZ-56B	PZ-56	PVC	38.7	5.8	300.0	1.94	0.04	4.4	14.1	14.980
T-59	PZ-58	PZ-57	PVC	42.6	5.9	300.0	2.16	0.05	6.1	16.6	17.651
T-60(1)	PZ-26	PZ-26B	PVC	58.8	1.1	300.0	1.52	0.12	32.3	38.6	6.895
T-61	PZ-23	PZ-24	PVC	56.4	0.8	300.0	1.30	0.11	30.8	37.6	5.051
T-62	PZ-39	PZ-40	PVC	44.4	3.5	300.0	2.11	0.07	13.4	24.5	14.984
T-63(1)	PZ-29	PZ-29B	PVC	41.3	2.5	300.0	1.72	0.07	12.7	23.9	10.162
T-64	PZ-3	PZ-4	PVC	44.8	5.6	300.0	2.07	0.05	5.8	16.2	16.380
T-65	PZ-32	PZ-4	PVC	34.3	1.5	300.0	1.32	0.07	12.1	23.2	6.019
T-66	PZ-19	PZ-20	PVC	60.4	1.7	300.0	1.68	0.09	21.6	31.2	8.902
T-67(1)	PZ-21	PZ-21B	PVC	60.0	2.6	364.0	2.89	0.17	47.1	47.6	22.279
T-68	PZ-14	PZ-18	PVC	22.9	1.4	300.0	1.56	0.10	22.8	32.1	7.639
T-70	PZ-56	PZ-57	PVC	47.8	1.4	364.0	2.36	0.22	68.5	59.9	14.210
T-71	PZ-70	PZ-71	PVC	56.7	2.9	700.0	4.93	0.37	55.0	52.2	50.973
T-72	PZ-71	PZ-72	PVC	52.5	1.8	800.0	4.44	0.48	68.6	60.0	38.564
T-73	PZ-60	PZ-8	PVC	69.3	0.4	300.0	0.91	0.13	42.2	44.8	2.394
T-74(1)	PZ-8	PZ-8B	PVC	33.2	2.1	500.0	3.28	0.24	48.4	48.4	25.616
T-75	PZ-59	PZ-57	PVC	41.4	2.2	400.0	2.93	0.21	54.3	51.8	21.810
T-76	PZ-74	PZ-73	PVC	75.0	4.1	300.0	2.01	0.06	9.0	20.0	14.456
T-77	PZ-59	PZ-69	PVC	9.4	3.6	400.0	3.54	0.18	42.5	45.0	32.778
T-78	PZ-8B	PZ-9	PVC	54.4	1.6	500.0	2.97	0.27	59.1	54.5	20.616
T-79	PZ-9B	PZ-71	PVC	49.6	3.8	500.0	4.29	0.23	45.0	46.4	44.348
T-80	PZ-21B	PZ-22	PVC	60.0	2.6	364.0	3.00	0.19	53.6	51.4	23.640
T-81	PZ-26B	PZ-27	PVC	33.4	2.0	300.0	2.09	0.12	36.0	41.0	12.939
T-82	PZ-28B	PZ-28	PVC	48.1	1.5	364.0	2.23	0.18	51.6	50.3	13.113
T-83	PZ-29B	PZ-30	PVC	41.3	2.8	300.0	2.17	0.10	22.6	32.0	14.819
T-84	PZ-66B	PZ-67	PVC	45.6	3.6	500.0	4.63	0.31	70.7	61.1	48.937
T-85	PZ-38B	PZ-7	PVC	42.8	1.7	300.0	1.76	0.10	25.6	34.1	9.524

Nota. Valores determinados tras realizar el diseño y evaluación del proyecto. Elaborado por los autores a través del software SewerGEMS 2026.

En la red principal se trabajó el diseño adecuado bajo las estrictas indicaciones de la norma que garantizan el diseño eficiente de todos los tramos en donde se verifican los cálculos realizados en el Excel y los valores obtenidos del SewerGEMS para su optimización en el diseño, con la comprobación de datos requeridos como; los caudales de diseño en cada pozos, determinado su profundidad con las cotas del terreno y cotas invert que permitió simular los diseños de los pozos de salto y determinar las características físicas de las tuberías.

4.8.3 Análisis de diámetros

En el diseño del sistema de alcantarillado combinado para el sector bajo estudio, se determinó el uso de tuberías comerciales que garantizan la eficiencia operativa y el cumplimiento de los estándares técnicos vigentes. El análisis de las dimensiones se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 30

Diámetros máximos y longitudes de los tramos (PZ61-PZ69).

Tramo	Pozos	L (m)	D (mm)
1	PZ-61	48,80	300
2	PZ-62 PZ-62	50,10	300
3	PZ-63 PZ-63	50,00	400
4	PZ-64 PZ-64	50,00	500
5	PZ-65 PZ-65	46,17	500
	PZ-66		

6	PZ-66	44,10	500
7	PZ-66B PZ-66B	45,60	500
8	PZ-67 PZ-67	56,60	500
9	PZ-68 PZ-68	46,50	600
10	PZ-69 PZ-69	40,60	700
11	PZ-70 PZ-70	56,70	700
12	PZ-71 PZ-71	52,50	800
13	PZ-72 PZ-72	48,00	800
14	PZ-73 PZ-73	41,20	800
15	PZ-75 PZ-75	46,90	800
16	PZ-76 PZ-76	28,80	800
17	PZ-77 PZ-77	41,26	800
18	PZ-78 PZ-78	57,30	800
19	PZ-79 PZ-79	9,20	800
	O-1		

Nota. Diámetros y longitudes del proyecto determinadas en EXCEL. Elaborado por los autores.

4.8.4 Análisis de pendientes y velocidades

En esta etapa del diseño, se procedió a la validación de las pendientes longitudinales y las velocidades de flujo en todos los tramos que conforman la red del proyecto. El análisis se fundamentó en el cumplimiento de los estándares técnicos establecidos en la siguiente tabla:

Tabla 31

Pendientes y velocidades de los tramos (PZ61-PZ69).

Tramo	Pozos	J (m)	V (m/s)
1	PZ-61	5,9%	2,28
2	PZ-62 PZ-62	6,3%	4,28
3	PZ-63 PZ-63	3,9%	4,14
4	PZ-64 PZ-64	2,2%	3,63
5	PZ-65 PZ-65	3,7%	4,64
6	PZ-66 PZ-66	3,6%	4,58
7	PZ-66B PZ-66B	3,6%	4,59
8	PZ-67 PZ-67	5,9%	5,89
9	PZ-68 PZ-68	5,2%	5,76
	PZ-69		

10	PZ-69	2,9%	4,94
11	PZ-70 PZ-70	2,9%	4,93
12	PZ-71 PZ-71	1,8%	4,40
13	PZ-72 PZ-72	1,8%	4,44
14	PZ-73 PZ-73	3,1%	5,52
15	PZ-75 PZ-75	3,3%	5,71
16	PZ-76 PZ-76	3,4%	5,75
17	PZ-77 PZ-77	1,6%	4,22
18	PZ-78 PZ-78	1,9%	4,62
19	PZ-79 PZ-79	1,8%	4,51
	O-1		

Nota. Cálculo de pendientes y velocidades determinadas en Excel. Elaborado por los autores.

4.8.5. Análisis de pozos de salto y profundidad

Debido a la ubicación del proyecto en las faldas del volcán Atacazo, la zona presenta una topografía accidentada con pendientes naturales pronunciadas.

Ante esta configuración del terreno, se determinó la utilización de pozos de salto que permite ajustar la rasante de la tubería de PVC a profundidades que garantizan la estabilidad estructural, estableciendo una profundidad máxima de excavación de 5.5 m.

Tabla 32

Profundidad y salto de pozos.

Tramo	Pozos	Cota terreno (m.s.n.m)	Cota proyecto (m.s.n.m)	H pozo (m)
1	PZ-61	3141,441	3136,44	5
			P.salto	
2	PZ-62	3136,071	3133,57	2,5
	PZ-62	3136,071	3130,87	5,2
3			P.salto	
	PZ-63	3129,198	3127,70	1,5
4	PZ-63	3129,198	3126,20	3
			P.salto	
5	PZ-64	3126,533	3124,23	2,3
	PZ-64	3126,533	3122,03	4,5
6			P.salto	
	PZ-65	3124,411	3120,91	3,5
7	PZ-65	3124,411	3120,21	4,2
			P.salto	
8	PZ-66	3122,304	3118,50	3,8
	PZ-66	3122,304	3117,80	4,5
9			P.salto	
	PZ-66B	3119,990	3116,23	3,76
10	PZ-66B	3119,990	3116,23	3,76
			P.salto	
11	PZ-67	3117,598	3114,60	3
	PZ-67	3117,598	3112,10	5,5
12			P.salto	
	PZ-68	3110,453	3108,75	1,7
13	PZ-68	3110,453	3105,75	4,7
			P.salto	
14	PZ-69	3104,348	3103,35	1
	PZ-69	3104,348	3100,35	4
15			P.salto	
	PZ-70	3101,153	3099,15	2
16	PZ-70	3101,153	3097,15	4
			P.salto	
17	PZ-71	3098,007	3095,51	2,5

12	PZ-71	3098,007	3095,51	2,5
	PZ-72	3097,583	3094,58	3
	PZ-72	3097,583	3094,58	3
13				
	PZ-73	3096,424	3093,72	2,7
	PZ-73	3096,424	3093,72	2,7
14			P.salto	
	PZ-75	3094,461	3092,46	2
	PZ-75	3094,461	3090,96	3,5
15			P.salto	
	PZ-76	3091,198	3089,40	1,8
	PZ-76	3091,198	3086,70	4,5
16			P.salto	
	PZ-77	3087,522	3085,72	1,8
	PZ-77	3087,522	3084,02	3,5
17				
	PZ-78	3085,655	3083,36	2,3
	PZ-78	3085,655	3083,36	2,3
18				
	PZ-79	3085,241	3082,24	3
	PZ-79	3085,241	3082,24	3
19				
	O-1	3085,221	3082,07	3,15

Nota. Obtención de resultados determinadas en Excel. Elaborado por los autores.

4.8.6 Comparación de análisis hidráulicos con Microsoft Excel y SewerGEMS

En la siguiente Tabla 31 se presentan una comparación de resultados finales del diseño para cada colector en la red principal, los cuales fueron elaborados mediante el uso del programa Microsoft Excel y el software SewerGEMS.

Tabla 33

Comparación de resultados hidráulicos para la red principal (Excel-SewerGEMS).

Comp. Resultados Colector	Excel					SewerGEMS				
	V (m/)	Y (m)	τ (N/m)	Yn/Rise (%)	Cap. De Diseño (%)	V (m/)	Y (m)	τ (N/m)	Yn/Rise (%)	Cap. De Diseño (%)
PZ61-PZ62	2,28	0,05	19,17	18,2%	7,23%	2,28	0,05	19.255	18.2	7.4
PZ62-PZ63	4,28	0,17	50,20	56,6%	61,40%	4,27	0,17	50.092	56.7	62.9
PZ63-PZ64	4,14	0,24	42,46	59,0%	66,71%	4,16	0,24	42.764	59.7	68.2
PZ64-PZ65	3,63	0,30	30,31	59,0%	66,68%	3,64	0,30	30.409	59.7	68.3
PZ65-PZ66	4,64	0,29	49,58	58,2%	64,17%	4,64	0,29	49.605	58.2	65.6
P66-PZ66B	4,58	0,30	48,20	59,0%	66,78%	4,60	0,30	48.410	59.8	68.4
P66B-PZ67	4,59	0,30	48,34	59,0%	68,94%	4,63	0,31	48.937	61.1	70.7
PZ67-PZ68	5,89	0,30	79,82	59,0%	71,44%	6,01	0,31	82.105	62.4	73.0
PZ68-PZ69	5,76	0,29	74,69	48,6%	47,57%	5,76	0,29	74.551	48.6	48.7
PZ69-PZ70	4,94	0,36	51,49	51,5%	52,60%	4,95	0,36	51.657	51.4	53.7
PZ70-PZ71	4,93	0,37	51,16	52,2%	53,67%	4,93	0,37	50.973	52.2	55.0
PZ71-PZ72	4,40	0,47	38,03	59,0%	67,33%	4,44	0,48	38.564	60.0	68.6
PZ72-PZ73	4,44	0,47	38,67	59,0%	67,55%	4,47	0,48	39.071	60.2	69.1
PZ73-PZ75	5,52	0,41	61,42	51,7%	52,90%	5,51	0,41	61.222	51.7	54.2
PZ75-PZ76	5,71	0,41	65,93	50,7%	51,11%	5,70	0,41	65.773	50.7	52.3
PZ76-PZ77	5,75	0,40	66,96	50,6%	50,94%	5,76	0,40	67.294	50.5	51.9
PZ77-PZ78	4,22	0,47	34,93	59,0%	74,19%	4,30	0,52	35.873	64.4	76.4
PZ78-PZ79	4,62	0,47	42,01	59,0%	68,33%	4,68	0,48	42.770	60.5	69.7

Nota. Análisis de datos en la calle Cotopaxi. Elaborado por: Los Autores, a través (SewerGEMS.2026).

Tabla 34*Comparación de resultados hidráulicos para los tramos secundarios, (Excel-SewerGEMS).*

Comp. Resultados Colector	Excel					SewerGEMS				
	V (m)	Y (m)	τ (N/m)	Yn/Rise (%)	Cap. De Diseño (%)	V (m)	Y (m)	τ (N/m)	Yn/Rise (%)	Cap. De Diseño (%)
PZ5-PZ6	2,16	0,04	18,36	14,83%	4,75%	2.16	0.04	18.352	14.8	4.9
PZ6-PZ7	3,90	0,15	42,82	49,89%	49,81%	3.90	0.15	42.768	49.9	51.0
PZ7-PZ8	3,80	0,20	36,95	49,84%	49,73%	3.80	0.20	36.932	49.8	50.9
PZ8-PZ8B	3,29	0,24	25,85	48,26%	47,06%	3.28	0.24	25.616	48.4	48.4
PZ8B-PZ9	2,97	0,27	20,51	54,64%	57,95%	2.97	0.27	20.616	54.5	59.1
PZ9-PZ9B	4,46	0,21	48,85	42,66%	37,88%	4.45	0.21	48.690	42.7	38.8
PZ9B-PZ71	4,28	0,23	44,28	46,48%	44,10%	4.29	0.23	44.348	46.4	45.0
PZ23-PZ24	1,30	0,11	5,08	37,56%	30,00%	1.30	0.11	5.051	37.6	30.8
PZ24-PZ2	1,33	0,18	4,79	59,03%	71,04%	1.35	0.19	4.894	62.4	72.8
PZ2-PZ25	2,25	0,18	13,36	48,97%	48,25%	2.25	0.18	13.345	49.0	49.4
PZ25-PZ62	2,81	0,18	20,85	49,08%	48,45%	2.81	0.18	20.824	49.1	49.6
PZ6-PZ26B	1,52	0,12	6,94	38,53%	31,46%	1.52	0.12	6.895	38.6	32.3
PZ6B-PZ27	2,09	0,12	12,87	41,01%	35,27%	2.09	0.12	12.939	41.0	36.0
PZ27-PZ28	3,22	0,12	30,49	41,44%	35,93%	3.22	0.12	30.466	41.4	36.7
P28-PZ28B	2,23	0,18	13,11	50,30%	50,50%	2.23	0.18	13.113	50.3	51.6
P28B-PZ63	2,35	0,20	14,40	54,01%	56,87%	2.35	0.20	14.366	54.0	58.2
PZ9-PZ29B	1,72	0,07	10,11	23,88%	12,50%	1.72	0.07	10.162	23.9	12.7
P29B-PZ30	2,17	0,10	14,84	31,95%	22,10%	2.17	0.10	14.819	32.0	22.6
PZ30-PZ31	2,41	0,14	16,72	45,64%	42,71%	2.41	0.14	16.700	45.6	43.7
PZ31-PZ64	2,22	0,18	13,48	59,03%	72,31%	2.27	0.19	13.899	63.0	74.0
PZ32-PZ4	1,33	0,07	6,05	23,14%	11,75%	1.32	0.07	6.019	23.2	12.1
PZ4-PZ33	1,67	0,16	7,78	53,25%	55,55%	1.67	0.16	7.770	53.2	56.8
PZ33-PZ65	1,95	0,18	10,36	59,03%	72,33%	1.99	0.19	10.690	63.0	74.0
PZ15-PZ16	1,35	0,04	7,56	12,68%	3,43%	1.36	0.04	7.545	12.7	3.5
PZ16-PZ17	2,04	0,05	15,44	17,89%	6,98%	2.04	0.05	15.447	17.9	7.1
PZ17-PZ18	2,45	0,06	21,16	21,13%	9,79%	2.45	0.06	21.139	21.1	10.0
PZ10-PZ12	1,58	0,03	11,14	10,07%	2,12%	1.58	0.03	11.132	10.1	2.2
PZ12-PZ14	2,27	0,07	17,49	23,88%	12,50%	2.26	0.07	17.490	23.9	12.8
PZ14-PZ18	1,57	0,10	7,72	31,95%	22,11%	1.56	0.10	7.639	32.1	22.8

PZ18-PZ21	1,81	0,15	9,21	51,33%	52,26%	1.82	0.15	9.241	51.2	53.3
PZ19-PZ20	1,67	0,09	8,85	31,25%	21,19%	1.68	0.09	8.902	31.2	21.6
PZ20-PZ21	2,12	0,14	12,96	45,33%	42,19%	2.12	0.14	12.927	45.3	43.2
P21-PZ21B	2,89	0,17	22,27	47,67%	46,08%	2.89	0.17	22.279	47.6	47.1
P21B-PZ22	3,00	0,19	23,70	51,36%	52,31%	3.00	0.19	23.640	51.4	53.6
PZ22-PZ67	2,65	0,21	17,99	59,03%	69,76%	2.69	0.22	18.348	61.5	71.4
PZ34-PZ35	1,81	0,09	10,58	29,43%	18,87%	1.81	0.09	10.570	29.4	19.3
PZ35-PZ6	2,18	0,12	14,04	40,74%	34,84%	2.19	0.12	14.188	40.6	35.4
PZ36-PZ37	2,22	0,06	17,54	20,72%	9,41%	2.22	0.06	17.536	20.7	9.6
PZ37-PZ6	2,74	0,09	23,96	30,10%	19,71%	2.74	0.09	23.954	30.1	20.2
P38-PZ38B	1,43	0,08	6,92	25,03%	13,73%	1.44	0.08	6.937	25.0	14.0
PZ38B-PZ7	1,76	0,10	9,56	34,08%	25,01%	1.76	0.10	9.524	34.1	25.6
PZ39-PZ40	2,11	0,07	15,02	24,46%	13,12%	2.11	0.07	14.984	24.5	13.4
PZ40-PZ7	2,05	0,11	12,86	35,84%	27,49%	2.05	0.11	12.844	35.8	28.1
PZ41-PZ42	1,06	0,09	3,59	30,93%	20,78%	1.06	0.09	3.572	31.0	21.3
PZ42-PZ8	1,61	0,10	8,14	31,92%	22,07%	1.61	0.10	8.160	31.9	22.5
P59C-PZ60	2,11	0,04	17,70	14,20%	4,34%	2.11	0.04	17.700	14.2	4.4
PZ60-PZ8	0,91	0,13	2,40	44,74%	41,22%	0.91	0.13	2.394	44.8	42.2
PZ50-PZ51	2,08	0,06	15,54	20,14%	8,88%	2.09	0.06	15.584	20.1	9.1
PZ51-PZ52	2,16	0,08	15,61	25,39%	14,13%	2.16	0.08	15.616	25.4	14.4
PZ52-PZ53	2,75	0,09	23,93	31,02%	20,89%	2.75	0.09	23.892	31.0	21.4
PZ53-PZ55	3,00	0,10	28,23	31,93%	22,08%	3.00	0.10	28.187	31.9	22.6
PZ54-PZ55	1,51	0,07	7,84	23,22%	11,83%	1.51	0.07	7.847	23.2	12.1
PZ55-PZ56	2,54	0,18	17,60	59,03%	74,68%	2.61	0.19	18.337	64.4	76.4
PZ56-PZ57	2,35	0,21	14,12	59,03%	66,96%	2.36	0.22	14.210	59.9	68.5
PZ57-PZ59	2,96	0,19	20,30	51,41%	52,40%	2.93	0.21	21.810	51.8	54.3
PZ59-PZ69	3,53	0,16	29,73	45,03%	41,70%	3.54	0.18	32.778	45.0	42.5

Nota. Análisis de datos para todas las calles secundarias. Elaborado por: Los Autores, a través (SewerGEMS.2026).

Tabla 35*Comparación de resultados hidráulicos para los tramos terciarios (Excel-SewerGEMS).*

Comp. Resultados	Excel					SewerGEMS				
	V	Y	τ	Yn/Rise	Cap. De Diseño (%)	V	Y	τ	Yn/Rise	Cap. De Diseño (%)
Colector	(m/s)	(m)	(N/m²)	(%)	(%)	(m/s)	(m)	(N/m²)	(%)	(%)
PZ1-PZ2	2,15	0,05	17,83	15,7%	5,37%	2.15	0.05	17.824	15.7	5.5
PZ3-PZ4	2,07	0,05	16,39	16,2%	5,67%	2.07	0.05	16.380	16.2	5.8
PZ11-PZ12	1,18	0,07	4,86	22,5%	11,08%	1.19	0.07	4.899	22.4	11.3
PZ74-PZ73	2,01	0,06	14,44	20,1%	8,81%	2.01	0.06	14.980	20.0	9.0
P56B-PZ56	1,94	0,04	15,00	14,1%	4,30%	1.94	0.04	14.980	14.1	4.4
PZ58-PZ57	2,16	0,05	17,68	16,6%	5,98%	2.16	0.05	17.651	16.6	6.1

Nota. Análisis de datos en la calle Cotopaxi. Elaborado por: Los Autores, a través

(SewerGEMS 2026).

CONCLUSIONES

La viabilidad del proyecto se ratificó a través de una metodología de doble comprobación, empleando el uso del software de simulación dinámica SewerGEMS para el modelado hidráulico y una memoria de cálculo detallada en Microsoft Excel para la verificación analítica de los resultados.

En el diseño del sistema de alcantarillado combinado del CACPUDEP cumple satisfactoriamente con la totalidad de los requerimientos técnicos y parámetros de diseño establecidos por la normativa municipal vigente.

Se determinó que parámetros hidráulicos como las velocidades de flujo y el esfuerzo tractivo se mantienen dentro de los rangos operativos, asegurando un régimen de flujo a superficie libre y la capacidad de autolimpieza necesaria para un sistema combinado.

Al realizar el modelado hidráulico mediante el software SewerGEMS, se verifica que los resultados obtenidos presentan concordancia con los cálculos desarrollados en Excel, observándose variaciones mínimas en fracciones decimales.

RECOMENDACIONES

El proyecto atraviesa un área restringida de línea de alta tensión por lo que debería gestionarse permisos con la empresa eléctrica quito para realizar los trabajos de excavación y colocación de tuberías.

El diseño de un sistema de alcantarillado combinado debe ejecutarse con agilidad, ya que los cálculos efectuados se modifican con el crecimiento poblacional a lo largo del tiempo, y su ejecución posterior podría diferir de las condiciones de diseño originales, comprometiendo su factibilidad.

Para el manejo en el programa SewerGEMS se recomienda trabajar con una topografía adecuada y altimetría precisa mediante RTK, ya que estos facilitan un diseño más conciso y eficiente.

Asimismo, resulta indispensable la realización de estudios posteriores que permitan evaluar y sustentar técnicamente la implementación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), garantizando la adecuada disposición y tratamiento de las aguas recolectadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARGIS. (2025). *ARGIS. Localizacion geografica de Quito*. <https://www.arcgis.com>
- BENTLEY. (2025). *Tutoriales programa SewerGems*.<https://whawOpen Flows SewerGEMS>.
- Ecuador en cifras. (2024). *Boletín técnico agosto_2025*.www.ecuadorencifras.gob.ec.
- EMAAP-Q, E. M. (2009). *Normas de diseño del sistema de alcantarillado para la EMAAP-Q*.
www.aguaquito.gob.ec/alojamiento/proyecto/anexo.2022
- EPMAPS-QUITO. (14 de JUNIO de 2023). Norma Técnica de drenaje pluvial, Acantarillado Sanitario y Sepración de caudales para el Distrito Metropolitano de Quito.GG-048.www.registrooficial.gob.ec
- INEN. (2012). *Normas para estudio diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales*.
<https://www.insistec.ec/images/insistec/02cliente/07escargas/NTE%20INEN%201108%200%20AGUA%20POTABLE.%20REQUISITOS.pdf>
- Jervis, T. M. (27 de 08 de 2020). *Investigación descriptiva: características, técnicas, ejemplos*.
<https://www.lifeder.com/investigacion-descriptiva/>
- Lalangui Vivanco, V. R. (2022). *Diseño hidráulico de una red de alcantarillado con SewerGEMS para la parroquia Sabiango del cantón Macará, provincia de Loja* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio Institucional UTMACH.
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/19494>
- Llive Reimundo, V. V. (2020). *Diseño del sistema de alcantarillado combinado y estructuras especiales para los barrios altos de La Argelia etapa tres y cuatro, parroquia La Argelia, cantón Quito, provincia de Pichincha* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18473>
- López Cualla, R. A. (2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados* (Vol. 2da.Edición). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

- MIDUVI. (2011). *Código Ecuatoriano de la Construcción: NEC-11, Capítulo 6.02 Diseño de instalaciones-sanitarias.-Gobierno del Ecuador*. www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/
- O.M.S.(2024). *Agua y saneamiento*. <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/sanitation>
- O.M.S.(2024). *Agua para consumo humano*. <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/sanitation>
- Pérez Carmona, R. (2012). *Diseño y Construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras*. (Vol. III). Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.
- Sánchez, J., & Torres, M. (2021). *Análisis y diseño del sistema de alcantarillado combinado para el sector (Juan Bautista alto y bajo Cumbayá) mediante el uso de herramientas computacionales*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/367>
- SENPLADES. (2024-2025). *SENPLANDES: Agua potable y alcantarillado*. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. <https://biblioteca.desarrollohumano.gob.ec/bitstream/21000/2119/5/PLAN%20ESTRAT%C3%89GICO>
- Zambrano, A. N. (2015). *Recolección de Aguas Residuales* (Vol. Primera Edición). Bogotá: Lemoine editores.

ANEXOS