



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

CARRERA: INGENIERÍA CIVIL
INFORME FINAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL

MODALIDAD: PROYECTO TÉCNICO

TEMA:
DISEÑO HIDRÁULICO Y MODELAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL SISTEMA
DE DRENAJE PLUVIAL PARA VARIOS SECTORES DE LA CABECERA
CANTONAL DE PUERTO QUITO

ELABORADO POR:
CAÑARTE SANTANA JOSTIN ARIEL
DELGADO SOLÍS YANDRY EFRÉN

TUTOR
ING. ERIC CABRERA ESTUPIÑAN, PhD.

MANTA- MANABÍ – ECUADOR

2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

Como tutor académico de la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, certifico lo siguiente:

He supervisado y orientado la elaboración del trabajo de titulación, completando un total de 384 horas, bajo la modalidad de **Proyecto Técnico**. El tema del proyecto se titula **"DISEÑO HIDRÁULICO Y MODELAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL PARA VARIOS SECTORES DE LA CABECERA CANTONAL DE PUERTO QUITO"**. Este proyecto ha sido desarrollado conforme a los lineamientos internos de la mencionada modalidad, y ha cumplido con los requisitos establecidos por el Reglamento de Régimen Académico. Por lo tanto, **certifico** que el proyecto mencionado posee los méritos académicos, científicos y formales necesarios para ser evaluado por el tribunal de titulación designado por la autoridad competente.

La autoría del tema desarrollado corresponde a Cañarte Santana Jostin Ariel y Delgado Solís Yandry Efrén, estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil, periodo académico 2026 (1), quienes se encuentran aptos para la sustentación de su trabajo de titulación.

Certifico lo anterior para los fines pertinentes, a menos que la ley disponga lo contrario.

Manta, 06 de agosto de 2026.

Lo certifico.



Ing. Eric Cabrera Estupiñán, PhD

C.C. 095961983-4

Tutor

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Yo, Jostin Ariel Cañarte Santana con CC: 1351217292, doy constancia de ser el autor del Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto técnico con el tema **"DISEÑO HIDRÁULICO Y MODELAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL PARA VARIOS SECTORES DE LA CABECERA CANTONAL DE PUERTO QUITO"**, el cual fue dirigido por el tutor, Ing. Eric Cabrera Estupiñán, PhD.

Quiero resaltar la originalidad de este trabajo, que se fundamenta en la contribución de varios autores que enriquecieron la investigación, así como en la recopilación de datos e información provenientes de fuentes bibliográficas, visitas de campo, entre otros recursos.

En la ciudad de Manta, a los seis días del mes de agosto de dos mil veintiséis.

Jostin Cañarte

Jostin Ariel Cañarte Santana

C.C. 1351217292

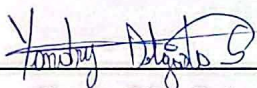
Autor

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Yo, Yandry Efrén Delgado Solís con CC:1350935399, doy constancia de ser el autor del Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto técnico con el tema "**DISEÑO HIDRÁULICO Y MODELAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL PARA VARIOS SECTORES DE LA CABECERA CANTONAL DE PUERTO QUITO**", el cual fue dirigido por el tutor, Ing. Eric Cabrera Estupiñán, PhD.

Quiero resaltar la originalidad de este trabajo, que se fundamenta en la contribución de varios autores que enriquecieron la investigación, así como en la recopilación de datos e información provenientes de fuentes bibliográficas, visitas de campo, entre otros recursos.

En la ciudad de Manta, a los seis días del mes de agosto de dos mil veintiséis.



Yandry Efrén Delgado Solís

C.C.1350935399

Autor

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

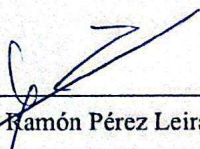


UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación siguiendo la modalidad de Proyecto Técnico, titulado: **“DISEÑO HIDRÁULICO Y MODELAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL PARA VARIOS SECTORES DE LA CABECERA CANTONAL DE PUERTO QUITO”**, elaborado por los egresados **CAÑARTE SANTANA JOSTIN ARIEL** y **DELGADO SOLÍS YANDRY EFRÉN**, de la Carrera de Ingeniería Civil.

INGENIEROS CIVILES

Aprobado por el Tribunal Examinador



Dr. Ramón Pérez Leira
Miembro del tribunal



Ing. Horacio Antonio Cedeño Muñoz
Miembro del tribunal

DEDICATORIA

Dedico con mucho cariño este proyecto a mis padres, por acompañarme durante toda mi formación académica y brindarme el apoyo y la motivación necesaria para culminar esta etapa importante en mi vida.

Jostin Ariel Cañarte Santana

C.C. 1351217292

Autor

DEDICATORIA

Dedico este proyecto, con todo mi amor y gratitud, a mi madre, quien ha sido el pilar fundamental de mi vida y mi mayor fuente de inspiración para alcanzar mis sueños. A ella, por su amor incondicional, sus sacrificios y por estar siempre a mi lado, brindándome la fuerza necesaria para seguir adelante y nunca rendirme. A mis hermanos, por su apoyo constante, sus palabras de aliento y por acompañarme en cada paso de este camino.

A mi padrastro, por su apoyo, sus consejos y por confiar siempre en mis capacidades y en todo aquello que me he propuesto alcanzar. A cada uno de ustedes, gracias por creer en mí y por ser parte fundamental de este logro que hoy representa la culminación de una etapa muy importante de mi vida. Con profunda gratitud, les dedico este proyecto, fruto de mi esfuerzo, perseverancia y del amor de quienes siempre han estado a mi lado.

Yandry Efrén Delgado Solís

C.C. 1350935399

Autor

AGRADECIMIENTO

Agradezco especialmente a mis padres, quienes con su esfuerzo, confianza y apoyo permanente me permitieron alcanzar esta meta. También agradezco a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí y a los docentes de la carrera de Ingeniería Civil por los conocimientos adquiridos durante mi formación. De manera especial, agradezco a mi tutor por su orientación técnica y académica en el desarrollo de este proyecto.

Jostin Ariel Cañarte Santana

C.C. 1351217292

Autor

Agradezco profundamente a mi madre, a mis hermanos y a mi padrastro, por su amor, apoyo y compañía durante este importante camino, siendo parte principal para alcanzar esta meta. A la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y crecer tanto en conocimientos como en valores. A todos los ingenieros y docentes, por compartir sus conocimientos y enseñanzas, contribuyendo al fortalecimiento de nuestras capacidades para afrontar los desafíos de nuestra profesión.

A mi grupo de compañeros, por todo el apoyo académico y personal brindado durante nuestra formación, por ser un excelente grupo y demostrar siempre que juntos podíamos superar cada desafío que se presentaba.

De manera especial, agradezco al Dr. Eric Cabrera, por su dedicación, orientación y acompañamiento como tutor durante el desarrollo de este proyecto, guiándonos para alcanzar los mejores resultados.

Yandry Efrén Delgado Solís

C.C. 1350935399

Autor

Resumen

El presente proyecto técnico desarrolla el diseño hidráulico y la modelación hidrodinámica del sistema de drenaje pluvial para varios sectores de la cabecera cantonal de Puerto Quito. La metodología integró información topográfica, ortoimágenes y capas espaciales procesadas en QGIS, las cuales fueron estructuradas mediante Generate SWMM INP y simuladas en EPA SWMM 5.2. Se utilizó una lluvia sintética con período de retorno de 10 años, duración de 2 horas e intervalos de 5 minutos, con una precipitación total de 76,852 mm y una lámina máxima de 9,513 mm. El diagnóstico de la red existente identificó cobertura parcial y siete conductos con condiciones hidráulicas críticas. A partir de estos resultados se desarrolló una red propuesta conformada por 160 subcuencas, 185 pozos de revisión, 185 conductos y 33 descargas. La simulación registró un caudal máximo de 1.543,24 l/s, una relación máxima $y_{\max} / D$ de 0,97 y una velocidad máxima de 10,12 m/s. La red propuesta amplía la cobertura y mejora la conducción de la escorrentía; sin embargo, requiere revisar el llenado del conducto T-10 y controlar la velocidad en el conducto T-100 antes de adoptar el diseño definitivo.

Palabras clave: drenaje pluvial, EPA SWMM 5.2, modelación hidrodinámica, lluvia de diseño.

Abstract

This technical project develops the hydraulic design and hydrodynamic modeling of the stormwater drainage system for several sectors of the cantonal capital of Puerto Quito. The methodology integrated topographic information, orthophotos, and spatial layers processed in QGIS, which were structured using Generate SWMM INP and simulated in EPA SWMM 5.2. A synthetic design storm with a 10-year return period, a duration of 2 hours, and 5-minute intervals was used, with a total precipitation depth of 76.852 mm and a maximum 5-minute rainfall depth of 9.513 mm. The diagnosis of the existing network identified partial coverage and seven conduits with critical hydraulic conditions. Based on these results, a proposed network was developed, consisting of 160 subcatchments, 185 junctions, 185 conduits, and 33 outfalls. The simulation recorded a maximum flow of 1,543.24 l/s, a maximum $y_{\max} / D$ ratio of 0.97, and a maximum velocity of 10.12 m/s. The proposed network expands system coverage and improves stormwater conveyance; however, the filling condition of conduit T-10 and the velocity in conduit T-100 must be reviewed before adopting the final design.

Keywords: stormwater drainage, EPA SWMM 5.2, hydrodynamic modeling, design storm.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	ANTECEDENTES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
2.1	Antecedentes del sistema de drenaje pluvial de Puerto Quito.....	3
2.2	Descripción del sistema existente.....	3
2.3	Identificación del problema.....	4
2.4	Formulación del problema.....	4
2.5	Delimitación y alcance	4
3	OBJETIVOS.....	5
3.1	Objetivo general	5
3.2	Objetivos específicos.....	5
4	JUSTIFICACIÓN.....	6
5	CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL Y NORMATIVO.....	7
5.1	Drenaje pluvial urbano	7
5.1.1	Escorrentía superficial en zonas urbanas.....	7
5.2	Componentes del sistema de drenaje.....	8
5.2.1	Sumideros y rejillas transversales.....	8
5.2.2	Tirantes de sumideros.....	8
5.2.3	Pozos de revisión.....	8
5.2.4	Colectores	9
5.2.5	Descargas.....	9
5.3	Métodos de cálculo de caudales de aguas lluvias.....	9
5.3.1	Método racional.....	9
5.3.2	Coeficiente de escurrimiento	10
5.3.3	Área tributaria.....	11
5.3.4	Intensidad de precipitación.....	11
5.3.5	Tiempo de concentración.....	12

5.4	Lluvia de diseño	13
5.4.1	Intensidad y duración de la precipitación	13
5.4.2	Frecuencia y período de retorno	14
5.4.3	Pluviogramas de diseño	15
5.4.4	Factor de reducción areal.....	15
5.4.5	Hidráulica de redes de recolección.....	15
5.4.6	Hidráulica de sumideros	15
5.4.7	Hidráulica de tuberías	16
5.4.8	Ecuación de Manning	17
5.4.9	Capacidad de conducción	17
5.4.10	Velocidad del flujo	18
5.4.11	Relación entre caudal máximo y caudal a tubería llena	18
5.4.12	Relación entre tirante máximo y diámetro	19
5.5	Parámetros y criterios de diseño	19
5.5.1	Configuración y funcionamiento de la red	20
5.5.2	Diámetro mínimo y recubrimiento	20
5.5.3	Pendiente de los conductos.....	20
5.5.4	Velocidad mínima y condición de autolimpieza	21
5.5.5	Velocidad máxima.....	22
5.5.6	Capacidad de llenado.....	22
5.5.7	Pozos y cajas de revisión	23
5.5.8	Cunetas y sumideros.....	23
5.5.9	Estructuras de descarga	24
5.5.10	Criterios de aceptación del diseño	24
5.6	Modelación hidrológica-hidráulica.....	25
5.6.1	Modelo hidrológico	25
5.6.2	Representación de la infiltración	26

5.6.3	Modelo hidráulico	26
5.6.4	Métodos de propagación hidráulica.....	27
5.6.5	Simulación en período extendido	28
5.6.6	Sobrecarga e inundación de nodos	28
5.7	EPA SWMM 5.2	29
5.7.1	Organización del modelo.....	30
5.7.2	Subcuencas (Subcatchment).....	30
5.7.3	Pluviómetros (Rain Gage)	31
5.7.4	Pozos de revisión (Junctions)	31
5.7.5	Conductos (Conduits).....	32
5.7.6	Descargas (Outfalls)	33
5.7.7	Opciones de simulación.....	33
5.7.8	Resultados del modelo.....	34
5.7.9	Perfiles hidráulicos	35
5.8	QGIS y Generate SWMM INP	35
5.8.1	Preparación de la información espacial	35
5.8.2	Capas del modelo hidrológico-hidráulico.....	36
5.8.3	Esqueletización de la red	36
5.8.4	Asignación de atributos	37
5.8.5	Complemento Generate SWMM INP	37
5.8.6	Archivo de entrada .inp	38
5.9	Marco normativo	38
5.9.1	Normativa nacional.....	38
5.9.2	Planificación local	39
5.9.3	Referencias técnicas	39
6	CAPÍTULO 2. MEMORIA DE DIAGNÓSTICO Y CÁLCULO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO	41

6.1	Ubicación y caracterización del área de estudio.....	41
6.1.1	Ubicación de Puerto Quito	41
6.1.2	Polígono de intervención	42
6.1.3	Sistema de coordenadas y cartografía empleada	42
6.2	Evaluación del sistema existente	42
6.3	Inventario de componentes.....	44
6.3.1	Sumideros y rejilla transversal	44
6.3.2	Tirantes	45
6.3.3	Pozos de revisión.....	45
6.3.4	Colectores	47
6.3.5	Descargas.....	48
6.4	Simulación hidrodinámica de la red existente.....	49
6.4.1	Subcuencas de drenaje.....	50
6.4.2	Resultados de la simulación.	53
7	CAPÍTULO 3. MODELO COMPUTACIONAL.....	56
7.1	Flujo de trabajo QGIS-SWMM	56
7.2	Configuración del modelo	57
7.3	Modelo de la red existente.....	61
7.4	Modelo de la red propuesta	65
7.4.1	Resultados de simulación	67
7.5	Verificación hidráulica de la red propuesta.....	70
7.5.1	Grado de llenado de los conductos	70
7.5.2	Caudales máximos.....	70
7.5.3	Relación entre caudal máximo y caudal a tubería llena	71
7.6	Síntesis del capítulo.....	71
8	CAPÍTULO 4. MEMORIA GRÁFICA	73
8.1	Sistema de alcantarillado pluvial existente.....	73

8.2	Preparación del modelo espacial	74
8.3	Implantación del diseño propuesto	74
8.4	Verificación hidráulica para el diseño propuesto	75
8.5	Diseño propuesto	75
9	CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN ECONÓMICA REFERENCIAL Y ANÁLISIS PRELIMINAR DE VIABILIDAD DE LA RED PROPUESTA	76
9.1	Presupuesto referencial.....	76
9.2	Análisis preliminar de viabilidad.....	77
9.2.1	Viabilidad técnica y constructiva	77
9.2.2	Viabilidad económica	78
9.2.3	Viabilidad ambiental, social y operativa	79
9.3	Condiciones para la implementación.....	80
9.4	Síntesis del capítulo.....	80
10	CONCLUSIONES.....	81
11	RECOMENDACIONES	83
12	BIBLIOGRAFÍA	84
13	ANEXOS.....	86

Índice de ilustraciones

FIG. 6-1 UBICACIÓN DE PUERTO QUITO A ESCALA PAÍS.....	41
FIG. 6-2 SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL EXISTENTE EN PUERTO QUITO.....	43
FIG. 6-3 CONFIGURACIÓN DE SUMIDEROS Y COLECTORES.....	44
FIG. 6-4 CONFIGURACIÓN DE REJILLA TRANSVERSAL Y COLECTORES.....	45
FIG. 6-5 CONFIGURACIÓN DE POZOS DE REVISIÓN Y COLECTORES.	46
FIG. 6-6 PROYECTO EN QGIS PARA MODELO DE FLUJO DE LA RED EXISTENTE.	48
FIG. 6-7 PROYECTO EN QGIS PARA MODELO DE FLUJO DE LA RED EXISTENTE.	50
FIG. 6-8 VALORES DE CN ASOCIADO A LAS ÁREAS DE DRENAJE.	53
FIG. 6-9 VALORES DE CAPACIDAD DE LLENADO DE TUBERÍAS (SIMULACIÓN DE LA RED EXISTENTE).....	54
FIG. 6-10 VALORES DE CAUDALES EN LAS TUBERÍAS (SIMULACIÓN DE LA RED EXISTENTE).	54
FIG. 6-11 VALORES DE VELOCIDADES EN LAS TUBERÍAS (SIMULACIÓN DE LA RED EXISTENTE).....	55
FIG. 7-1 PREPARACIÓN DEL MODELO DE LA RED EXISTENTE EN QGIS Y GENERATE SWMM INP.....	57
FIG. 7-2 CAPACIDAD DE LLENADO DE LOS CONDUCTOS DE LA RED EXISTENTE.	62
FIG. 7-3 CAUDALES EN LOS CONDUCTOS DE LA RED EXISTENTE.	62
FIG. 7-4 VELOCIDADES EN LOS CONDUCTOS DE LA RED EXISTENTE.	63
FIG. 7-5 PERFIL HIDRÁULICO REPRESENTATIVO DE LA RED EXISTENTE: LÍNEA PZ-2 - O-16.	64
FIG. 7-6 PERFIL HIDRÁULICO REPRESENTATIVO DE LA RED EXISTENTE: LÍNEA PZ-63 - O-7.	64
FIG. 7-7 VISTA GENERAL DEL SISTEMA DISEÑADO PARA LA RED PROPUESTA.....	66
FIG. 7-8 ÁREAS DE DRENAJE ASOCIADAS A LAS DESCARGAS DE LA RED PROPUESTA.	66
FIG. 7-9 DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE CURVA CN EN LA RED PROPUESTA.	67
FIG. 7-10 CAPACIDAD DE LLENADO MÁXIMA DE LOS CONDUCTOS, RED PROPUESTA.....	68
FIG. 7-11 CAUDAL MÁXIMO EN LOS CONDUCTOS, RED PROPUESTA.....	68
FIG. 7-12 VELOCIDAD MÁXIMA EN LOS CONDUCTOS, RED PROPUESTA.	68
FIG. 7-13 PERFIL HIDRÁULICO PRINCIPAL DE LA RED PROPUESTA.	69
FIG. 7-14 SEGUNDO PERFIL HIDRÁULICO PRINCIPAL DE LA RED PROPUESTA.	69
FIG. 8-1 CONFIGURACIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PLUVIAL EXISTENTE.	73
FIG. 8-2 PREPARACIÓN DEL MODELO EN QGIS Y GENERATE SWMM INP.	74
FIG. 8-3 VISTA GENERAL DEL SISTEMA DISEÑADO PARA EL DISEÑO PROPUESTO.....	74

FIG. 8-4 CAPACIDAD DE LLENADO MÁXIMA DE LOS CONDUCTOS PARA EL DISEÑO PROPUESTO.	75
FIG. 8-5 IMPLANTACIÓN GENERAL DE LA DISEÑO PROPUESTO.	75

Índice de tablas

TABLA 5-1 PRINCIPALES OBJETOS UTILIZADOS EN EL PROYECTO DE REDES PLUVIALES...	30
TABLA 5-2 DOCUMENTOS NORMATIVOS PRINCIPALES	39
TABLA 6-1: SUMIDEROS Y REJILLAS TRANSVERSALES.	44
TABLA 6-2 TIRANTES DE SUMIDEROS.	45
TABLA 6-3 POZOS DE REVISIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE (TIPO DE ESTRUCTURA).	46
TABLA 6-4 POZOS DE REVISIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE (TIPO DE TAPA).	46
TABLA 6-5 LONGITUD DE LAS TUBERÍAS EXISTENTES SEGÚN DIÁMETRO Y MATERIAL.....	47
TABLA 6-6 DATOS DE LAS DESCARGAS EXISTENTES DEL SISTEMA DE AALL.	48
TABLA 6-7: DATOS DE LAS ÁREAS DE DRENAJE PARA EL MODELO DE SWMM.	50
TABLA 7-1 FLUJO DE TRABAJO APLICADO AL MODELO COMPUTACIONAL.....	56
TABLA 7-2 CONDICIONES DE SIMULACIÓN DE LA RED EXISTENTE Y DE LA RED PROPUESTA.	57
TABLA 7-3 INTENSIDAD DE LA LLUVIA DE 24 HORAS PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO.	58
TABLA 7-4 OBTENCIÓN DEL PLUVIOGRAMA DE LA ESTACIÓN M0025 PARA $T_r = 10$ AÑOS, $T = 2$ H E INTERVALOS DE 5 MIN.	58
TABLA 7-5 OBTENCIÓN DEL PLUVIOGRAMA DE LA ESTACIÓN M0156 PARA $T_r = 10$ AÑOS, $T = 2$ H E INTERVALOS DE 5 MIN.	59
TABLA 7-6 OBTENCIÓN DEL PLUVIOGRAMA DEFINITIVO PARA PUERTO QUITO.	60
TABLA 7-7 RESUMEN DEL MODELO DE LA RED EXISTENTE.	61
TABLA 7-8 TRAMOS CRÍTICOS IDENTIFICADOS EN LA RED EXISTENTE.	63
TABLA 7-9 RESUMEN DEL MODELO DE LA RED PROPUESTA.	65
TABLA 7-10 CONDUCTOS ELIMINADOS O MODIFICADOS EN LA RED PROPUESTA.....	67
TABLA 7-11 TABLA DE APOYO. VERIFICACIONES HIDRÁULICAS COMPLEMENTARIAS DE LA RED PROPUESTA.	69
TABLA 7-12 VERIFICACIÓN HIDRÁULICA DE LOS PRINCIPALES CONDUCTOS DE LA RED PROPUESTA.	71
TABLA 9-1 PRESUPUESTO REFERENCIAL DE LA RED PROPUESTA.....	76
TABLA 9-2 COSTOS DE LAS MEDIDAS AMBIENTALES	77

Índice de anexos

ANEXO 1. APU REPLANTEO Y NIVELACIÓN DEL EJE DE LA RED.....	86
ANEXO 2. APU CORTE Y DEMOLICIÓN DE PAVIMENTO ASFALTICO.....	86
ANEXO 3. APU EXCAVACIÓN MECÁNICA DE ZANJA EN SUELO COMÚN, PROFUNDIDAD HASTA 2.00MM	87
ANEXO 4. APU ENTIBADO DISCONTINUO DE ZANJA	87
ANEXO 5. APU CAMA DE ARENA COLOCADA, NIVELADA Y COMPACTADA.....	88
ANEXO 6. APU SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC PARA ALCANTARILLADO, D=250MM	88
ANEXO 7. APU SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC PARA ALCANTARILLADO, D=315 MM.....	89
ANEXO 8. APU SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC PARA ALCANTARILLADO, D=400 MM.....	89
ANEXO 9. APU SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC PARA ALCANTARILLADO, D=500 MM.....	90
ANEXO 10. APU SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC PARA ALCANTARILLADO, D=400 MM.....	90
ANEXO 11. APU RELLENO Y COMPACTACIÓN CON MATERIAL PRODUCTO DE EXCAVACIÓN	91
ANEXO 12. APU RELLENO Y COMPACTACIÓN CON MATERIAL DE MEJORAMIENTO	91
ANEXO 13. APU POZO DE REVISIÓN DE HORMIGÓN ARMADO, D=1.20M, H<2.00M, INCLUYE TAPA	92
ANEXO 14. APU SUMIDERO SIMPLE DE HORMIGÓN ARMADO	93
ANEXO 15. APU CABEZAL DE DESCARGA DE HORMIGÓN ARMADO CON PROTECCIÓN DE ENROCADO.....	94
ANEXO 16. APU REPOSICIÓN DE PAVIMENTO ASFÁLTICO, ESPESOR REFERENCIAL 5CM..	95
ANEXO 17. APU TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN AUTORIZADA DE ESCOMBROS	95
ANEXO 18. APU SEÑALIZACIÓN, CONTROL DE TRÁNSITO Y SEGURIDAD TEMPORAL DEL FRENTE DE OBRA.....	96
ANEXO 19. APU RIEGO PARA CONTROL DE POLVO EN EL FRENTE DE OBRA	96
ANEXO 20. APU JORNADA DE CAPACITACIÓN EN SEGURIDAD Y MANEJO AMBIENTAL	97
ANEXO 21. APU MONITOREO AMBIENTAL Y ELABORACIÓN DE INFORME MENSUAL	97
ANEXO 22. APU BARRERA TEMPORAL PARA CONTROL DE SEDIMENTOS	98

1 INTRODUCCIÓN

La expansión urbana reduce la infiltración natural debido a la construcción de viviendas, vías, aceras y cubiertas, incrementando la escorrentía superficial y generando acumulaciones de agua, deterioro vial, afectaciones a inmuebles, problemas de movilidad y erosión en los puntos de descarga. Por ello, el diseño de sistemas de drenaje pluvial representa un componente importante para el desarrollo urbano sostenible.

En Puerto Quito, la red existente presenta cobertura parcial, concentrada principalmente en las zonas urbanas consolidadas y dispersa en los sectores periféricos. Esta condición requiere evaluar su funcionamiento hidráulico, capacidad de conducción y necesidad de ampliación. El diagnóstico comprende la relación entre las áreas de drenaje, la precipitación de diseño, los caudales generados, las pendientes, los diámetros, las velocidades y los grados de llenado, debido a que la red puede presentar insuficiencias localizadas por capacidad limitada, pendientes desfavorables, deterioro de materiales o sobrecarga hidráulica durante lluvias intensas.

El diseño hidráulico y la modelación hidrodinámica para varios sectores de la cabecera cantonal de Puerto Quito se desarrollan a partir de la caracterización del área de estudio, el inventario de la infraestructura existente, la delimitación de subcuencas, la determinación de los parámetros hidrológicos y la construcción de una lluvia sintética con período de retorno de diez años. La información territorial se procesa en QGIS y se integra en EPA SWMM 5.2 para obtener resultados de caudal, velocidad, profundidad de flujo, grado de llenado, sobrecarga y funcionamiento de las descargas.

A partir del diagnóstico se desarrolla una red propuesta que aprovecha los componentes funcionales del sistema existente, sustituye o modifica los conductos con condiciones críticas e incorpora nuevos pozos, colectores y estructuras de descarga en los sectores con cobertura insuficiente. Su comportamiento se verifica bajo las mismas condiciones hidrológicas utilizadas para analizar la red existente. La evaluación se complementa con criterios técnicos, constructivos, económicos, ambientales, sociales y operativos, considerando el costo referencial de las obras, las condiciones de ejecución, las necesidades de mantenimiento, los impactos temporales y los riesgos asociados a su implementación.

La estructura del trabajo comprende el marco teórico, conceptual y normativo; la memoria de diagnóstico y cálculo hidrológico-hidráulico; la construcción y evaluación del modelo

computacional; la memoria gráfica de la red; la evaluación económica referencial y el análisis preliminar de viabilidad de la propuesta. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones del proyecto técnico, con el propósito de establecer una solución sustentada que amplíe la cobertura, mejore la evacuación de la esorrentía y sirva como base para el diseño definitivo del sistema de drenaje pluvial de Puerto Quito.

2 ANTECEDENTES Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Antecedentes del sistema de drenaje pluvial de Puerto Quito

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Puerto Quito impulsó estudios técnicos para mejorar los sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial de varios sectores de la cabecera cantonal. Como parte de este proceso, el tutor del presente trabajo, con la participación de los autores, desarrolló el estudio de prefactibilidad y factibilidad que reúne la información técnica utilizada como base para este proyecto.

El estudio previo contiene el levantamiento de la infraestructura existente, información topográfica, ortoimágenes, planimetría urbana, delimitación de subcuencas, caracterización hidrológica, definición de la lluvia de diseño y modelación hidrodinámica en EPA SWMM 5.2. Esta información permitió diagnosticar el funcionamiento de la red existente e identificar sectores con cobertura insuficiente y conductos con capacidad hidráulica limitada.

A partir de esta información se desarrolla la presente tesis bajo la modalidad de proyecto técnico. El trabajo adopta una única configuración como red propuesta, sin realizar análisis, comparación ni selección de alternativas. Su alcance comprende el dimensionamiento de nuevos componentes, el aprovechamiento o sustitución de la infraestructura existente y la verificación hidráulica del diseño mediante EPA SWMM 5.2.

De esta manera, el estudio de prefactibilidad y factibilidad constituye el antecedente técnico y la fuente organizada de información, mientras que la tesis se enfoca en desarrollar y verificar el funcionamiento de la red propuesta para los sectores considerados de la cabecera cantonal de Puerto Quito.

2.2 Descripción del sistema existente

El sistema existente opera principalmente por gravedad y está conformado por ramales secundarios que captan la escorrentía superficial y la conducen hacia colectores principales y puntos de descarga. En la infraestructura se cuentan 157 sumideros, 26 rejillas transversales, 90 pozos de revisión, tuberías de PVC, hormigón simple y hormigón armado, además de 15 puntos de descarga localizados principalmente en las zonas bajas del área urbana.

La mayor cobertura se concentra en las zonas central y norte de la cabecera cantonal, donde existe una mayor consolidación urbana. En los sectores periféricos se identifican ramales cortos, descargas independientes, infraestructura dispersa y ausencia de continuidad hidráulica.

2.3 Identificación del problema

La red actual no cubre de manera integral los sectores considerados en el proyecto. La simulación de la infraestructura existente identifica varios conductos con relaciones de llenado elevadas, entre ellos T-10, T-29, T-31, T-32, T-33, T-48 y T-64. Alcanzado el tirante máximo en toda la sección del diámetro, se reduce la reserva hidráulica y se favorece, en algunos casos, el funcionamiento temporal en sobrecarga.

Los problemas identificados son insuficiencia de cobertura, tramos con capacidad limitada, materiales que requieren sustitución y necesidad de conducir los caudales hacia descargas estables. De ahí que se vuelva necesaria una configuración que aproveche la infraestructura útil, corrija los puntos críticos y distribuya adecuadamente los aportes generados por la lluvia de diseño.

2.4 Formulación del problema

¿Qué configuración y dimensiones debe tener la red de drenaje pluvial propuesta para captar, conducir y descargar de forma segura la esorrentía generada por la lluvia de diseño en varios sectores de la cabecera cantonal de Puerto Quito?

2.5 Delimitación y alcance

El proyecto se delimita espacialmente al polígono de intervención de la cabecera cantonal de Puerto Quito, con una superficie aproximada de 2,25 km². El análisis comprende la infraestructura pluvial existente y los sectores incorporados en la red propuesta, incluyendo subcuencas, sumideros, pozos de revisión, conductos y puntos de descarga.

El alcance hidrológico considera una lluvia sintética con período de retorno de 10 años, duración de 120 minutos e intervalos de 5 minutos. La caracterización incluye las áreas de drenaje, el porcentaje de impermeabilización, la rugosidad superficial, el almacenamiento en depresiones y el número de curva.

El alcance hidráulico comprende el diagnóstico de la red existente, el dimensionamiento de la red propuesta y su simulación en EPA SWMM 5.2. La verificación considera caudales, velocidades, relaciones de llenado, sobrecargas y condiciones de descarga.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Diseñar el sistema de drenaje pluvial para la cabecera cantonal de Puerto Quito, mediante la caracterización hidrológica, el diagnóstico de infraestructura existente y la modelación hidrodinámica con EPA SWMM 5.2, con el fin de verificar su capacidad para conducir la esorrentía generada por la lluvia de diseño.

3.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado y funcionamiento hidráulico del sistema de drenaje existente, mediante el inventario y análisis de sumideros, pozos de revisión, conductos, áreas tributarias y puntos de descarga.
- Determinar los parámetros hidrológicos de diseño del área de estudio, considerando las precipitaciones máximas, período de retorno, distribución temporal de lluvia, características de subcuencas y el índice de impermeabilización urbana.
- Dimensionar la red de drenaje pluvial propuesta, definiendo la ubicación y las características hidráulicas de sumideros, pozos de revisión, colectores y estructuras de descarga.
- Modelar el comportamiento hidrodinámico de la red propuesta mediante EPA SWMM 5.2.
- Verificar los caudales, velocidades, relaciones de llenado, sobrecargas y condiciones de descarga de la red propuesta.
- Analizar preliminarmente las condiciones de viabilidad técnica, constructiva, económica, ambiental, social y operativa de la red propuesta, considerando su desempeño hidráulico, costos referenciales y condiciones de implementación.

4 JUSTIFICACIÓN

La justificación del proyecto se sustenta en consideraciones técnicas, sociales, ambientales, económicas y académicas. La red de drenaje pluvial existente presenta cobertura parcial y conductos con condiciones hidráulicas críticas, por lo que se requiere desarrollar una red propuesta que mejore la captación, conducción y descarga de las aguas lluvias en los sectores considerados de la cabecera cantonal de Puerto Quito.

Desde el punto de vista técnico, la integración de QGIS, Generate SWMM INP y EPA SWMM 5.2 permite organizar la información territorial, representar las subcuencas y la infraestructura y verificar el comportamiento hidrodinámico de la red. La modelación permite evaluar caudales, velocidades, relaciones de llenado, sobrecargas y condiciones de descarga, y sustenta el dimensionamiento de conductos, pozos y demás componentes del sistema. En el ámbito social, la ampliación y mejoramiento del drenaje contribuyen a reducir la acumulación de agua sobre vías y espacios públicos, disminuyendo las afectaciones a viviendas, comercios, movilidad y seguridad de la población durante lluvias intensas.

Desde la perspectiva ambiental, el proyecto considera la conducción controlada de la escorrentía y la protección de los puntos de descarga, con el propósito de disminuir procesos erosivos, inestabilidad del terreno y posibles afectaciones a los cuerpos receptores. En el componente económico, el presupuesto referencial permite estimar la inversión necesaria para implementar la red propuesta y realizar un análisis preliminar de sus condiciones de viabilidad económica. Estos valores deberán actualizarse durante el diseño definitivo, considerando cantidades de obra, precios unitarios, condiciones constructivas y costos asociados a la operación y mantenimiento

En el ámbito académico, el proyecto integra conocimientos de hidrología, hidráulica, drenaje urbano, sistemas de información geográfica y modelación hidrodinámica. La metodología aplicada comprende el diagnóstico de la infraestructura existente, la delimitación de subcuencas, la definición de la lluvia de diseño, el dimensionamiento de la red propuesta y su verificación mediante EPA SWMM 5.2. En conjunto, el proyecto proporciona una solución técnicamente sustentada para ampliar la cobertura y mejorar el funcionamiento del drenaje pluvial de Puerto Quito, y constituye una base para el desarrollo posterior del diseño definitivo.

5 CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL Y NORMATIVO

5.1 Drenaje pluvial urbano

El Urban Drainage Design Manual (FHWA, 2024) señala que el sistema de drenaje pluvial urbano debe articular los procesos de recolección, conducción y descarga, integrando lluvia, escorrentía y capacidad hidráulica de sus estructuras. En la práctica, este sistema se define como el conjunto de obras que captan, conducen y descargan la escorrentía generada por lluvias en zona urbana, para evitar su acumulación sobre calles, aceras y edificaciones, garantizando así seguridad y funcionalidad durante eventos de precipitación.

Un sistema convencional opera mediante la captación de escorrentía a través de sumideros y rejillas, su transporte por conductos, canales o colectores, y su descarga en un punto final, su dimensionamiento depende de las áreas tributarias y de la lluvia de diseño. El análisis del drenaje no se limita al diámetro de una tubería. Relaciona la escorrentía superficial con el comportamiento hidráulico de toda la red. EPA SWMM modela este proceso: subcuencas reciben precipitación, generan escorrentía, y esta es transportada por conductos, canales y otras estructuras (Rossman & Simon, 2022).

Los sistemas de drenaje pluvial convencionales operan por gravedad, e l agua captada se desplaza de cotas superiores a inferiores por diferencia de energía entre puntos de la red. La capacidad de transporte y la velocidad del flujo están controladas, en una red por gravedad, por la pendiente, la geometría y la rugosidad de los conductos.

5.1.1 Escorrentía superficial en zonas urbanas

La escorrentía superficial se genera cuando la precipitación supera la capacidad de infiltración, almacenamiento y retención de la superficie. En áreas urbanas, el incremento de pavimentos, cubiertas y aceras reduce la infiltración y aumenta el volumen y la rapidez del escurrimiento hacia el sistema de drenaje (Chow et al., 1994).

Modelos hidrológicos urbanos (físicos): dividen el dominio en subcuencas homogéneas. Factores condicionantes de escorrentía: área de drenaje, pendiente, rugosidad superficial, almacenamiento en depresiones e infiltración del suelo. En áreas urbanas: superficies impermeables (tejados, pavimentos, aceras) reducen infiltración, alteran respuesta hidrológica; fracción de impermeabilidad = variable fundamental para predecir volumen y velocidad de escurrimiento (Rossman & Simon, 2022). A partir de esta división, se

obtiene el aporte de cada sector hacia un nodo específico de la red y se analiza la respuesta del sistema durante el desarrollo temporal de una tormenta (Rossman & Simon, 2022).

5.2 Componentes del sistema de drenaje

La (Federal Highway Administration, 2024) establece, que la red de drenaje debe integrar los dispositivos de captación superficial, los conductos de transporte y por último estructuras de descarga segura. En el sistema pluvial urbano, estos componentes operan en secuencia, es decir, captan, transfieren, inspeccionan, conducen y descargan la escorrentía. La continuidad hidráulica entre ellos es clave; una falla en cualquiera reduce la capacidad de toda la red.

5.2.1 Sumideros y rejillas transversales

Los condicionantes de la capacidad de captación de sumideros y rejillas son, según la FHWA (2024), su geometría, el flujo superficial y su disposición respecto a la vía. Estas estructuras interceptan la escorrentía que circula por calzadas, cunetas y bordillos para incorporarla al sistema. Su ubicación debe responder a la trayectoria superficial del agua y a los puntos de concentración depresiones, intersecciones y tramos con acumulación significativa.

Los sumideros captan el agua mediante una abertura o rejilla localizada y la conducen hacia una caja receptora. Las rejillas transversales, por su parte, interceptan el flujo a través de una estructura dispuesta transversalmente respecto a la dirección de circulación del agua. Ambos elementos constituyen la conexión inicial entre el drenaje superficial y la red subterránea.

5.2.2 Tirantes de sumideros

Los tirantes son las tuberías que conectan los sumideros o rejillas con los pozos de revisión y permiten transferir el caudal captado hacia la red principal. Su función es conducir el agua desde la estructura de captación hasta un nodo donde se incorpora al sistema de colectores. En términos hidráulicos, forman parte de la red de conducción y deben mantener una conexión compatible con las cotas de entrada y salida para permitir el flujo por gravedad.

5.2.3 Pozos de revisión

Son estructuras que permiten la conexión entre diferentes tramos de la red y facilitan las tareas de inspección y mantenimiento, ubicándose principalmente donde existen cambios

de dirección, pendiente, diámetro o conexión entre conductos. Los pozos cumplen una función hidráulica directa: las cotas de fondo y la profundidad disponible condicionan los niveles de agua dentro del sistema.

5.2.4 Colectores

Los colectores son los conductos encargados de recibir y transportar los caudales procedentes de los diferentes puntos de captación hasta los sitios de descarga. La red puede estar conformada por ramales secundarios que reciben aportes locales y colectores principales que concentran progresivamente los caudales generados en varias áreas de drenaje. La capacidad hidráulica de un colector depende principalmente de su sección transversal, pendiente y rugosidad.

5.2.5 Descargas

Las descargas corresponden a los puntos terminales donde el agua transportada por la red abandona el sistema de alcantarillado pluvial y se incorpora a un cuerpo receptor o a otra estructura de drenaje. En EPA SWMM se representan mediante nodos de salida u *outfalls*, los cuales definen la condición hidráulica aguas abajo de la red. Su elevación es un dato fundamental porque influye directamente en los niveles de agua y en el comportamiento de los conductos conectados (Rossman & Simon, 2022).

5.3 Métodos de cálculo de caudales de aguas lluvias

La estimación del caudal en Puerto Quito distingue dos niveles: el método racional (para caudales pico en áreas <100 ha) y el modelo dinámico SWMM (para la evolución temporal del flujo en toda la red). Los tres enfoques considerados racional, hidrograma unitario y análisis estadístico se reducen en la práctica a estos dos, dado que las subcuencas del modelo (0,04–1,65 ha) están muy por debajo del límite de 100 ha (inventario hidrológico). La selección del método depende del tamaño de cuenca, la información disponible y el detalle requerido, pero SWMM complementa al racional al simular la variación de caudal, tirante y otras variables durante todo el evento (Rossman & Simon, 2022).

5.3.1 Método racional

El método racional relaciona directamente la intensidad de precipitación con el área tributaria y la capacidad de la superficie para producir escorrentía. El método racional estima el caudal máximo de escorrentía a partir de la intensidad de precipitación, el

coeficiente de escurrimiento y el área tributaria. Su aplicación es adecuada para cuencas urbanas pequeñas, siempre que la intensidad utilizada corresponda a una duración relacionada con el tiempo de concentración (Chow, Maidment, & Mays, 1994). Su expresión, para las unidades empleadas en el estudio, es:

$$Q = \frac{CIA}{0.36}$$

Donde:

- Q = caudal máximo de escorrentía (l/s)
- C = coeficiente de escurrimiento
- I = intensidad de precipitación (mm/h)
- A = área tributaria (ha)

El factor (0.36) realiza la conversión de unidades cuando el área se expresa en hectáreas, la intensidad en milímetros por hora y el caudal en litros por segundo. La ecuación también puede expresarse como ($Q = 2.78CIA$). El estudio base adopta este método para cuencas menores de 100 ha, mientras que para superficies mayores establece el uso del hidrograma unitario sintético.

El método racional supone que el caudal máximo ocurre cuando toda el área tributaria aporta simultáneamente al punto de cálculo. Por ello, la intensidad utilizada debe corresponder a una duración relacionada con el tiempo de concentración de la cuenca. La edición vigente del *Urban Drainage Design Manual* de la Federal Highway Administration mantiene el análisis de la magnitud de la lluvia y la escorrentía como parte esencial del diseño hidrológico de sistemas de drenaje urbano (Rossman & Simon, 2022).

Para el proyecto de Puerto Quito, el método racional puede utilizarse como procedimiento de cálculo y comprobación de los caudales máximos en áreas tributarias pequeñas.

5.3.2 Coeficiente de escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento (C) representa la proporción de la precipitación que se transforma en escorrentía superficial. Su valor varía entre 0 y 1 y depende principalmente de la impermeabilización, el tipo de superficie, la pendiente y las condiciones de infiltración del terreno (Chow, Maidment, & Mays, 1994). Las superficies pavimentadas y cubiertas presentan valores elevados porque generan mayor escorrentía, mientras que las áreas verdes permiten una mayor infiltración y producen valores menores.

$$C_c = \frac{\sum C_i A_i}{\sum A_i}$$

Donde (C_i) corresponde al coeficiente de cada tipo de superficie y (A_i) a su área respectiva. El estudio establece, entre otros valores, ($C=0.95$) para cubiertas metálicas o de teja vidriada; entre 0.85 y 0.90 para pavimento asfáltico en buenas condiciones; entre 0.80 y 0.85 para pavimento de hormigón; entre 0.10 y 0.30 para superficies no pavimentadas; y entre 0.05 y 0.25 para parques y jardines.

La selección del coeficiente debe representar las condiciones reales del área tributaria. En una zona urbana heterogénea no resulta adecuado asignar un único valor sin considerar la distribución de cubiertas, calles, aceras, lotes y espacios permeables. Por esta razón, la delimitación detallada de las subcuencas permite mejorar la representación de la generación de esorrentía.

5.3.3 Área tributaria

El área tributaria es la superficie que contribuye con esorrentía hacia un punto determinado del sistema de drenaje. Cada sumidero, pozo o colector recibe el aporte de una superficie definida por la topografía, la pendiente de las vías y la configuración de la red. El caudal calculado mediante el método racional es directamente proporcional al área aportante.

En sistemas urbanos, los límites de las áreas tributarias no siempre coinciden con divisorias naturales del terreno. Calles, bordillos, cunetas, edificaciones y obras de drenaje pueden modificar las trayectorias superficiales del agua (Chow et al., 1994). Por ello, su delimitación debe considerar conjuntamente la información topográfica, la ortofotografía, la planimetría urbana y la ubicación de las estructuras de captación.

5.3.4 Intensidad de precipitación

La intensidad de precipitación (I) es la cantidad de lluvia por unidad de tiempo (mm/h). En el método racional, esta variable incide directamente en el caudal estimado: si el área y el coeficiente de escurrimiento son fijos, el caudal máximo aumenta con la intensidad.

La intensidad utilizada en el diseño debe corresponder a una duración y a un período de retorno determinados. Esta relación se representa mediante curvas o ecuaciones de intensidad-duración-frecuencia (IDF), que permiten obtener intensidades de lluvia para distintas combinaciones de duración y frecuencia.

La duración seleccionada es especialmente importante en el método racional porque debe representar el tiempo necesario para que las diferentes partes del área tributaria contribuyan al punto analizado. En cuencas pequeñas y urbanizadas, el tiempo de respuesta suele ser reducido debido a la presencia de superficies impermeables y sistemas de conducción que aceleran el transporte de la escorrentía.

En el presente proyecto, el cálculo de intensidades y la construcción del evento de precipitación se desarrollan con mayor detalle en la sección correspondiente a la lluvia de diseño.

5.3.5 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración (t_c) es el tiempo requerido para que la escorrentía procedente del punto hidráulicamente más alejado del área tributaria alcance el punto de análisis. Una vez transcurrido este tiempo, se considera que toda la cuenca puede contribuir al caudal en dicho punto (Chow et al., 1994).

Se expresa el tiempo de concentración como la suma del tiempo de entrada y el tiempo de recorrido:

$$t_c = t_e + t_r$$

Donde:

- t_e = tiempo de concentración inicial o tiempo de entrada
- t_r = tiempo de recorrido dentro del sistema

El tiempo de entrada (t_e) corresponde al desplazamiento de la escorrentía desde el punto más alejado de la superficie tributaria hasta la primera estructura de captación. El tiempo de recorrido (t_r) representa el tránsito del agua desde esa estructura hasta el punto de diseño, a través de cunetas, canales o tuberías. El estudio calcula este último componente mediante:

$$t_r = \frac{1}{60} \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}$$

Donde:

- t_r = tiempo de recorrido (min)
- L_i = longitud del tramo (m)

- V_i = velocidad media del flujo en el tramo (m/s)

El factor (1/60) transforma el tiempo obtenido en segundos a minutos. A medida que se avanza aguas abajo en la red, el tiempo de recorrido se acumula y modifica la duración de lluvia asociada al punto de cálculo.

Una subestimación de (t_c) puede conducir a la selección de una intensidad excesivamente alta, mientras que una sobreestimación puede reducir la intensidad empleada y subestimar el caudal de diseño. Por ello, este parámetro debe calcularse de acuerdo con las condiciones específicas del recorrido superficial y de la infraestructura de conducción.

5.4 Lluvia de diseño

En EPA SWMM, la lluvia de diseño se introduce como serie temporal para calcular la respuesta de subcuencas y red en cada intervalo. Corresponde a un evento definido con magnitud, duración, distribución y período de retorno, según la frecuencia hidrológica requerida para dimensionar o verificar la obra de drenaje (Rossman & Simon, 2022). Para el sistema de drenaje pluvial de Puerto Quito se adoptó una lluvia sintética de diseño con período de retorno de 10 años, duración total de 2 horas e intervalos temporales de 5 minutos. El evento se construyó a partir de información pluviográfica representativa del entorno de Puerto Quito y posteriormente se ajustó para considerar la influencia espacial de las estaciones, el área del proyecto y las condiciones altitudinales del sitio.

5.4.1 Intensidad y duración de la precipitación

Las curvas IDF o IFD representan la base del diseño hidrológico al relacionar intensidad, duración y frecuencia. Dicha relación es inversa: a menor duración, mayor intensidad; a mayor duración, menor intensidad media. La intensidad de precipitación (mm/h) es la cantidad de lluvia por unidad de tiempo (Federal Highway Administration, 2024).

En Ecuador, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología ha desarrollado ecuaciones para estimar intensidades máximas de precipitación en función de la duración y el período de retorno. Estas relaciones permiten transformar la información estadística de las estaciones pluviográficas en intensidades aplicables al diseño hidrológico (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2015).

La discretización de 5 minutos permite representar con detalle la variación temporal de una tormenta intensa en una red urbana, donde la respuesta hidrológica es rápida por el reducido tamaño de subcuencas y la impermeabilidad superficial. Para Puerto Quito se

emplearon las ecuaciones de la zona pluviográfica M0025 (La Concordia), con un evento de 120 minutos dividido en 24 intervalos de 5 minutos, utilizado como serie de precipitación en EPA SWMM 5.2. El intervalo de registro del pluviómetro define la resolución temporal de los datos de precipitación que usa SWMM (Rossman & Simon, 2022).

5.4.2 Frecuencia y período de retorno

El período de retorno (T_r) representa el intervalo medio de recurrencia asociado a un evento de determinada magnitud. Su selección depende del tipo de infraestructura, la importancia del área protegida y las consecuencias que produciría una insuficiencia del sistema. No significa que un evento de período de retorno de 10 años ocurra exactamente una vez cada diez años, sino que su probabilidad anual de excedencia es aproximadamente:

$$P = \frac{1}{T_r}$$

Por tanto, para:

$$T_r = 10 \text{ años}$$

se obtiene una probabilidad anual de excedencia de:

$$P = 0.10 = 10\%$$

Se adoptó un período de retorno de $T_r=10$ años con base en los criterios establecidos para sistemas de microdrenaje urbano. El INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992) establece que estos sistemas deben dimensionarse para eventos con períodos de retorno comprendidos entre 2 y 10 años, seleccionando la frecuencia de diseño en función de la importancia del sector y de los daños o molestias que puedan ocasionar las inundaciones periódicas. En el presente proyecto se seleccionó el límite superior del intervalo normativo, correspondiente a $T_r=10$ años, debido al carácter urbano del área de intervención y a las posibles afectaciones sobre vías, viviendas, comercios y movilidad. De esta manera, se adopta el escenario de mayor exigencia hidráulica dentro del rango establecido para microdrenaje, proporcionando un criterio conservador para la verificación del sistema pluvial de la cabecera cantonal de Puerto Quito.

5.4.3 Pluviogramas de diseño

Para Puerto Quito se generaron pluviogramas sintéticos mediante el método de bloques alternos para dos estaciones próximas: M0025 (La Concordia) y M0156 (Quinindé), dado que la zona se encuentra entre sus áreas de influencia y sus registros representan condiciones pluviográficas distintas. El procedimiento parte de intensidades por duración, calcula láminas acumuladas e incrementales y reorganiza los bloques para concentrar las mayores intensidades en la zona central del evento. Un pluviograma, a diferencia de una intensidad media única, identifica los intervalos con mayores láminas y permite analizar la evolución temporal de escorrentía y caudales en la red.

5.4.4 Factor de reducción areal

Las intensidades obtenidas en una estación representan una precipitación puntual. Sin embargo, una tormenta no suele presentar la misma intensidad máxima de forma uniforme sobre toda una superficie. El factor de reducción areal, o FRA, se utiliza para transformar una precipitación puntual en una precipitación media representativa de una determinada extensión territorial. Para esto se emplea la siguiente expresión de decaimiento:

$$FRA = 1 - e^{-0.015A^2}$$

donde:

- (A) = área de la cuenca (km^2);

5.4.5 Hidráulica de redes de recolección

Los colectores de Puerto Quito son conductos cerrados que trabajan a sección parcial (superficie libre). Su capacidad se calcula con Manning y se valida con simulación en EPA SWMM 5.2, donde confluyen subcuencas, nodos, conductos y descargas. La hidráulica de la red revisa el flujo desde la superficie de las calles, cunetas, hasta la conducción de sumideros, pozos y colectores, manteniendo la continuidad de la hidráulica. El Urban Drainage Design Manual (FHWA, 2024) entrega procedimientos para estos elementos.

5.4.6 Hidráulica de sumideros

Los sumideros captan el caudal superficial de calzadas y cunetas hacia la red subterránea. La FHWA (2024) distingue dos tipos de sumideros: los ubicados en pendiente, donde parte del flujo continúa aguas abajo, y los de punto bajo, donde el agua se acumula hasta

ser captada. La eficiencia de captación depende, en ambos casos, del caudal de aproximación, la profundidad del flujo, las pendientes de la vía, la geometría del dispositivo y el riesgo de obstrucción. En Puerto Quito, su ubicación responde a la capacidad de cunetas y la configuración de calles, instalándose donde el flujo excede la capacidad admisible, en puntos bajos y en zonas de concentración de escorrentía; también se prevén obstrucciones e interferencia vial. Para cuneta triangular, el estudio aplica Manning modificada por Izzard.

$$Q = 0,375 \frac{Z}{n} S_L^{1/2} y^{8/3}$$

Donde:

- (Q) = caudal conducido por la cuneta, en m³/s;
- (Z) = inverso de la pendiente transversal de la calzada;
- (n) = coeficiente de rugosidad de Manning;
- (S_L) = pendiente longitudinal de la cuneta;
- (y) = tirante del agua junto al bordillo, en m.

La expresión indica que la capacidad superficial crece con el tirante y la pendiente longitudinal, pero se reduce con mayor rugosidad. Con este resultado se calcula el caudal que llega al sumidero y se verifica que el dispositivo lo intercepte sin extender excesivamente el agua sobre la calzada. Para facilitar la evaluación conjunta entre drenaje superficial y red subterránea, EPA SWMM 5.2 modela calles como conductos superficiales con estructuras de captación. El programa entrega como resultados: profundidad máxima en bordillo, extensión transversal del flujo, eficiencia de captación y frecuencia de caudal no interceptado (Rossman & Simon, 2022).

5.4.7 Hidráulica de tuberías

EPA SWMM requiere para cada conducto: nodos de entrada y salida, elevaciones de conexión, longitud, coeficiente de Manning y geometría de sección (Rossman & Simon, 2022). Las tuberías pluviales transportan agua entre pozos y descargas, operando por gravedad y parcialmente llenas; en eventos intensos pueden alcanzar sección completa y sobrecargarse si el nivel hidráulico supera la clave. Su comportamiento depende de longitud, sección, pendiente, rugosidad y cotas de nodos. En diseño por gravedad, la pendiente debe transportar sedimentos sin causar desgaste; si la topografía es muy inclinada, se incorporan caídas, anclajes o disipadores de energía.

5.4.8 Ecuación de Manning

La ecuación de Manning se utiliza para determinar el caudal transportado por un conducto que opera a superficie libre bajo condiciones de flujo uniforme:

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

- (Q) = caudal, en m^3/s ;
- (n) = coeficiente de rugosidad de Manning;
- (A) = área mojada, en m^2 ;
- (R_h) = radio hidráulico, en m ;
- (S) = pendiente de la línea de energía, adimensional.

El radio hidráulico se obtiene mediante:

$$R_h = \frac{A}{P_m}$$

Donde (P_m) es el perímetro mojado de la sección. En una tubería parcialmente llena, tanto el área como el perímetro mojado varían con el tirante, por lo que la capacidad debe calcularse para la profundidad real del flujo y no únicamente para la sección completa.

El coeficiente n de Manning cuantifica la resistencia al flujo en la superficie interior del conducto. El manual de EPA SWMM indica valores de 0.011 a 0.015 para tuberías lisas de plástico y concreto, pero el valor final depende del material, juntas, instalación y servicio (Rossman & Simon, 2022). La ecuación de Manning supone régimen uniforme, aunque en la red real ocurren caudales variables, remansos, transiciones, pérdidas en pozos y efectos aguas abajo. Por tanto, el cálculo uniforme sirve para el predimensionamiento; la verificación definitiva se hace con simulación dinámica en SWMM.

5.4.9 Capacidad de conducción

En una red pluvial, la capacidad de cada tramo debe ser suficiente para recibir el aporte local y los caudales acumulados de subcuencas y conductos aguas arriba. Dicha capacidad se define como el caudal que transporta un elemento hidráulico bajo geometría, pendiente,

rugosidad y nivel de agua determinados. Para una sección conocida, caudal y velocidad media se relacionan mediante continuidad:

$$Q = V \times A$$

Donde:

- (Q) = caudal, en m^3/s ;
- (V) = velocidad media, en m/s ;
- (A) = área ocupada por el flujo, en m^2 .

El aumento del diámetro incrementa el área disponible y la capacidad de conducción, mientras que el aumento de la pendiente eleva la velocidad. Sin embargo, la selección de diámetros no debe realizarse de forma aislada, porque las cotas de los pozos y las condiciones en las descargas pueden producir remansos y reducir la capacidad efectiva de la red.

5.4.10 Velocidad del flujo

Velocidades reducidas en la red favorecen la deposición de arena y residuos, mientras que velocidades excesivas pueden deteriorar tuberías, juntas, pozos y estructuras de descarga. La velocidad controla, por tanto, el tiempo de transporte, la capacidad de autolimpieza y el potencial de erosión. Su valor medio se calcula con:

$$V = \frac{Q}{A}$$

Velocidad y tirante no deben analizarse por separado: un caudal pequeño en un conducto de gran sección puede carecer de profundidad y arrastre suficientes, aunque la pendiente sea correcta. Por eso, la verificación hidráulica nos exige evaluar caudal, la velocidad, profundidad y grado de llenado de manera agrupada.

5.4.11 Relación entre caudal máximo y caudal a tubería llena

La relación (Q_{max}/Q_0) compara el caudal máximo obtenido en la simulación con el caudal normal calculado para la tubería llena:

$$\frac{Q_{max}}{Q_0}$$

Donde:

- (Q_{max}) = caudal máximo simulado en el conducto;

- (Q_0) = caudal normal correspondiente a la sección llena.

La relación (Q_{max}/Q_0) no debe usarse aisladamente para afirmar que una tubería trabaja a presión. SWMM presenta por separado el tiempo de sobrecarga, los períodos de llenado y las condiciones de capacidad limitada; por ello, la interpretación debe complementarse con la profundidad, la línea piezométrica y el estado de los nodos conectados (Rossman & Simon, 2022). Un valor reducido indica que el caudal máximo usa solo una parte de la capacidad de referencia; cuando se aproxima a 1, el caudal transportado está próximo al de tubería llena. SWMM incluye este indicador en el resumen de conductos, junto con velocidad y relación profundidad máxima/total (Rossman & Simon, 2022).

5.4.12 Relación entre tirante máximo y diámetro

La relación (y_{max}/D) compara la máxima profundidad de flujo con el diámetro interior de una tubería circular:

$$\frac{y_{max}}{D}$$

Donde:

- (y_{max}) = tirante máximo obtenido durante la simulación;
- (D) = diámetro interior del conducto.

Cuando $(y_{max}/D < 1)$, el conducto conserva una superficie libre y trabaja parcialmente lleno. Cuando la relación alcanza 1, la profundidad ocupa la totalidad de la sección.

El análisis conjunto de (Q_{max}/Q_0) , (y_{max}/D) , velocidad, línea piezométrica y tiempo de sobrecarga permite establecer si un tramo funciona adecuadamente o requiere modificación. Estos indicadores se aplican en el presente proyecto para verificar que el diseño base conduzca la escorrentía sin generar condiciones críticas en colectores y pozos. No obstante, para determinar flujo presurizado debe comprobarse también la línea hidráulica y el reporte de sobrecarga del modelo. EPA SWMM reporta la relación profundidad máxima/completa como resultado principal de cada enlace, y genera un resumen independiente de sobrecargas con los períodos de extremos llenos y condiciones de capacidad limitada (Rossman & Simon, 2022).

5.5 Parámetros y criterios de diseño

En este estudio se adopta como referencia el CPE INEN 5, Parte 9-1:1992, Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para

poblaciones mayores a 1.000 habitantes. A tenor de estos criterios, los parámetros de diseño establecen las condiciones mínimas que la red debe cumplir para transportar la escorrentía sin sedimentación, erosión, sobrecarga frecuente ni afecciones en la superficie urbana. En el proyecto de Puerto Quito, dichos criterios se aplican durante el predimensionamiento en QGIS y se verifican con simulación hidrodinámica en EPA SWMM 5.2. El manual HEC-22 recomienda, por su parte, evaluar de forma integrada el drenaje superficial, sumideros, tuberías, estructuras de inspección y descargas, toda vez que la capacidad del sistema depende de la interacción entre todos sus componentes (FHWA, 2024).

5.5.1 Configuración y funcionamiento de la red

La modelación mediante onda dinámica permite identificar situaciones temporales de remanso, llenado completo, flujo inverso o sobrecarga que no pueden evaluarse con Manning aplicada aisladamente (Rossman & Simon, 2022). En condiciones normales, los colectores operan parcialmente llenos y con superficie libre. El sistema pluvial es una red separada de la sanitaria; sus conductos reciben exclusivamente escorrentía superficial y funcionan por gravedad, siguiendo en lo posible las pendientes naturales del terreno y conservando hoyas de drenaje para reducir excavaciones y cambios innecesarios en la dirección del flujo. Los colectores se calculan tramo por tramo, con área tributaria y aportes acumulados aguas arriba.

5.5.2 Diámetro mínimo y recubrimiento

El diámetro mínimo adoptado para los colectores de alcantarillado pluvial es:

$$D_{min} = 250 \text{ mm}$$

La verificación del diámetro seleccionado se realiza con el caudal máximo, la pendiente disponible, la velocidad y el porcentaje de llenado de la simulación. Cuando la tubería va bajo vía vehicular, el relleno mínimo establecido es de: Dicho valor reduce el riesgo de obstrucción y facilita inspección y limpieza.

$$H_{relleno} = 1,20 \text{ m}$$

medido desde la clave exterior de la tubería hasta la superficie de la calzada.

5.5.3 Pendiente de los conductos

La pendiente de cada colector debe aproximarse a la pendiente natural del terreno para disminuir la profundidad de excavación. Sin embargo, su valor final debe garantizar una

velocidad suficiente para reducir la acumulación de arena y residuos. Se establece como rango general de pendientes mínimas:

$$0,20\% \leq S_{min} \leq 0,50\%$$

La pendiente mínima debe comprobarse con la velocidad y el tirante resultantes, no solo por el diámetro. Para tuberías de 400 mm, la referencia es 0,50 %, pero el valor final queda condicionado al caudal de cada tramo.

Los intervalos utilizados como referencia en el estudio son los siguientes:

Diámetro interior	Pendiente mínima	Pendiente máxima referencial	Intervalo óptimo
200–300 mm	0.003	0.070	0.007–0.020
300–600 mm	0.002	0.040	0.005–0.010
600–800 mm	0.001	0.020	0.002–0.005

La pendiente máxima debe limitarse para que la velocidad no supere la capacidad admisible del material; no constituye un valor independiente. En terrenos con desniveles elevados pueden requerirse pozos de salto, estructuras de caída, disipadores de energía o sistemas de anclaje. Estos valores son adimensionales; una pendiente de 0,003 equivale a 0,30 %.

5.5.4 Velocidad mínima y condición de autolimpieza

La velocidad mínima se establece para limitar la sedimentación de partículas dentro de los conductos. El estudio considera una velocidad mínima de:

$$V_{min} = 0,60 \text{ m/s}$$

para el caudal mínimo y el tirante correspondiente a una conducción parcialmente llena. También requiere un tirante mínimo de 5,0 cm en tramos con fuertes pendientes y de 7,5 cm en condiciones normales.

Para alcantarillado pluvial se adopta adicionalmente una velocidad mínima de:

$$V_{autolimpieza} = 0,90 \text{ m/s}$$

La verificación con el caudal máximo instantáneo busca mantener capacidad de arrastre durante lluvias que movilizan sedimentos, por lo que la velocidad mínima debe evaluarse junto con el tirante: una tubería sobredimensionada puede tener baja profundidad y escaso arrastre, aunque la pendiente parezca suficiente.

5.5.5 Velocidad máxima

La velocidad máxima limita el desgaste de las tuberías, las juntas, los pozos y las estructuras de descarga. Su valor depende del material, la resistencia de la conducción y las características de los sólidos transportados. El informe base presenta los siguientes límites técnicos:

Material del conducto	Velocidad máxima referencial
Hormigón simple, hasta 600 mm	4,5 m/s
Hormigón armado, desde 600 mm	6,0 m/s
Hormigón armado fundido en sitio, 210–240 kg/cm ²	6,0–6,5 m/s
Hormigón armado fundido en sitio, 280–350 kg/cm ²	7,0–7,5 m/s
PEAD, PVC o PRFV	7,5 m/s
Acero	9,0 m/s o mayor
Hierro dúctil o fundido	9,0 m/s o mayor

También puede adoptarse:

$$V_{max, PVC} = 4,50 \text{ m/s}$$

Salvo que la documentación definitiva justifique técnicamente un límite superior para la clase específica de tubería, la velocidad máxima no debe excederse. Si la topografía genera velocidades mayores, no basta con aumentar el diámetro; debe revisarse la pendiente y añadir caídas o disipadores de energía. HEC-22 recomienda que descargas y conducciones de alta energía se evalúen por erosión, inestabilidad y también por protección hidráulica (FHWA, 2024).

5.5.6 Capacidad de llenado

Los colectores se proyectan para trabajar parcialmente llenos durante la lluvia de diseño. El estudio establece que el tirante máximo debe mantenerse entre el 70 % y el 85 % del diámetro interior:

$$0,70D \leq y_{max} \leq 0,85D$$

La limitación deja una fracción de la sección disponible para ventilación y disminuye la probabilidad de sobrecarga. Para el evento adoptado en Puerto Quito, con período de retorno de 10 años, el criterio de verificación principal debe ser:

$$\frac{y_{max}}{D} \leq 0,85$$

La verificación en EPA SWMM porcentaje de llenado, relación (Q_{max}/Q_0), tiempo de sobrecarga y niveles en nodos se realiza con el motor de onda dinámica, el cual resulta adecuado ante conductos llenos, remansos, pérdidas locales, flujo inverso o interacción con aguas abajo (Rossman & Simon, 2022).

5.5.7 Pozos y cajas de revisión

Los pozos deben colocarse en los cambios de dirección, cambios de pendiente, variaciones de diámetro y confluencias de colectores. También deben permitir que los equipos de mantenimiento alcancen toda la longitud comprendida entre dos estructuras consecutivas.

El estudio establece las siguientes separaciones máximas:

Diámetro del colector	Distancia máxima entre pozos
Menor de 350 mm	100 m
Entre 400 y 800 mm	150 m
Mayor de 800 mm	200 m

La descarga libre desde una tubería hacia un pozo más profundo no debe superar: Las distancias pueden reducirse según configuración urbana, topografía, intersecciones y alcance de equipos de limpieza. La abertura superior del pozo debe ser $\geq 0,60$ m; el diámetro del cuerpo se define según el mayor conducto conectado. El fondo debe incluir canales de media caña que mantengan continuidad entre tuberías de entrada y salida, con banquetta lateral inclinada = 4 % hacia el canal para evitar acumulaciones.

$$h_{\text{caída libre}} = 0,60 \text{ m}$$

Para desniveles mayores se debe incorporar una tubería vertical de caída. El diámetro máximo indicado para esta tubería es de 300 mm; cuando el caudal o el diámetro superen esa condición, debe diseñarse una estructura especial de salto.

5.5.8 Cunetas y sumideros

La capacidad de la cuneta y la extensión del flujo sobre la calzada dependen de la pendiente longitudinal, la pendiente transversal, la geometría del bordillo y la rugosidad. Las calles forman parte del microdrenaje porque conducen la escorrentía hacia los

sumideros. El estudio fija una pendiente transversal mínima de la vía de: $S_t = 1\%$. También registra una pendiente mínima de 4 % para las cunetas. Debido a que este valor puede resultar elevado para determinadas vías urbanas, debe verificarse en el documento normativo original antes de adoptarlo como requisito general de geometría vial. La capacidad real debe calcularse mediante la ecuación de Manning modificada por Izzard y verificarse con el caudal de diseño. Como configuración general, las cunetas pueden tener una profundidad máxima de 15 cm y un ancho de 60 cm en vías sin estacionamiento. Cuando se permite estacionamiento, el ancho puede ampliarse hasta 1,00 m. Los sumideros deben instalarse en puntos bajos, en sitios donde el caudal exceda la capacidad admisible de la cuneta y en sectores donde la geometría de calles y manzanas concentre la esorrentía.

El diseño debe considerar las posibilidades de obstrucción por la basura, hojas o sedimentos. HEC-22 sugiere medir la eficiencia de interceptación, el flujo que circula aguas abajo y la extensión del agua sobre la vía, mayormente en sumideros instalados en pendiente (FHWA, 2024).

5.5.9 Estructuras de descarga

Cuando la energía del flujo es elevada, se requieren cabezales, escolleras, colchones o disipadores. La ubicación de las descargas debe evitar remansos, erosión o inestabilidad en el cuerpo receptor; la cota de salida es condición de frontera que afecta toda la línea. SWMM representa descargas como outfalls con nivel fijo, crítico, normal o series temporales (Rossman & Simon, 2022). HEC-22 incluye estas estructuras en el diseño integral (FHWA, 2024).

5.5.10 Criterios de aceptación del diseño

El diseño hidráulico se considera satisfactorio cuando, para la lluvia de 10 años adoptada en Puerto Quito, se cumplen conjuntamente las siguientes condiciones:

Parámetro	Criterio de comprobación
Diámetro de colectores	$(D \geq 250 \text{ mm})$
Velocidad de autolimpieza pluvial	$(V \geq 0,90 \text{ m/s})$ con el caudal máximo instantáneo
Velocidad máxima	Inferior al límite correspondiente al material
Capacidad de llenado	$(y_{max}/D \leq 0,85)$
Funcionamiento de los nodos	Sin desbordamientos durante el evento de diseño
Sobrecarga	Sin operación prolongada a presión

Parámetro	Criterio de comprobación
Pendiente	Compatible con autolimpieza y velocidad máxima
Descargas	Sin erosión ni remanso perjudicial
Continuidad del modelo	Errores de balance revisados y técnicamente aceptables

5.6 Modelación hidrológica-hidráulica

En Puerto Quito, la modelación en EPA SWMM 5.2 estructura la red con topografía, ortofotografías y planimetría, incorporando propiedades de subcuencas, pozos, conductos y descargas. El diseño se verifica con una lluvia de 10 años de retorno, ajustando diámetros, pendientes y profundidades hasta cumplir criterios hidráulicos. La modelación hidrológica-hidráulica representa numéricamente la escorrentía y su transporte: el componente hidrológico transforma precipitación en caudal superficial; el hidráulico calcula el tránsito por pozos, tuberías, canales y descargas. Esta integración evalúa el sistema en cada intervalo del evento, no solo con caudales pico (Rossman & Simon, 2022).

5.6.1 Modelo hidrológico

El depósito no lineal es la representación que EPA SWMM utiliza para cada subcuenca: recibe precipitación y, según corresponda, aportes de otras subcuencas. Las pérdidas ocurren por infiltración, evaporación y almacenamiento superficial, mientras que la escorrentía generada se envía al nodo receptor (Rossman & Simon, 2022). El modelo hidrológico efectúa estos cálculos para cada subcuenca a partir de la precipitación, la infiltración y el almacenamiento.

El balance hídrico de una subcuenca puede expresarse de manera general como:

$$\frac{dV}{dt} = P - I - E - Q_s$$

Donde:

- (V) = volumen de agua almacenado sobre la superficie;
- (P) = aporte de la precipitación;
- (I) = pérdida por infiltración;
- (E) = pérdida por evaporación;
- (Q_s) = caudal de escorrentía superficial.

Para el modelo de Puerto Quito, cada subcuenca recibe parámetros como área, ancho, pendiente, porcentaje impermeable, rugosidades (permeable e impermeable), almacenamiento en depresiones, nodo de salida y número de curva. Estos datos controlan la dimensión y distribución temporal del caudal que ingresa a la red. La escorrentía se genera cuando la lámina acumulada supera el almacenamiento en depresiones; a partir de ese momento, el caudal de salida depende de la profundidad superficial, la pendiente, la rugosidad de Manning y el ancho característico de la subcuenca. Este procedimiento produce un hidrograma variable para cada área tributaria, no solo un caudal pico (Rossman & Simon, 2022).

5.6.2 Representación de la infiltración

La infiltración es la porción de precipitación que penetra en el suelo y no se convierte de inmediato en escorrentía. Para su cálculo, EPA SWMM 5.2 dispone de los métodos Horton, Horton modificado, Green-Ampt, Green-Ampt modificado y Número de Curva del NRCS. Cada método requiere parámetros diferentes y debe seleccionarse de acuerdo con la información disponible sobre el suelo y la cobertura superficial (Rossman & Simon, 2022).

En Puerto Quito se utiliza el método del Número de Curva, que relaciona el potencial de escorrentía con el grupo hidrológico del suelo, el uso del terreno y el grado de impermeabilización. En SWMM, este método requiere principalmente el valor de CN y el tiempo necesario para que un suelo completamente saturado recupere su capacidad inicial de infiltración.

El número de curva no sustituye el porcentaje impermeable. El CN controla la infiltración de la fracción permeable, mientras que el porcentaje impermeable establece qué parte de la subcuenca presenta una capacidad de infiltración reducida o nula.

5.6.3 Modelo hidráulico

El modelo hidráulico recibe los hidrogramas generados por las subcuencas y calcula su propagación por la red. Los pozos se representan como nodos donde se conserva el volumen de agua, mientras que las tuberías y canales se representan como enlaces que transportan el caudal entre nodos. Las descargas establecen las condiciones de frontera aguas abajo.

Para cada conducto se requieren, como mínimo, los nodos inicial y final, longitud, sección transversal, diámetro, rugosidad y cotas de conexión. En los pozos se definen la cota de fondo, la profundidad máxima y, cuando corresponde, el área disponible para almacenamiento superficial. Con estos datos, el modelo determina los caudales, tirantes, velocidades y niveles hidráulicos durante la simulación (Rossman & Simon, 2022).

En el proyecto de Puerto Quito, la estructura del modelo incluye polígonos de subcuencas, puntos para pozos y descargas, y líneas para los conductos. La conectividad y dirección del flujo se establecen con base en la topografía y en las cotas de entrada y salida de cada tramo. Una vez definidos estos elementos, se genera el archivo de entrada utilizado por EPA SWMM 5.2.

5.6.4 Métodos de propagación hidráulica

EPA SWMM dispone de tres métodos de propagación de flujo: flujo permanente (caudal constante por intervalo), onda cinemática (variación temporal, ecuación de movimiento simplificada) y onda dinámica (ecuaciones completas de Saint-Venant). Los dos primeros no representan adecuadamente remansos, flujo inverso ni presurización (Rossman & Simon, 2022). Por su capacidad para modelar llenado de tuberías, efectos aguas abajo, cambios de nivel en pozos y sobrecargas, el proyecto de Puerto Quito emplea el método de onda dinámica, que resuelve conservación de masa y cantidad de movimiento en conductos, más continuidad de volumen en nodos.

La ecuación de continuidad se expresa como:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

La ecuación de cantidad de movimiento se representa mediante:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (Q^2/A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial y}{\partial x} - S_0 + S_f \right) = 0$$

Donde:

- (A) = área ocupada por el flujo;
- (Q) = caudal;
- (x) = distancia longitudinal;
- (t) = tiempo;
- (y) = tirante;

- (S_0) = pendiente del fondo;
- (S_f) = pendiente de fricción;
- (g) = aceleración de la gravedad.

La onda dinámica puede reproducir almacenamiento en los conductos, remanso, pérdidas de entrada y salida, flujo inverso, conductos llenos y flujo presurizado. También permite calcular el desbordamiento de un nodo cuando el nivel del agua supera la cota máxima disponible (Rossman & Simon, 2022).

5.6.5 Simulación en período extendido

Una simulación en período extendido divide el evento analizado en intervalos sucesivos y actualiza en cada paso la lluvia, la escorrentía, los caudales y los niveles de agua. De esta forma, el resultado no se limita a una condición estática, sino que muestra cómo se llena y vacía la red durante toda la tormenta.

En Puerto Quito se utiliza un evento de diseño de dos horas, discretizado en intervalos de precipitación de cinco minutos. La serie temporal se incorpora al pluviómetro del modelo y se aplica a las subcuencas. SWMM calcula la escorrentía superficial y la propagación hidráulica con pasos de cálculo internos que pueden ser menores que el intervalo de lluvia.

El paso de cálculo hidráulico debe ser suficientemente pequeño para mantener la estabilidad numérica, especialmente cuando se utiliza onda dinámica. EPA señala que este método requiere intervalos menores que la onda cinemática y permite utilizar pasos variables para satisfacer el criterio de estabilidad de Courant dentro de los conductos (Rossman & Simon, 2022).

El paso de reporte, el paso hidrológico y el paso hidráulico cumplen funciones diferentes. El primero controla la frecuencia con que se guardan los resultados; el segundo determina la frecuencia del cálculo de escorrentía; y el tercero controla la propagación del flujo por la red. Un intervalo de reporte amplio puede ocultar picos de corta duración, aunque el cálculo interno sea correcto.

5.6.6 Sobrecarga e inundación de nodos

Un conducto se encuentra lleno cuando el tirante alcanza la clave de la tubería. Si el nivel hidráulico continúa aumentando, puede desarrollarse flujo presurizado. La onda dinámica permite que el caudal supere temporalmente el caudal normal calculado con Manning

para una tubería llena, siempre que exista suficiente carga hidráulica entre los nodos (Rossman & Simon, 2022).

La sobrecarga no implica necesariamente que exista inundación superficial. La inundación ocurre cuando la profundidad del agua en un nodo supera la profundidad máxima disponible y el nivel alcanza la superficie del terreno. El caudal excedente puede eliminarse del modelo o almacenarse temporalmente sobre el nodo para reingresar a la red cuando se recupere capacidad hidráulica.

Para identificar estas condiciones deben analizarse conjuntamente:

- profundidad máxima en los pozos;
- tiempo de sobrecarga;
- volumen de inundación;
- relación (y_{max}/D);
- relación (Q_{max}/Q_0);
- perfil de la línea hidráulica;
- capacidad máxima de los conductos.

5.7 EPA SWMM 5.2

EPA SWMM 5.2 (Storm Water Management Model): programa de la EPA (EE. UU.) para simular hidrología, hidráulica y calidad del agua en drenaje. Capacidades: análisis de eventos individuales o períodos continuos; representación de escorrentía en subcuencas y propagación por tuberías, canales, pozos, almacenamientos, bombas y estructuras de regulación (Rossman & Simon, 2022). Se emplea en planificación, diseño y evaluación de redes pluviales, sistemas combinados y sanitarios. Es de dominio público, con documentación oficial de la versión 5.2 que incluye manual de usuario, manuales de referencia hidrológica e hidráulica y correcciones de la EPA (U.S. Environmental Protection Agency, s. f.).

SWMM es un modelo dinámico de lluvia-escorrentía que calcula la variación temporal de los procesos hidrológicos e hidráulicos. El componente hidrológico determina la precipitación efectiva y el caudal generado por cada subcuenca; posteriormente, el componente hidráulico propaga esos aportes a través de la red. Los cálculos se realizan en intervalos discretos durante toda la simulación (Rossman & Simon, 2022).

Entre las principales capacidades del programa se encuentran:

- Simulación de eventos individuales y períodos continuos.
- Representación de superficies permeables e impermeables.
- Cálculo de infiltración y almacenamiento superficial.
- Propagación de caudales por redes abiertas y cerradas.
- Simulación de flujo parcialmente lleno y presurizado.
- Representación de remansos, sobrecargas y flujo inverso.
- Cálculo de niveles, caudales, tirantes y velocidades.
- Evaluación de inundaciones en nodos.
- Representación de infraestructura verde y controles de bajo impacto.
- Simulación del transporte de contaminantes.

5.7.1 Organización del modelo

Un modelo de SWMM se estructura mediante objetos hidrológicos, hidráulicos y meteorológicos. Los objetos hidrológicos representan las superficies donde se produce la escorrentía, mientras que los objetos hidráulicos conforman la red encargada de transportarla, ver Tabla 5-1:

Tabla 5-1 Principales objetos utilizados en el proyecto de redes pluviales

Tipo de objeto	Denominación en SWMM	Función
Área de drenaje	Subcatchment	Genera escorrentía a partir de la precipitación
Pluviómetro	Rain Gage	Suministra la serie temporal de lluvia
Pozo de revisión	Junction	Recibe, almacena y distribuye caudales
Tubería o colector	Conduit	Transporta el flujo entre nodos
Descarga	Outfall	Define la salida y condición aguas abajo
Serie temporal	Time Series	Contiene los valores de precipitación o niveles variables

La conexión entre estos objetos debe conservar la continuidad del flujo. Cada subcuenca descarga hacia un nodo determinado; los pozos se conectan mediante conductos y las líneas principales terminan en una estructura de descarga. Una asignación incorrecta de los objetos o de sus conexiones puede alterar los caudales y niveles calculados.

5.7.2 Subcuencas (Subcatchment)

Las subcuencas representan las áreas superficiales que reciben la precipitación y generan escorrentía. Cada una se modela como una unidad hidrológica con propiedades propias

de área, ancho característico, pendiente, impermeabilización, rugosidad, almacenamiento en depresiones e infiltración (Rossman, 2016; Rossman & Simon, 2022).

Los principales datos requeridos para una subcuenca son:

- Área.
- Ancho característico.
- Pendiente media.
- Porcentaje impermeable.
- Coeficiente de Manning de la superficie impermeable.
- Coeficiente de Manning de la superficie permeable.
- Almacenamiento en depresiones.
- Método y parámetros de infiltración.
- Nodo o subcuenca de salida.

El nodo de salida establece el punto hacia el cual se dirige la escorrentía.

5.7.3 Pluviómetros (Rain Gage)

Los pluviómetros, denominados Rain Gages, proporcionan la precipitación utilizada por las subcuencas. La lluvia puede introducirse mediante una serie temporal interna o a través de un archivo externo. SWMM admite datos expresados como intensidad, volumen incremental o precipitación acumulada (Rossman & Simon, 2022).

Los parámetros básicos de un pluviómetro son:

- Tipo de dato de precipitación.
- Intervalo de registro.
- Unidades.
- Fuente de los datos.
- Serie temporal asociada.
- Factor de corrección por nieve, cuando corresponda.

5.7.4 Pozos de revisión (Junctions)

Los junctions representan pozos de revisión, cajas de conexión o puntos donde convergen los caudales de varios conductos. En cada nodo se aplica la ecuación de continuidad, considerando el flujo que ingresa, el flujo que sale y la variación del volumen almacenado (Rossman, 2017).

Los datos principales de un junction son:

- ✓ Cota de fondo o invert elevation.
- ✓ Profundidad máxima.
- ✓ Profundidad inicial.
- ✓ Profundidad adicional de sobrecarga.
- ✓ Área de almacenamiento superficial, cuando se permite acumulación.

La cota de fondo define la posición vertical del nodo, mientras que la profundidad máxima determina la elevación de la superficie. Cuando el nivel del agua supera esta profundidad, SWMM calcula un caudal de inundación. Cuando se asigna un área de almacenamiento superficial, el volumen excedente puede permanecer sobre el nodo y reingresar a la red cuando disminuye el nivel hidráulico (Rossman & Simon, 2022).

En el modelo de Puerto Quito, los pozos conectan las subcuencas con los colectores y permiten analizar los niveles alcanzados durante la tormenta. Sus cotas y profundidades se obtienen del levantamiento topográfico y del inventario de la red.

5.7.5 Conductos (Conduits)

Los conductos, denominados Conduits, representan tuberías o canales que transportan el caudal entre dos nodos. Su capacidad depende de la geometría, pendiente, rugosidad y niveles hidráulicos en sus extremos. SWMM permite utilizar secciones circulares, rectangulares, trapezoidales y otras geometrías normalizadas o definidas por el usuario (Rossman & Simon, 2022).

Los datos básicos de un conducto son:

- ✓ Nodo inicial.
- ✓ Nodo final.
- ✓ Longitud.
- ✓ Rugosidad de Manning.
- ✓ Geometría de la sección.
- ✓ Diámetro o dimensiones interiores.
- ✓ Cota de entrada respecto del nodo.
- ✓ Cota de salida respecto del nodo.
- ✓ Caudal inicial.
- ✓ Pérdidas locales, cuando se consideran.

Para tuberías circulares, el diámetro introducido debe corresponder al diámetro interior. La diferencia entre las cotas de entrada y salida y la longitud del conducto define su pendiente hidráulica inicial.

5.7.6 Descargas (Outfalls)

Los outfalls representan los puntos terminales de la red. No almacenan agua y solo pueden recibir conductos de llegada. Su función es definir la condición hidráulica aguas abajo de cada colector principal (Rossman & Simon, 2022).

SWMM permite establecer diferentes tipos de condición de descarga:

- ✓ Nivel crítico.
- ✓ Nivel normal.
- ✓ Nivel fijo.
- ✓ Nivel variable mediante una serie temporal.
- ✓ Nivel mareal mediante una curva de marea.

También puede incorporarse una válvula de retención para impedir el flujo inverso. La condición seleccionada debe representar el comportamiento real del cuerpo receptor.

5.7.7 Opciones de simulación

Antes de ejecutar el modelo se deben definir las opciones generales de cálculo. Entre las principales se encuentran:

- ✓ Sistema de unidades.
- ✓ Método de infiltración.
- ✓ Método de propagación hidráulica.
- ✓ Fecha y hora inicial.
- ✓ Fecha y hora final.
- ✓ Paso de cálculo de escorrentía.
- ✓ Paso de cálculo hidráulico.
- ✓ Paso de reporte.
- ✓ Criterios de convergencia.
- ✓ Uso de paso de tiempo variable.

SWMM dispone de propagación mediante flujo permanente, onda cinemática y onda dinámica. La onda dinámica es la opción más completa porque permite representar

remansos, flujo inverso, sobrecarga y presurización de conductos (Rossman, 2017; Rossman & Simon, 2022).

5.7.8 Resultados del modelo

SWMM presenta los resultados mediante mapas, tablas, gráficos de series temporales, perfiles longitudinales y reportes de resumen. La interfaz permite representar los objetos con escalas de colores según el valor de la variable seleccionada (Rossman & Simon, 2022).

Para las subcuencas pueden obtenerse:

- ✓ Precipitación.
- ✓ Infiltración.
- ✓ Escorrentía.
- ✓ Caudal máximo.
- ✓ Volumen total generado.
- ✓ Coeficiente de escorrentía.

Para los nodos pueden consultarse:

- ✓ Profundidad máxima.
- ✓ Nivel hidráulico.
- ✓ Caudal lateral.
- ✓ Tiempo de sobrecarga.
- ✓ Caudal y volumen de inundación.

Para los conductos se obtienen:

- ✓ Caudal máximo.
- ✓ Velocidad máxima.
- ✓ Tirante máximo.
- ✓ Relación entre caudal máximo y caudal a sección llena.
- ✓ Relación entre profundidad máxima y profundidad total.
- ✓ Tiempo de funcionamiento a sección llena.
- ✓ Tiempo de limitación por capacidad.

El informe de estado también presenta los errores de continuidad hidrológica e hidráulica. Estos balances deben revisarse antes de aceptar los resultados, debido a que errores

elevados pueden indicar problemas de configuración, conectividad o estabilidad numérica.

5.7.9 Perfiles hidráulicos

Los perfiles longitudinales muestran la rasante, las cotas de fondo de los conductos, los niveles del agua y la línea hidráulica a lo largo de una trayectoria seleccionada. Esta representación permite identificar remansos, conductos llenos, pozos sobrecargados y cambios bruscos de energía.

Un perfil debe analizarse en el instante de mayor exigencia hidráulica, aunque también resulta conveniente revisar diferentes momentos de la simulación.

El perfil hidráulico complementa los valores máximos tabulados. Una relación (y_{max} / D) aceptable en un conducto no descarta la presencia de un nivel elevado en el pozo aguas arriba o de un remanso producido por la descarga. Por ello, la evaluación debe considerar simultáneamente los resultados numéricos y la representación longitudinal.

5.8 QGIS y Generate SWMM INP

QGIS es un SIG libre y de código abierto para almacenar, editar, analizar y representar información espacial. Su uso en drenaje urbano permite integrar topografía, ortofotografías, modelos digitales de elevación, redes existentes y áreas tributarias en una base geográfica unificada.

Los elementos reales se representan mediante geometrías vectoriales de puntos, líneas y polígonos, lo que permite asociarles parámetros hidrológicos e hidráulicos mediante tablas de atributos (QGIS Development Team, 2026a).

En el proyecto de Puerto Quito, QGIS se emplea como plataforma para preparar el modelo espacial antes de realizar la simulación en EPA SWMM 5.2. Los pozos y descargas se representan mediante puntos; los colectores, mediante líneas; y las subcuencas, mediante polígonos. La información utilizada incluye el levantamiento topográfico del proyecto, la ortoimagen disponible, un modelo digital de elevaciones SRTM con resolución espacial de 30 m y las capas de la infraestructura existente.

5.8.1 Preparación de la información espacial

La preparación del modelo comienza con la organización de todos los datos bajo un sistema de coordenadas común. Esta condición permite que pozos, conductos, subcuencas, calles y descargas mantengan su posición correcta y que las distancias y áreas

sean calculadas en unidades métricas. En el estudio de Puerto Quito se utilizó el sistema WGS 84/UTM zona 17N, EPSG:32617, adecuado para representar el área mediante coordenadas planas expresadas en metros.

La ortofotografía permite identificar calles, edificaciones, cubiertas, áreas verdes y cambios de uso del suelo. Esta información se utiliza para delimitar las subcuencas y estimar el porcentaje de superficie impermeable. QGIS también permite calcular automáticamente áreas, longitudes y coordenadas a partir de la geometría de las capas, siempre que el sistema de referencia esté correctamente definido (QGIS Development Team, 2026b).

5.8.2 Capas del modelo hidrológico-hidráulico

La estructura espacial debe reproducir los objetos utilizados por EPA SWMM. Las principales capas empleadas en el proyecto son:

Capa en QGIS	Geometría	Objeto en SWMM	Función
Pluviómetros	Punto	Rain Gages	Incorporan la lluvia de diseño
Subcuencas	Polígono	Subcatchments	Generan la escorrentía superficial
Pozos	Punto	Junctions	Reciben y distribuyen los caudales
Descargas	Punto	Outfalls	Definen la salida de la red
Colectores	Línea	Conduits	Transportan el flujo entre nodos

Las capas del modelo no deben ser solo gráficos: cada geometría debe contener los campos necesarios para la simulación. Un polígono de subcuenca requiere área, pendiente, ancho, porcentaje impermeable, número de curva y nodo de salida; una línea de conducto necesita longitud, rugosidad, sección, diámetro y nodos inicial y final. Para identificar cada elemento en Puerto Quito, las subcuencas usan S + número, los pozos PZ, las tuberías identificadoras de tramo y las descargas O.

5.8.3 Esqueletización de la red

La esqueletización convierte la infraestructura en una red simplificada de nodos (pozos y descargas) y enlaces (tuberías), preservando la configuración hidráulica sin detalles geométricos que no influyan en los cálculos. Cada conducto debe comenzar y terminar sobre un nodo, con dirección de digitalización preferente en el sentido del flujo (aguas arriba aguas abajo); aunque SWMM puede simular flujo inverso con onda dinámica, la dirección es principalmente referencial.

El control topológico revisa las relaciones de conexión entre elementos. Es fundamental, ya que un conducto visualmente cercano a un pozo puede estar hidráulicamente desconectado si sus geometrías no coinciden. QGIS identifica errores como líneas superpuestas, extremos sin conexión, polígonos inválidos y duplicados. Controles necesarios: conductos con nodos en extremos, identificadores únicos, longitud no nula, polígonos de subcuencas válidos, nodo de salida existente, sin interrupciones, cotas coherentes con el terreno y descargas al final de líneas principales. La revisión topológica debe realizarse antes de exportar a SWMM; el complemento no corrige automáticamente redes mal conectadas.

5.8.4 Asignación de atributos

Las tablas de atributos almacenan los datos de simulación con campos específicos según el tipo de capa y la estructura de entrada de SWMM.

- **Subcuencas:** identificador, área, ancho, pendiente, % impermeable, rugosidades (permeable e impermeable), almacenamiento en depresiones, número de curva y nodo de descarga.
- **Pozos:** identificador, cota de fondo, profundidad máxima, profundidad inicial y profundidad adicional de sobrecarga (si aplica).
- **Conductos:** nodo inicial y final, longitud, Manning, diámetro o geometría de sección, cotas de conexión y pérdidas locales (si se consideran).
- **Descargas:** identificación, cota de fondo y condición hidráulica aguas abajo.
- **Pluviómetros:** relacionados con la serie temporal de lluvia de diseño.

5.8.5 Complemento Generate SWMM INP

Es un complemento libre y de código abierto para integrar QGIS y EPA SWMM. Genera archivos de entrada de SWMM desde capas geográficas e importa archivos existentes de SWMM hacia QGIS, permitiendo edición espacial del modelo antes y después de la simulación (Schilling & Tränckner, 2022). Proporciona plantillas de capas con los campos requeridos, incorpora procedimientos para importar/exportar modelos y generar submodelos a partir de nodos; está disponible en el repositorio oficial de complementos (QGIS Project, 2026). No sustituye los cálculos hidrológicos o hidráulicos solo organiza y transfiere información; la simulación se realiza en EPA SWMM 5.2 (Rossman & Simon, 2022).

5.8.6 Archivo de entrada .inp

El archivo .inp es un documento de texto estructurado que contiene todos los datos necesarios para ejecutar un modelo en SWMM. La información se organiza mediante secciones como opciones generales, pluviómetros, subcuencas, infiltración, nodos, descargas, conductos, secciones transversales, series temporales y coordenadas (Rossman & Simon, 2022).

El archivo incluye apartados como [RAINGAGES], [SUBCATCHMENTS], [SUBAREAS], [INFILTRATION], [JUNCTIONS], [OUTFALLS], [CONDUITS], [XSECTIONS], [TIMESERIES], [COORDINATES] y [POLYGONS]. Las secciones hidráulicas contienen los parámetros de cálculo; COORDINATES y POLYGONS almacenan la posición gráfica de los objetos. La exportación desde QGIS conserva la geometría espacial y la transforma en la estructura reconocida por SWMM.

Una vez generado, el archivo debe abrirse en EPA SWMM 5.2 para comprobar la correcta transferencia de subcuencas, nodos, conductos y descargas. También deben revisarse las opciones de simulación, la lluvia, el método de infiltración y el método de propagación hidráulica antes de ejecutar el modelo.

5.9 Marco normativo

El proyecto se sustenta en la normativa nacional relacionada con competencias municipales, protección ambiental, gestión del agua y ordenamiento territorial. También emplea referencias técnicas para el cálculo hidrológico, el diseño hidráulico y la modelación en EPA SWMM 5.2.

5.9.1 Normativa nacional

La Constitución de la República del Ecuador reconoce el derecho a un ambiente sano y asigna a los gobiernos municipales competencias sobre planificación territorial, alcantarillado y saneamiento.

El COOTAD establece la responsabilidad municipal sobre la prestación, gestión y mantenimiento de los servicios de alcantarillado y saneamiento ambiental.

La Ley Orgánica de Recursos Hídricos exige proteger los cauces y evitar descargas contaminantes. Por ello, la red pluvial debe mantenerse separada del sistema sanitario.

El Código Orgánico del Ambiente regula los impactos generados durante la construcción y operación de la obra, incluyendo excavaciones, residuos, polvo, ruido y protección de los puntos de descarga.

La LOOTUGS dispone que la infraestructura sea compatible con el uso del suelo, las vías, las zonas de expansión y los instrumentos de planificación territorial.

5.9.2 Planificación local

La red propuesta debe guardar concordancia con el PDOT y el PUGS del cantón Puerto Quito, especialmente en el trazado dentro de vías públicas, la atención de sectores de crecimiento, la protección de cauces y la compatibilidad con otras redes de servicios.

5.9.3 Referencias técnicas

En la Tabla 5-2 se muestra las referencias principales utilizadas en proyecto.

Tabla 5-2 Documentos normativos principales

Documento	Aplicación
CPE INEN 5, Parte 9-1:1992	Caudales, diámetros, pendientes, velocidades, pozos y sumideros
INAMHI (2015)	Intensidades máximas y lluvia de diseño
FHWA HEC-22 (2024)	Drenaje superficial, captación y estructuras de descarga
Manual EPA SWMM 5.2	Modelación hidrológica e hidráulica
Generate SWMM INP	Transferencia de información entre QGIS y SWMM

6 CAPÍTULO 2. MEMORIA DE DIAGNÓSTICO Y CÁLCULO HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO

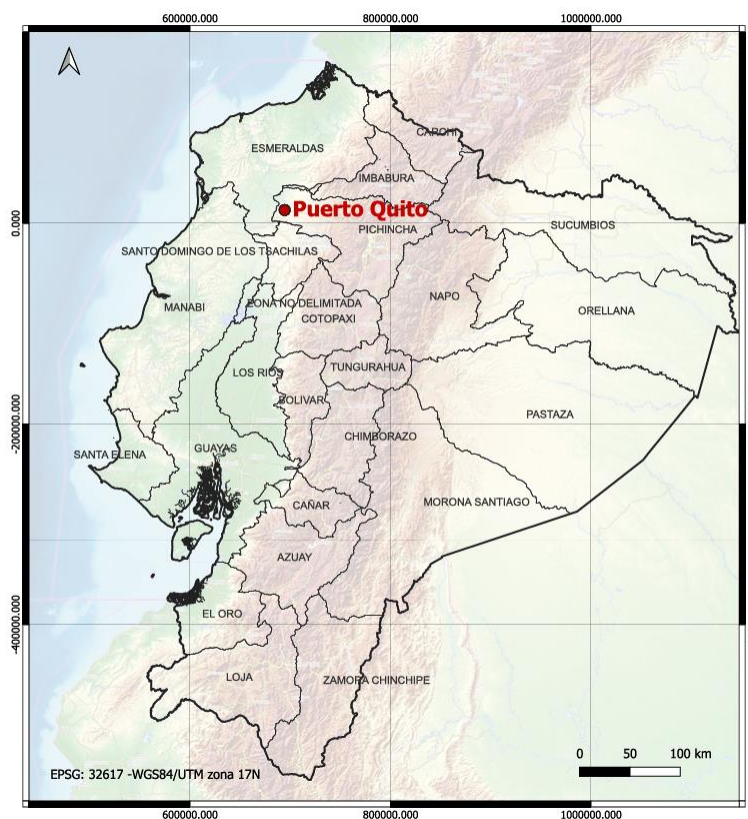
El presente capítulo desarrolla el diagnóstico físico e hidráulico del sistema de alcantarillado pluvial existente en la cabecera cantonal de Puerto Quito y expone las bases utilizadas para formular el diseño de ampliación. La información se organiza a partir del inventario de los componentes, la delimitación de las subcuencas, la construcción del modelo hidrológico-hidráulico en QGIS y EPA SWMM 5.2, la simulación de la red existente, el estudio de la lluvia de diseño y la descripción de la red propuesta. Los datos proceden del estudio de prefactibilidad elaborado por el Consorcio Hidro Puerto Quito para el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Puerto Quito.

6.1 Ubicación y caracterización del área de estudio

6.1.1 Ubicación de Puerto Quito

Puerto Quito se localiza en la región noroccidental del Ecuador, en el extremo oeste de la provincia de Pichincha y próximo al límite con la provincia de Esmeraldas. Esta posición geográfica sitúa a la cabecera cantonal en una zona de transición entre la Sierra y la Costa.

Fig. 6-1 Ubicación de Puerto Quito a escala país.



Fuente: Elaboración propia

6.1.2 Polígono de intervención

El área considerada para la delimitación de las subcuencas y la aplicación del factor de reducción areal corresponde aproximadamente a 2,25 km². El polígono incluye la zona urbana consolidada, sectores periféricos con infraestructura parcial y áreas de expansión que requieren nuevas obras de captación y conducción.

6.1.3 Sistema de coordenadas y cartografía empleada

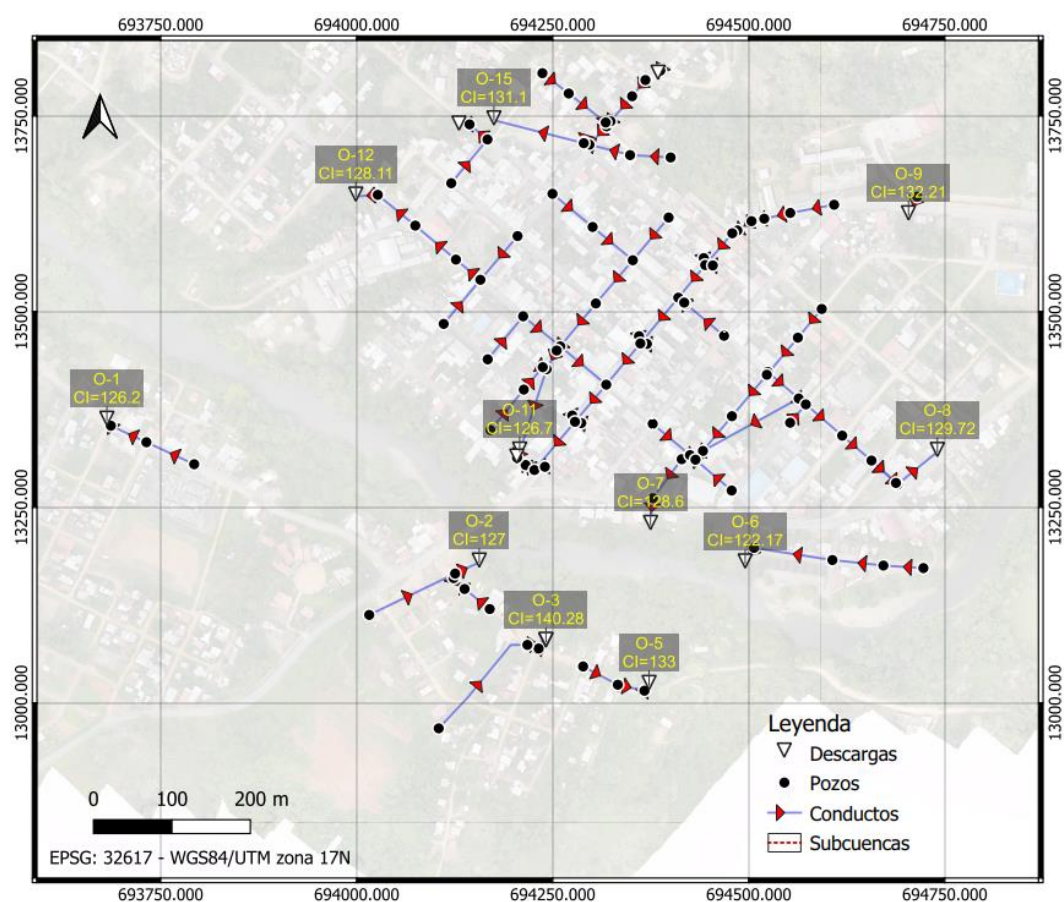
La información espacial se procesó en un sistema de información geográfica. Para el trabajo se emplearon levantamientos topográficos producidos durante la consultoría, ortoimágenes actualizadas, imágenes satelitales Planet con resolución aproximada de 4,7 m y un modelo digital de elevación SRTM con celdas de 30 m por 30 m. Las capas de subcuencas, pozos, conductos y descargas fueron preparadas en QGIS y posteriormente exportadas a EPA SWMM 5.2 mediante el complemento Generate SWMM INP.

6.2 Evaluación del sistema existente

La cabecera cantonal dispone de un sistema parcial de evacuación de aguas lluvias integrado por estructuras de captación, tirantes, pozos de revisión, colectores y descargas. La red opera principalmente por gravedad y aprovecha la topografía natural para conducir los caudales desde las áreas de aporte hasta los puntos bajos. Los ramales secundarios reciben la escorrentía generada en las calles y predios, mientras que los colectores principales concentran progresivamente los aportes y los conducen hacia las descargas.

La infraestructura se concentra principalmente en las zonas central y norte, donde existe una mayor consolidación urbana. En los sectores periféricos del sur y oeste se identifican ramales más cortos, redes dispersas y descargas independientes. Esta distribución evidencia que la cobertura es funcional en parte del casco urbano, pero no es suficiente para atender de forma integral a toda la comunidad.

Fig. 6-2 Sistema de alcantarillado pluvial existente en Puerto Quito.



Fuente: Elaboración propia

La infraestructura existente consta de dos líneas de captación, tránsito y descarga, la primera se ubica en una parte de la calle paralela a la vía principal y consta de los pozos de revisión, PZ-1 y PZ-2 interconectados por una tubería de 300 mm y del pozo PZ-2 otra tubería del mismo diámetro que va a la descarga O-4. La segunda línea transcurre en el margen derecho de la vía principal consta de los pozos de inspección PZ-1 y PZ-2, una tubería inicial de 200 mm de diámetro que posteriormente se incrementa a 250 mm, evidenciando una transición gradual para facilitar la evacuación del caudal generado. En la actualidad a esta línea están conectadas un grupo de cajas sanitarias domiciliarias mediante una disposición tipo espina de pescado, la cual permite captar y evacuar aguas lluvias provenientes de patios y superficies cercanas a las viviendas y en algunas se registró presencia de agua residual de lavaplatos, lavadora, etc, de tal forma que en la actualidad funciona como un sistema mixto de captación de aguas pluviales y servidas y la descarga se realiza directamente al ambiente sin tratamiento, ver el punto de descarga O-3 en el Fig. 6-2.

6.3 Inventario de componentes

6.3.1 Sumideros y rejilla transversal

Son los elementos encargados de la captación de la escorrentía superficial generada por la precipitación que se escurre por la calzada y cunetas para descárgalas en los pozos de revisión.

Tabla 6-1: Sumideros y rejillas transversales.

Tipo	Tipos de sumideros
Sumideros	157
Rejillas transversales 0.5 m x 4 m	14
Rejillas transversales 0.5 m x 6 m	3
Rejillas transversales 0.5 m x 7 m	2
Rejillas transversales 0.5 m x 8 m	3
Rejillas transversales 0.5 m x 9 m	2
Rejillas transversales 0.5 m x 14 m	1
Rejillas transversales 0.5 m x 62 m	1
Total	183

Cada sumidero y rejilla transversal está compuesto por la caja, la rejilla y el tirante o tubería de descarga.

- Cajas de hormigón
- Rejillas de HF y polipropileno PP
- Tirantes:

Fig. 6-3 Configuración de sumideros y colectores.

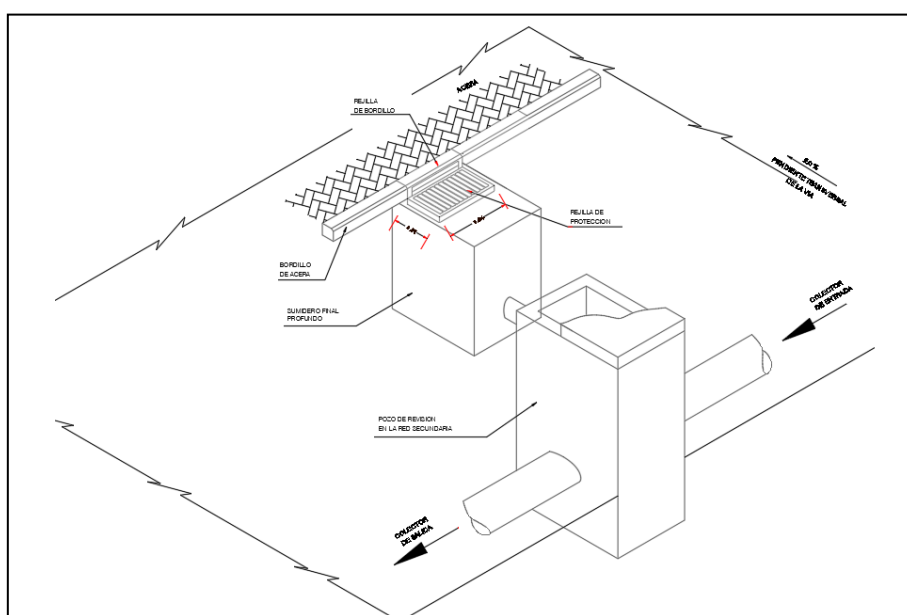
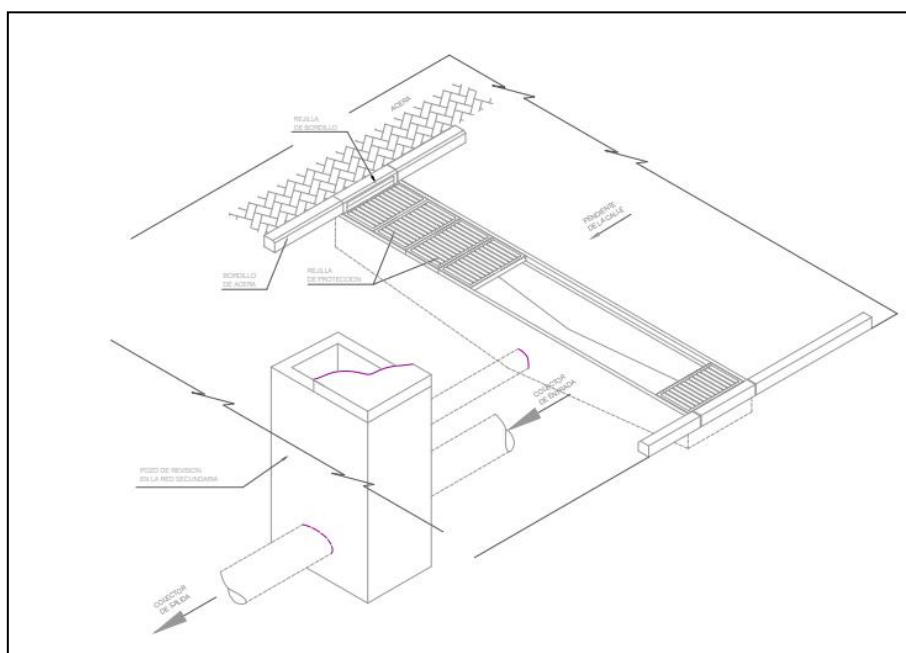


Fig. 6-4 Configuración de rejilla transversal y colectores.



6.3.2 Tirantes

Son tuberías que descargan las aguas lluvias a los pozos de revisión. A continuación, se indican los tirantes de sumideros.

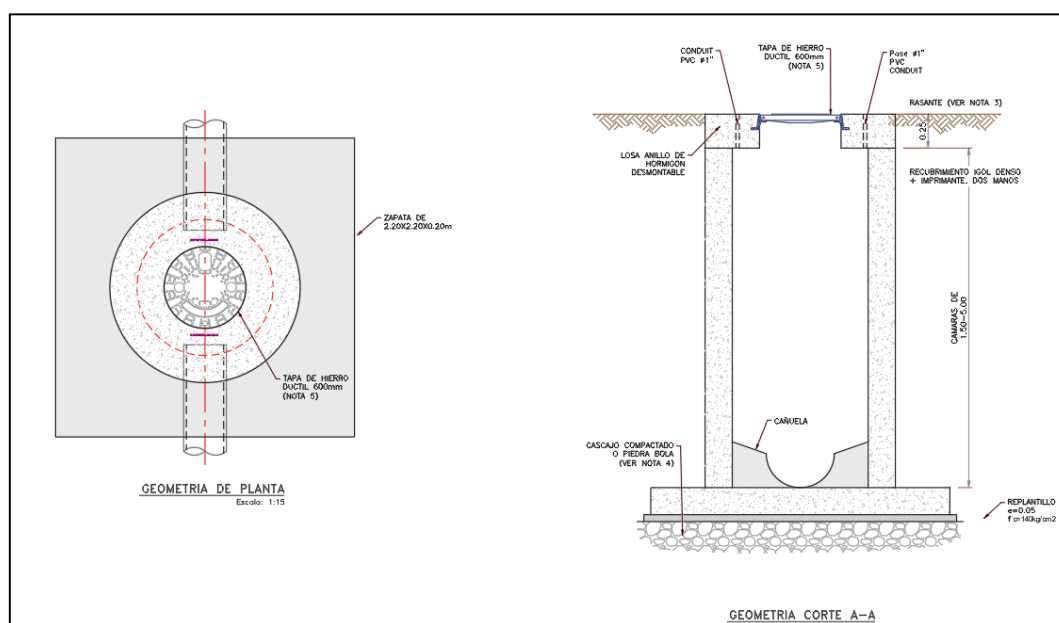
Tabla 6-2 Tirantes de Sumideros.

Puerto Quito	Longitud (m)	
	PVC	HS
Ø 63 mm	12.43	
Ø 110 mm	22.56	
Ø 150 mm		57.14
Ø 160 mm	26.51	
Ø 200 mm	953.50	
Ø 250 mm	113.34	
Ø 250 mm		103.27
Ø 300 mm	144.75	
Ø 300 mm		26.31
Ø 400 mm	3.61	
Ø 500 mm	13.41	
Total	1364.70	186.72

6.3.3 Pozos de revisión.

Cumplen la función como nodos en los cambios de dirección o pendiente en el sistema, además que permiten el acceso para la inspección y el mantenimiento de las redes, tienen la siguiente configuración:

Fig. 6-5 Configuración de pozos de revisión y colectores.



Existe un total de 90 pozos de revisión dentro del polígono clasificado como “cabecera cantonal de Puerto Quito”, dentro de los cuales se logró la apertura de 86 de estos, donde se pudo constatar sus condiciones físicas y operativas. Del total de pozos registrados en la red existe una cantidad de 4 pozos a los que no se tuvo acceso debido a que se encuentran bajo la capa de rodadura, capa vegetal o terreno natural, a continuación, se muestran tablas resumen de los pozos de revisión:

Tabla 6-3 Pozos de revisión del sistema de drenaje (tipo de estructura).

Cuerpo del Pozo	
Descripción	Cantidad
Concreto	85
PVC	0
Mampostería	1
Total	86

Los pozos están provistos de tapas de hierro fundido HF donde consta la identificación de la obra y el año de construcción.

Tabla 6-4 Pozos de revisión del sistema de drenaje (tipo de tapa).

Cuerpo del Pozo	
Descripción	Cantidad
Concreto	3
Metal	77
Rejilla	4
No tiene	2
Total	86

6.3.4 Colectores

La Tabla 6-5 presenta la longitud de las tuberías existentes, clasificada según el diámetro y el tipo de material: PVC tipo B, hormigón simple (HS) y hormigón armado (HA). Para las tuberías de PVC se utiliza el diámetro nominal interno (DNI), mientras que para las tuberías de hormigón se considera el diámetro interno (DI).

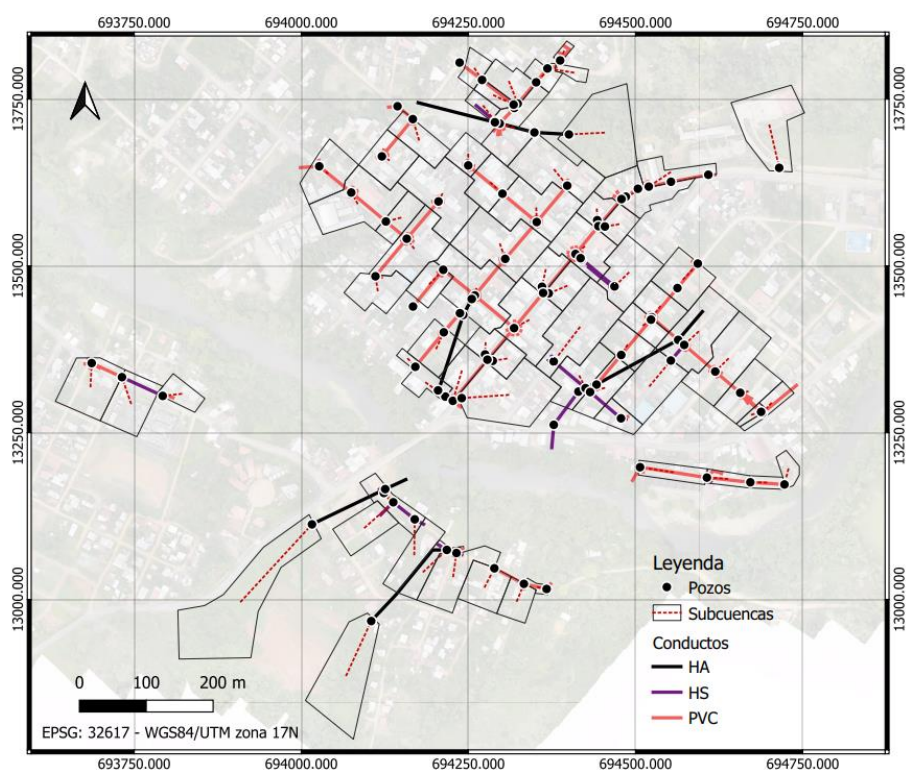
Tabla 6-5 Longitud de las tuberías existentes según diámetro y material.

Diámetro	Longitud (m)		
	PVC tipo B (DNI, mm)	HS (DI, mm)	HA (DI, mm)
Ø 200 mm	113.53		
Ø 250 mm		112.66	
Ø 300 mm	747.99	194.63	
Ø 400 mm	649	66.13	
Ø 500 mm	477.15		
Ø 600 mm	407.33		300.40
Ø 700 mm	251.47		144.63
Ø 800 mm	76.38		185.55
Ø 900 mm			125.24
Ø 1000 mm	184.54		295.87
Ø 1100 mm	65.71		

Fuente: PDOT Elaboración: Equipo Consultor

En el Fig. 6-6 se muestran estos colectores y se hace especial referencia al material de los conductos, véase que una gran parte son tuberías de PVC sin embargo no es despreciable la cantidad de conductos de hormigón armado y simple.

Fig. 6-6 Proyecto en QGIS para modelo de flujo de la red existente.



6.3.5 Descargas.

En la Tabla 6-6 se brinda el listado de descargas del sistema existente de AALL con sus cotas de descarga, dato este muy importante para evaluar el funcionamiento del sistema por medio de un modelo hidrodinámico.

Tabla 6-6 Datos de las descargas existentes del sistema de AALL.

Nro	Código	Cota descarga (m)
1	O-1	126.2
2	O-2	127
3	O-3	140.28
4	O-4	140.23
5	O-5	133
6	O-6	122.17
7	O-7	128.6
8	O-8	129.72
9	O-9	132.21
10	O-11	126.7
11	O-12	128.11
12	O-13	130
13	O-14	147
14	O-15	131.1
15	O-16	124.64
16	O-1	126.2

6.4 Simulación hidrodinámica de la red existente

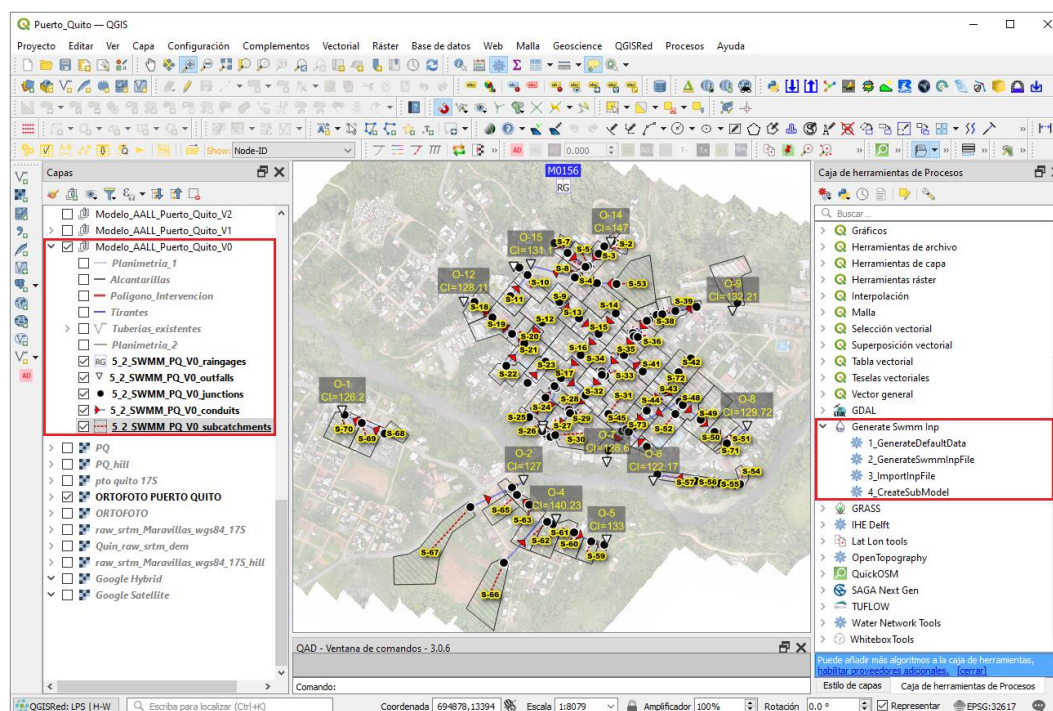
Para la simulación hidrodinámica de la red existente, así como la posterior simulación del diseño propuesto se emplea un flujo de trabajo que se basa en la creación de todos los elementos del modelo hidrológico – hidráulico de SWMM en el sistema de información Geográfico QGIS con su complemento Generate Swmm Inp el cual brinda ficheros predefinidos con la estructura de datos que necesita el modelo SWMM 5.2 para sus objetos de nodos como son los pozos, descargas, etc, los lineales, como son (de forma general) los conductos y los polígonos con los que se definen las áreas de drenaje. Partiendo de la información topográfica, ortoimagen y planimetría obtenida en el proyecto, el procedimiento seguido se basó en definir los polígonos de drenaje asignarles valores a un amplio grupo de datos que consideran dentro de ellos número de la curva CN con el cual se determina internamente en SWMM la precipitación efectiva.

Una vez definidas las subcuencas o áreas de drenaje se realiza la esqueletización de la red existente con la ubicación de pozos, conductos y descargas. En el caso de los diseños se van variando diámetros, pendientes y caídas en los conductos hasta lograr una red que cumpla con los criterios de diseño.

Una vez creado el modelo con el empleo de Generate Swmm Inp desde QGIS se exportan los modelos al modelo SWMM donde se realizan las simulaciones.

En la Fig. 6-7 se muestra una imagen del proyecto en QGIS, véase en la zona izquierda en el panel de Capas como se encuentran las capas principales del modelo, outfalls: descargas, junctions: pozos, conduits: conductos (tuberías y ductos de forma general), subcatchments: áreas de drenaje, raingauges: pluviómetros. En la zona derecha se muestra el complemento Generate Swmm Inp. Desde el punto de vista del propio modelo se puede ver la codificación de cada subcuenca con la letra “S-“ seguido de un número entero consecutivo, se representan con polígonos de drenaje y se muestra el pozo al cual cada subcuenca drena su caudal, de igual forma se muestra la codificación de las descargas con la letra “O-“ seguido de un número entero consecutivo, debajo se ubica la cota de invertida de la descarga y se definen con un objeto de forma triangular y color blanco, los pozos se muestran con un punto de color negro, a la escala de la imagen no se pueden identificar los códigos asignados a cada pozo pero esos datos pueden ser consultados en los planos respectivos, finalmente se tienen los conductos para los cuales se ha diseñado una saeta que indica las direcciones del flujo en los conductos.

Fig. 6-7 Proyecto en QGIS para modelo de flujo de la red existente.



Para realizar la modelación en SWMM se emplea un pluviograma obtenido para la zona de estudio con un período de retorno de 10 años, la explicación de su obtención se realiza más adelante en este informe en la sección de estudio hidrológico.

6.4.1 Subcuencas de drenaje.

A continuación, se presenta la Tabla 6-7 con los datos más importantes de las áreas de drenaje del modelo hidrológico de SWMM.

Tabla 6-7: Datos de las áreas de drenaje para el modelo de SWMM.

Nro	Subc	A (ha)	Outlet	Imperv	N Imperv	N Perv	S Imperv	S Perv	Pct Zero	CN
1	S-1	0.042	PZ-49	50	0.01	0.1	1.25	2.5	70	70
2	S-2	0.079	PZ-48	20	0.01	0.1	1.25	2.5	70	40
3	S-3	0.152	PZ-50	60	0.01	0.1	1.25	2.5	70	60
4	S-4	0.49	PZ-46	60	0.01	0.1	1.25	2.5	70	70
5	S-5	0.276	PZ-44	10	0.01	0.1	1.25	2.5	70	30
6	S-6	0.122	PZ-43	70	0.01	0.1	1.25	2.5	70	80
7	S-7	0.161	PZ-42	15	0.01	0.1	1.25	2.5	70	40
8	S-8	0.115	PZ-47	10	0.01	0.1	1.25	2.5	70	30
9	S-9	0.237	PZ-51	30	0.01	0.1	1.25	2.5	70	60
10	S-10	0.333	PZ-39	20	0.01	0.1	1.25	2.5	70	70
11	S-11	0.418	PZ-38	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	70
12	S-12	0.816	PZ-52	30	0.01	0.1	1.25	2.5	70	65
13	S-13	0.369	PZ-55	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	65
14	S-14	0.717	PZ-57	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	65
15	S-15	0.739	PZ-54	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	70

16	S-16	0.872	PZ-53	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	70
17	S-17	0.838	PZ-30	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	75
18	S-18	0.455	PZ-37	20	0.01	0.1	1.25	2.5	70	40
19	S-19	0.791	PZ-36	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	70
20	S-20	0.256	PZ-35	10	0.01	0.1	1.25	2.5	70	40
21	S-21	0.631	PZ-34	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	80
22	S-22	0.387	PZ-33	30	0.01	0.1	1.25	2.5	70	85
23	S-23	0.253	PZ-31	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	85
24	S-24	0.385	PZ-26	10	0.01	0.1	1.25	2.5	70	50
25	S-25	0.046	PZ-25	30	0.01	0.1	1.25	2.5	70	60
26	S-26	0.209	PZ-23	20	0.01	0.1	1.25	2.5	70	50
27	S-27	0.269	PZ-22	30	0.01	0.1	1.25	2.5	70	50
28	S-28	0.171	PZ-20	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	70
29	S-29	0.185	PZ-18	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	80
30	S-30	1.002	PZ-21	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	70
31	S-31	0.892	PZ-59	30	0.01	0.1	1.25	2.5	70	80
32	S-32	0.701	PZ-17	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	80
33	S-33	0.255	PZ-14	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	70
34	S-34	0.254	PZ-16	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	70
35	S-35	0.544	PZ-11	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	65
36	S-36	0.205	PZ-8	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	75
37	S-37	0.181	PZ-10	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	80
38	S-38	0.498	PZ-7	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	60
39	S-39	0.29	PZ-4	30	0.01	0.1	1.25	2.5	70	40
40	S-40	0.826	PZ-1	20	0.01	0.1	1.25	2.5	70	30
41	S-41	0.597	PZ-58	30	0.01	0.1	1.25	2.5	70	60
42	S-42	0.468	PZ-63	10	0.01	0.1	1.25	2.5	70	40
43	S-43	0.225	PZ-65	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	75
44	S-44	0.32	PZ-67	10	0.01	0.1	1.25	2.5	70	40
45	S-45	0.454	PZ-62	20	0.01	0.1	1.25	2.5	70	50
46	S-46	0.187	PZ-60	30	0.01	0.1	1.25	2.5	70	60
47	S-48	0.777	PZ-69	15	0.01	0.1	1.25	2.5	70	50
48	S-49	0.788	PZ-71	20	0.01	0.1	1.25	2.5	70	50
49	S-50	0.453	PZ-72	10	0.01	0.1	1.25	2.5	70	40
50	S-51	0.151	PZ-74	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	70
51	S-52	0.625	PZ-68	20	0.01	0.1	1.25	2.5	70	60
52	S-53	1.038	CE-3	0	0.01	0.1	1.25	2.5	70	30
53	S-54	0.121	PZ-75	10	0.01	0.1	1.25	2.5	70	40
54	S-55	0.092	PZ-76	50	0.01	0.1	1.25	2.5	70	80
55	S-31	0.892	PZ-59	30	0.01	0.1	1.25	2.5	70	80
56	S-56	0.128	PZ-77	50	0.01	0.1	1.25	2.5	70	80
57	S-57	0.234	PZ-78	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	50
58	S-58	0.043	PZ-80	10	0.01	0.1	1.25	2.5	70	40
59	S-59	0.243	PZ-79	5	0.01	0.1	1.25	2.5	70	40
60	S-60	0.384	PZ-81	20	0.01	0.1	1.25	2.5	70	40
61	S-61	0.556	PZ-82	10	0.01	0.1	1.25	2.5	70	40
62	S-62	0.215	PZ-83	1	0.01	0.1	1.25	2.5	70	40
63	S-63	0.36	PZ-84	2	0.01	0.1	1.25	2.5	70	40
64	S-64	0.299	PZ-86	5	0.01	0.1	1.25	2.5	70	40
65	S-65	0.39	PZ-85	10	0.01	0.1	1.25	2.5	70	40

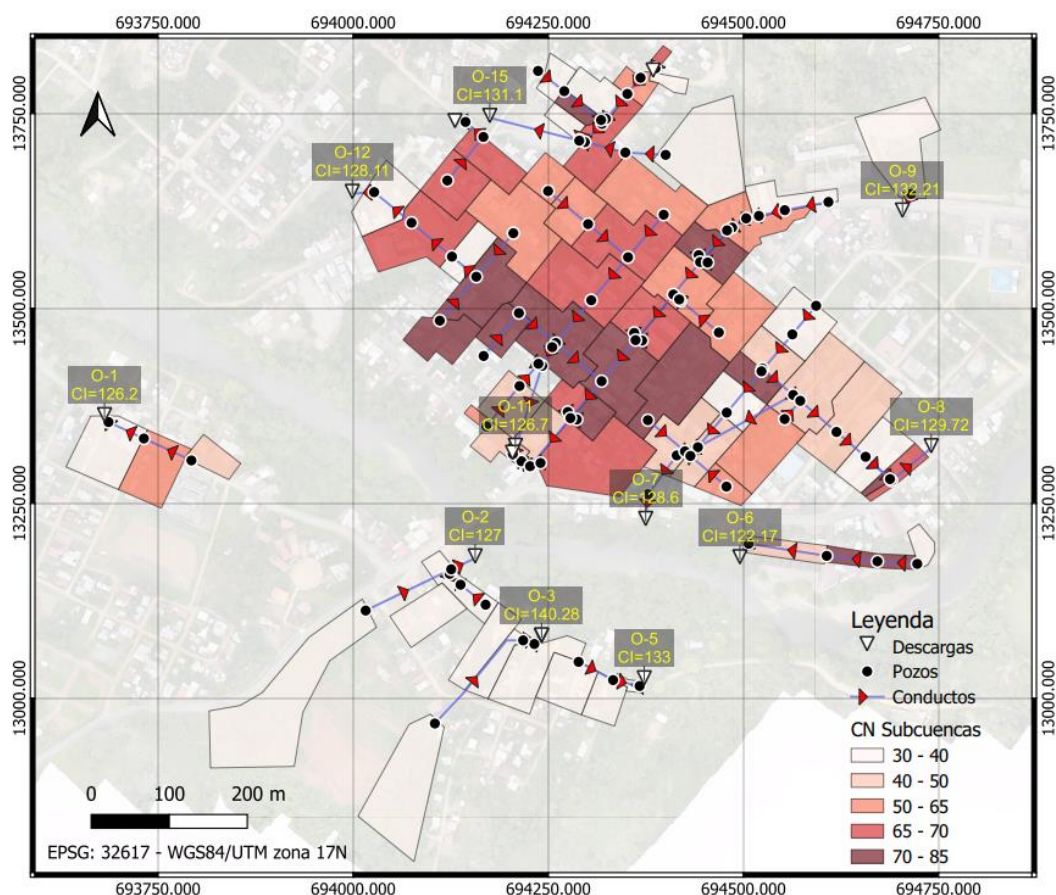
66	S-66	1.043	CE-2	0	0.01	0.1	1.25	2.5	70	30
67	S-67	1.648	CE-1	0	0.01	0.1	1.25	2.5	70	30
68	S-68	0.197	PZ-88	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	50
69	S-69	0.506	PZ-89	40	0.01	0.1	1.25	2.5	70	60
70	S-70	0.608	PZ-90	10	0.01	0.1	1.25	2.5	70	30
71	S-71	0.051	PZ-73	30	0.01	0.1	1.25	2.5	70	80
72	S-72	0.307	PZ-66	10	0.01	0.1	1.25	2.5	70	50
73	S-73	0.352	PZ-61	30	0.01	0.1	1.25	2.5	70	50

Donde:

- *Subc*: Es el código asignado a cada área de drenaje.
- *A(ha)*: Es el área en hectárea del polígono que representa el área de drenaje.
- *Outlet*: Es el código del pozo o descarga o área de drenaje a la cual drena el área de drenaje en cuestión.
- *Imperv (%)*: Porcentaje de área de drenaje que se considera impermeable.
- *N_Imperv*: Valor del coeficiente de Manning para las zonas impermeables.
- *N_Perv*: Valor del coeficiente de Manning para las zonas permeables.
- *S_Imperv (mm)*: Altura de almacenamiento de agua en depresiones en áreas impermeables.
- *S_Perv (mm)*: Altura de almacenamiento de agua en depresiones en áreas permeables.
- *PctZero (%)*: Porcentaje de área impermeable sin almacenamiento en depresiones.
- *CN*: Número de la curva.

En la Fig. 6-8 Valores de CN asociado a las áreas de drenaje se presenta un mapa en el que se ubican los valores del número de la curva a cada área de drenaje, véase que en las zonas más urbanizadas los valores de CN son mayores lo cual indica una mayor cantidad de escurrimiento superficial producido por lluvias intensas.

Fig. 6-8 Valores de CN asociado a las áreas de drenaje.



6.4.2 Resultados de la simulación.

Desde la Fig. 6-9 a la Fig. 6-11 que se presentan a continuación, se pueden apreciar algunos de los resultados de la simulación obtenidos en el momento 1hora:10minutos que es el instante donde se obtiene el caudal máximo en el sistema.

En la Fig. 6-9 se representa la variable Capacidad que indica el porcentaje de llenado de la tubería. Como puede verse hay unas pocas tuberías con Capacidad entre 0.75 y 1 y algunas menos con valores mayores que 1 que serán identificadas en la tabla 8.

En el Fig. 6-10 se representa el caudal en las tuberías en el instante 1:10 min después de iniciada la lluvia, que es el momento donde este es máximo, véase cómo los colectores principales tienen sus mayores caudales en las descargas.

En el Fig. 6-11 se representa la velocidad en las tuberías en el instante 1:10 min después de iniciada la lluvia. Véase que en los colectores con mayores caudales también se incrementa la velocidad.

Fig. 6-9 Valores de Capacidad de llenado de tuberías (Simulación de la red existente).

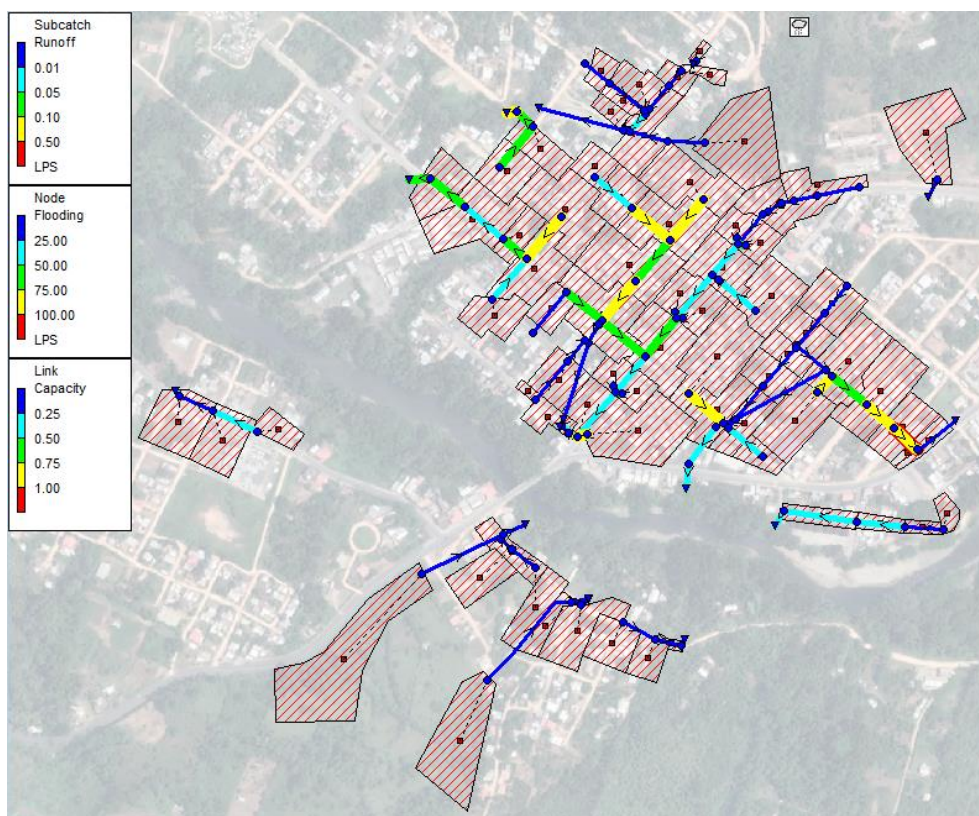


Fig. 6-10 Valores de caudales en las tuberías (Simulación de la red existente).

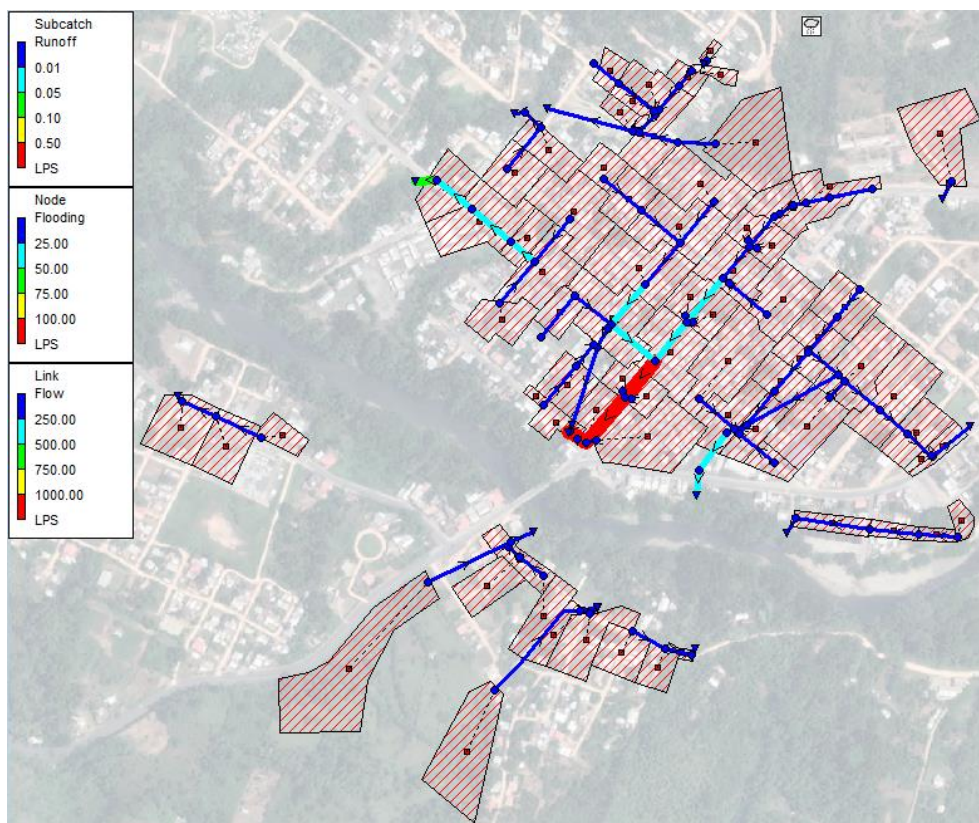
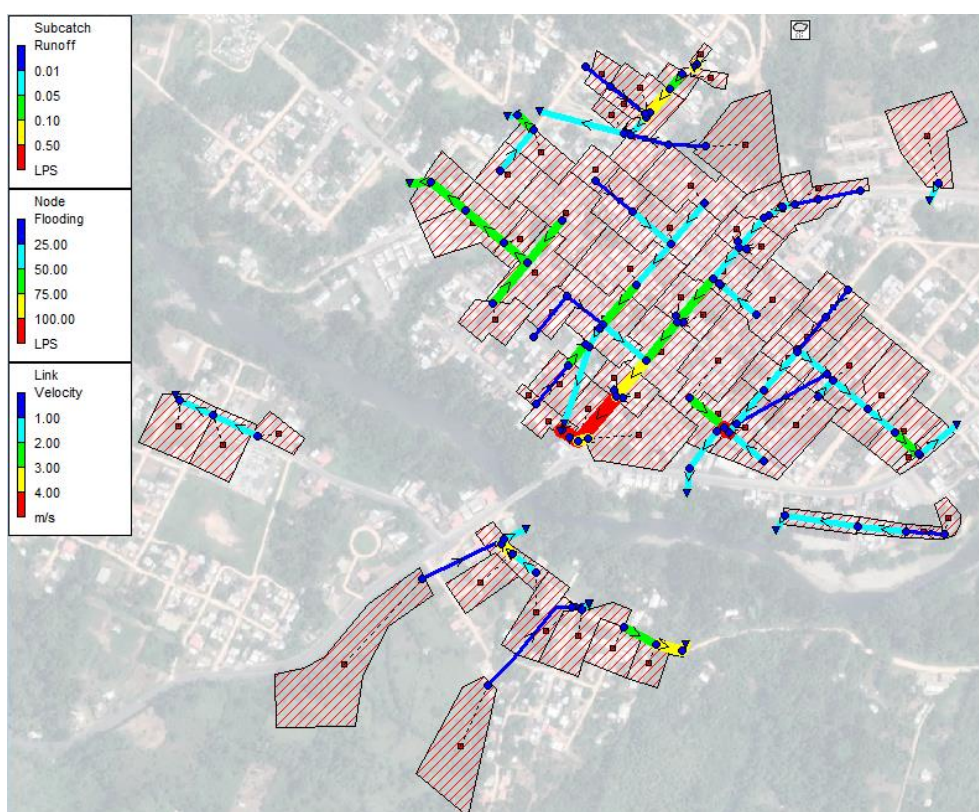


Fig. 6-11 Valores de velocidades en las tuberías (Simulación de la red existente).



7 CAPÍTULO 3. MODELO COMPUTACIONAL

El presente capítulo describe la construcción y verificación de los modelos hidrológico-hidráulicos del sistema de alcantarillado pluvial de Puerto Quito. La información espacial fue preparada en QGIS y transferida a EPA SWMM 5.2 mediante el complemento Generate SWMM INP. Se modelaron dos condiciones: la red existente, utilizada como línea base para identificar las deficiencias hidráulicas, y la red propuesta, desarrollada para ampliar la cobertura y corregir los tramos críticos. Ambos modelos fueron evaluados con una lluvia de diseño de 10 años de período de retorno, 2 horas de duración e intervalos de precipitación de 5 minutos. La verificación de la red propuesta considera caudales, velocidades, relaciones de llenado, sobrecargas, perfiles hidráulicos y condiciones de descarga.

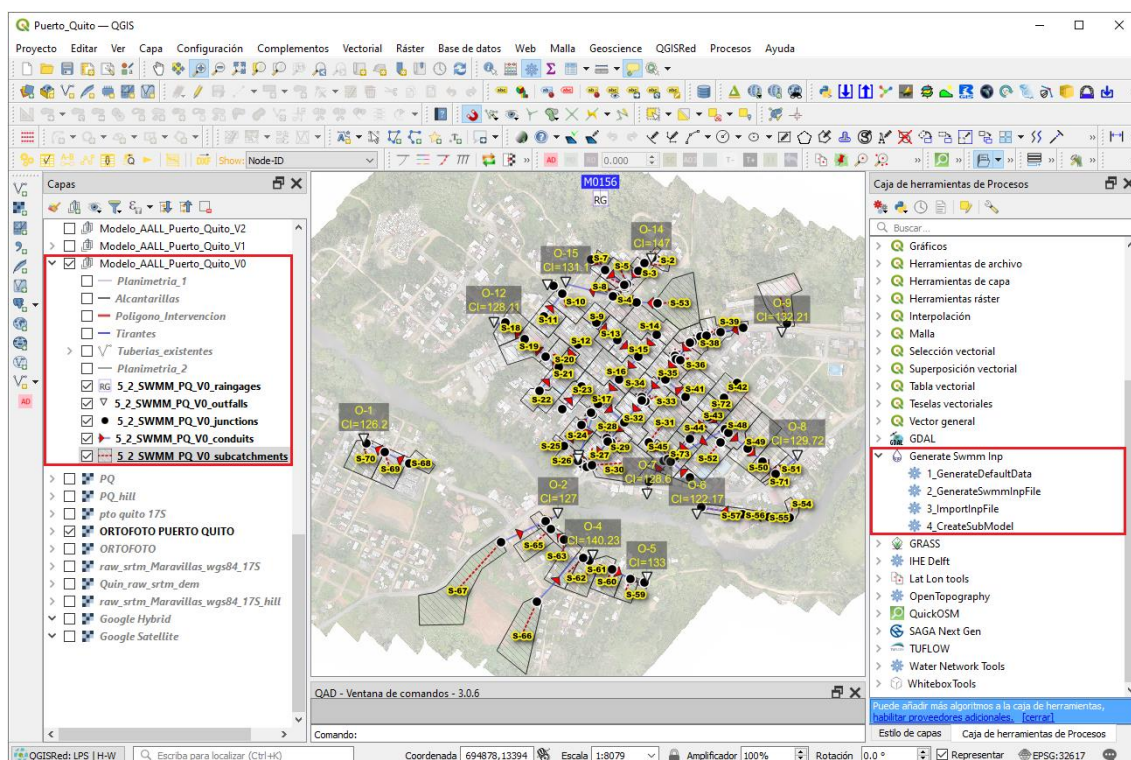
7.1 Flujo de trabajo QGIS-SWMM

El flujo de trabajo se estructuró para mantener la relación entre la geometría territorial y los datos requeridos por EPA SWMM 5.2. QGIS funcionó como plataforma de preparación y control de la información espacial, mientras que SWMM se utilizó para resolver la transformación lluvia-escorrentía y la propagación hidráulica del flujo a través de la red.

Tabla 7-1 Flujo de trabajo aplicado al modelo computacional.

Etapas	Proceso	Producto o verificación
1	Información base	Topografía, ortoimagen, planimetría, modelo digital de elevación y catastro de la red.
2	Capas en QGIS	Subcuencas, pozos, conductos, descargas y pluviómetro.
3	Control y atributos	Conectividad, cotas, longitudes, diámetros, pendientes, rugosidades y parámetros hidrológicos.
4	Generate SWMM INP	Conversión de las capas y atributos al archivo de entrada .inp.
5	EPA SWMM 5.2	Simulación en período extendido mediante el método de onda dinámica.
6	Evaluación	Revisión de caudales, velocidades, llenado, sobrecargas, perfiles y comportamiento de descargas.
7	Ajuste de diseño	Modificación de diámetros, pendientes, profundidades, saltos y puntos de descarga.

Fig. 7-1 Preparación del modelo de la red existente en QGIS y Generate SWMM INP.



7.2 Configuración del modelo

La configuración del modelo integra los componentes hidrológicos y los componentes hidráulicos. La red existente y la red propuesta fueron simuladas con el mismo evento de precipitación y los mismos métodos hidrológicos e hidráulicos. La red existente constituye la condición inicial de diagnóstico, mientras que la red propuesta representa el diseño desarrollado para corregir las limitaciones identificadas.

Tabla 7-2 Condiciones de simulación de la red existente y de la red propuesta.

Parámetro	Red existente	Diseño propuesto
Período de retorno	10 años	10 años
Duración del evento	2 horas	2 horas
Intervalo de precipitación	5 minutos	5 minutos
Número de bloques	24	24
Precipitación total aproximada	76,852 mm	76,852 mm
Lámina máxima por intervalo	9,513 mm	9,513 mm
Instante de máxima lámina	65 minutos	65 minutos
Método de infiltración	Número de curva CN	Número de curva CN

Método de propagación hidráulica	Onda dinámica	Onda dinámica
Programa de simulación	EPA SWMM 5.2	EPA SWMM 5.2

Tabla 7-3 Intensidad de la lluvia de 24 horas para diferentes períodos de retorno.

Código de estación	Tr = 2 años	Tr = 5 años	Tr = 10 años	Tr = 25 años	Tr = 50 años	Tr = 100 años
M0025	5.89	7.29	8.16	9.18	9.92	10.63
M0156	4.03	4.88	5.44	6.16	6.68	7.21

Para el diseño se adopta un período de retorno de $Tr=10$ años, correspondiente al límite superior del rango establecido para sistemas de microdrenaje urbano por el (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992), conforme a la justificación presentada en el apartado 5.4.2. Para este período de retorno se consideran intensidades de 8,16 mm/h para la estación M0025 y 5,44 mm/h para la estación M0156.

Los eventos con períodos de retorno superiores a 10 años pueden considerarse como escenarios extraordinarios de comprobación o análisis de resiliencia; sin embargo, no corresponden al evento de dimensionamiento adoptado para el sistema de microdrenaje conforme al rango normativo aplicado en este estudio.

Tabla 7-4 Obtención del pluviograma de la estación M0025 para $Tr = 10$ años, $t = 2$ h e intervalos de 5 min.

Nro.	t (min)	t (h)	I (mm/h)	P acum. (mm)	ΔP (mm)	Intervalo	P (mm)
1	5	0.083	163.839	13.653	13.653	0-5	1.2695
2	10	0.167	149.203	24.867	11.214	5-10	1.354
3	15	0.250	141.256	35.314	10.447	10-15	1.454
4	20	0.333	135.875	45.292	9.978	15-20	1.573
5	25	0.417	131.843	54.934	9.643	20-25	1.719
6	30	0.500	128.637	64.319	9.384	25-30	1.901
7	35	0.583	125.988	73.493	9.174	30-35	2.136
8	40	0.667	123.737	82.491	8.998	35-40	2.456
9	45	0.750	112.626	84.470	1.978	40-45	8.998
10	50	0.833	104.310	86.925	2.456	45-50	9.384
11	55	0.917	97.318	89.208	2.283	50-55	9.978

12	60	1.000	91.345	91.345	2.136	55-60	11.214
13	65	1.083	86.174	93.355	2.011	60-65	13.653
14	70	1.167	81.648	95.256	1.901	65-70	10.447
15	75	1.250	77.648	97.061	1.804	70-75	9.643
16	80	1.333	74.085	98.779	1.719	75-80	9.174
17	85	1.417	70.886	100.422	1.642	80-85	1.978
18	90	1.500	67.997	101.995	1.573	85-90	2.283
19	95	1.583	65.372	103.506	1.511	90-95	2.011
20	100	1.667	62.976	104.961	1.454	95-100	1.804
21	105	1.750	60.779	106.363	1.402	100-105	1.642
22	110	1.833	58.755	107.717	1.354	105-110	1.511
23	115	1.917	56.884	109.028	1.310	110-115	1.402
24	120	2.000	55.148	110.297	1.269	115-120	1.310

Estación M0025 (La Concordia), Tr = 10 años, IdTr = 8,16 mm/h y duración total de 120 minutos.

Tabla 7-5 Obtención del pluviograma de la estación M0156 para Tr = 10 años, t = 2 h e intervalos de 5 min.

Nro.	t (min)	t (h)	I (mm/h)	P acum. (mm)	ΔP (mm)	Intervalo	P (mm)
1	5	0.083	109.226	9.102	9.102	0-5	0.8463
2	10	0.167	99.469	16.578	7.476	5-10	0.903
3	15	0.250	94.170	23.543	6.964	10-15	0.969
4	20	0.333	90.583	30.194	6.652	15-20	1.049
5	25	0.417	87.895	36.623	6.429	20-25	1.146
6	30	0.500	85.758	42.879	6.256	25-30	1.267
7	35	0.583	83.992	48.995	6.116	30-35	1.424
8	40	0.667	82.491	54.994	5.999	35-40	1.637
9	45	0.750	75.084	56.313	1.319	40-45	5.999
10	50	0.833	69.540	57.950	1.637	45-50	6.256
11	55	0.917	64.879	59.472	1.522	50-55	6.652
12	60	1.000	60.896	60.896	1.424	55-60	7.476
13	65	1.083	57.449	62.237	1.340	60-65	9.102
14	70	1.167	54.432	63.504	1.267	65-70	6.964
15	75	1.250	51.766	64.707	1.203	70-75	6.429

16	80	1.333	49.390	65.853	1.146	75-80	6.116
17	85	1.417	47.257	66.948	1.095	80-85	1.319
18	90	1.500	45.331	67.997	1.049	85-90	1.522
19	95	1.583	43.582	69.004	1.007	90-95	1.340
20	100	1.667	41.984	69.974	0.969	95-100	1.203
21	105	1.750	40.519	70.909	0.935	100-105	1.095
22	110	1.833	39.170	71.811	0.903	105-110	1.007
23	115	1.917	37.923	72.685	0.874	110-115	0.935
24	120	2.000	36.766	73.531	0.846	115-120	0.874

Estación M0156 (Quinindé), $T_r = 10$ años, $I_d T_r = 5,44$ mm/h y duración total de 120 minutos.

Tabla 7-6 Obtención del pluviograma definitivo para Puerto Quito.

Nro.	t (min)	P1 integrada (mm)	P2 con FRA = 0.87 (mm)	P3 definitiva con factor orográfico = 0.90 (mm)
1	5	1.131	0.984	0.886
2	10	1.202	1.046	0.941
3	15	1.292	1.124	1.012
4	20	1.398	1.216	1.094
5	25	1.532	1.333	1.200
6	30	1.692	1.472	1.325
7	35	1.902	1.655	1.490
8	40	2.189	1.904	1.714
9	45	8.010	6.969	6.272
10	50	8.350	7.265	6.539
11	55	8.881	7.726	6.953
12	60	9.979	8.682	7.814
13	65	12.149	10.570	9.513
14	70	9.298	8.089	7.280
15	75	8.581	7.465	6.719
16	80	8.164	7.103	6.393
17	85	1.762	1.533	1.380
18	90	2.029	1.765	1.589
19	95	1.789	1.556	1.400

20	100	1.602	1.394	1.255
21	105	1.459	1.269	1.142
22	110	1.345	1.170	1.053
23	115	1.245	1.083	0.975
24	120	1.165	1.014	0.913

P1 corresponde al pluviograma integrado mediante ponderación por inverso de la distancia; P2 incorpora el factor de reducción areal $FRA = 0,87$; y P3 representa la precipitación definitiva empleada, en las tres simulaciones después de aplicar el factor orográfico de 0,90. La precipitación total es 76,852 mm y el bloque máximo es 9,513 mm a los 65 minutos.

7.3 Modelo de la red existente

El modelo de la red existente representa la infraestructura identificada y caracterizada dentro del área de estudio. Su simulación permitió localizar los tramos con mayores relaciones de llenado y establecer una línea base para definir las modificaciones incorporadas en la red propuesta. El máximo general del sistema se presenta aproximadamente a 1 hora y 10 minutos desde el inicio de la tormenta.

Tabla 7-7 Resumen del modelo de la red existente.

Indicador	Valor
Subcuencas	73 registros en la tabla del modelo
Pozos de revisión	90 unidades inventariadas
Conductos simulados	100 tramos con resultados hidrodinámicos
Descargas	Puntos O definidos como condiciones de salida
Evento	Tr = 10 años; duración 2 h; intervalo 5 min
Caudal máximo registrado	1.393,39 l/s en T-101
Velocidad máxima registrada	6,42 m/s en T-101
Máxima relación Q_{max}/Q_o	1,66 en T-33
Máxima relación y_{max}/D	1,00

Fig. 7-2 Capacidad de llenado de los conductos de la red existente.

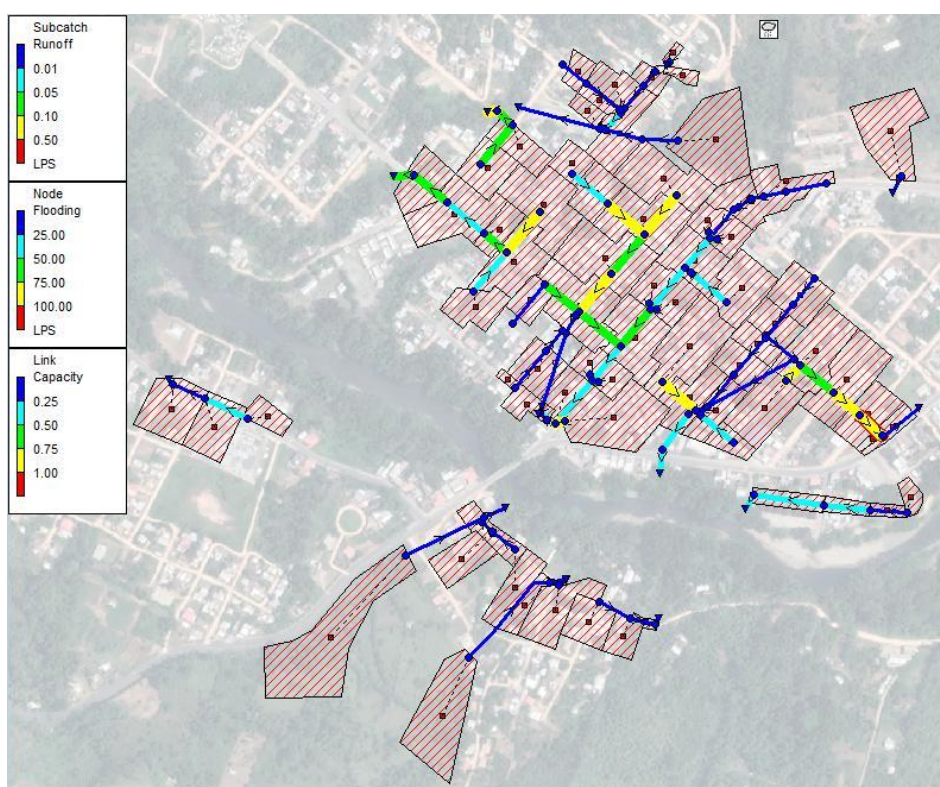


Fig. 7-3 Caudales en los conductos de la red existente.

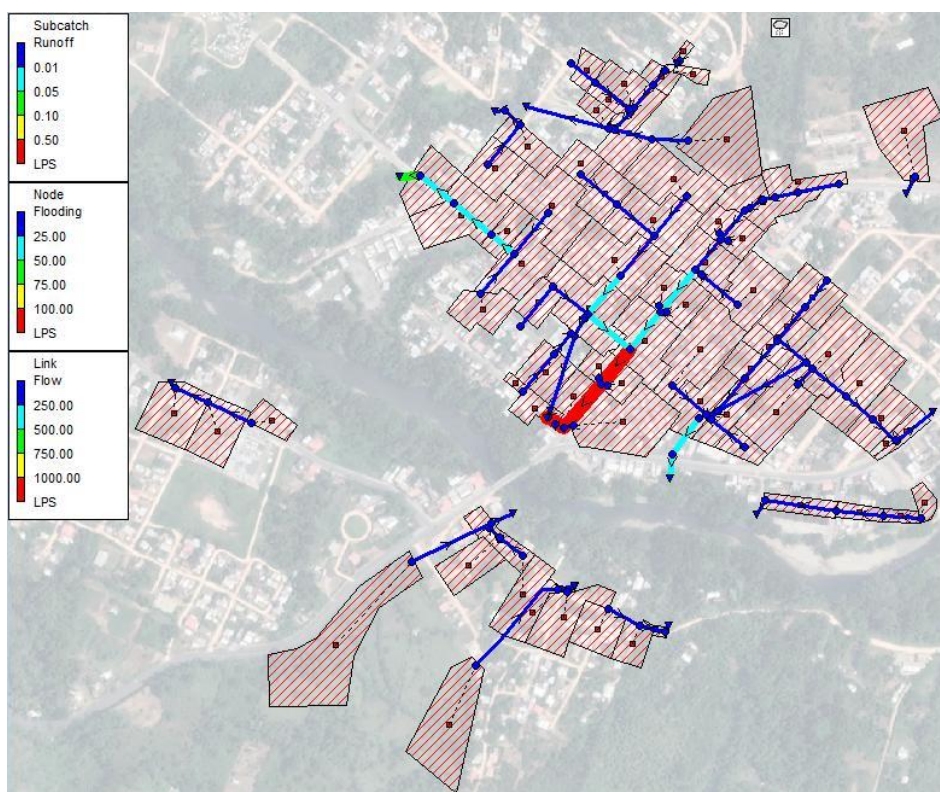


Fig. 7-4 Velocidades en los conductos de la red existente.

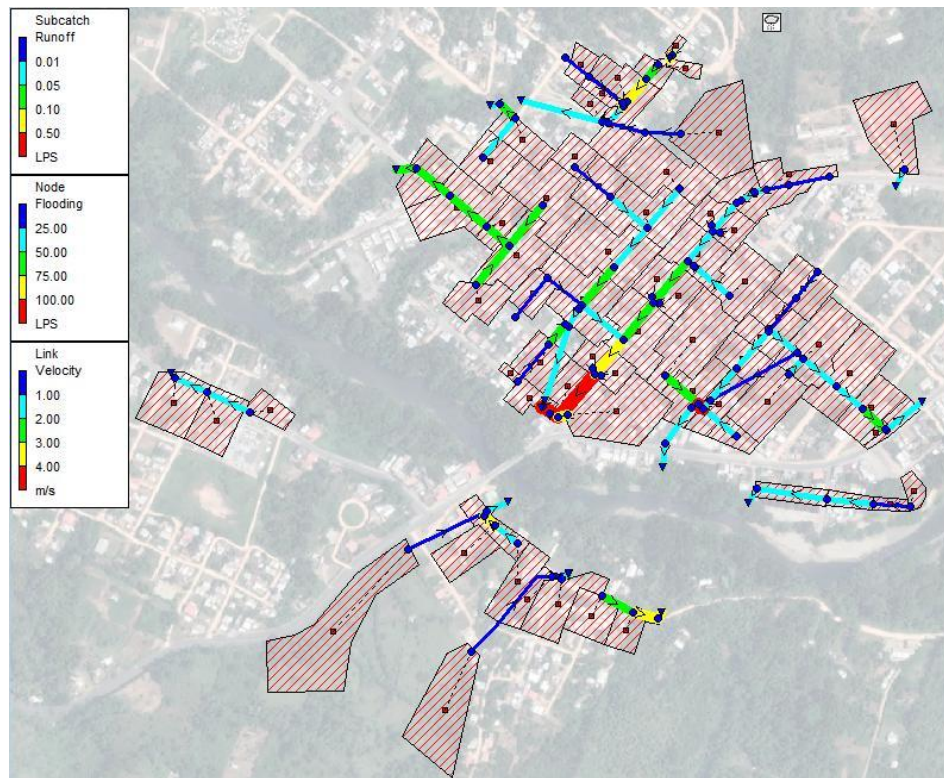


Tabla 7-8 Tramos críticos identificados en la red existente.

Conducto	D (mm)	$Q_{m\acute{a}x}/Q_0$	$y_{m\acute{a}x}/D$	Interpretación
T-10	300	1,11	0,94	Capacidad próxima o superior a la sección llena.
T-29	300	1,26	0,90	Demanda mayor que el caudal de referencia a tubo lleno.
T-31	400	0,71	1,00	El tirante alcanza la totalidad del diámetro.
T-32	300	1,63	0,92	Alta relación de caudal; requiere redimensionamiento.
T-33	200	1,66	1,00	Condición crítica de llenado completo.
T-48	300	0,98	0,80	Capacidad próxima al límite.
T-64	300	1,10	1,00	Conducto lleno y caudal superior al de referencia.

Fig. 7-5 Perfil hidráulico representativo de la red existente: línea PZ-2 - O-16.

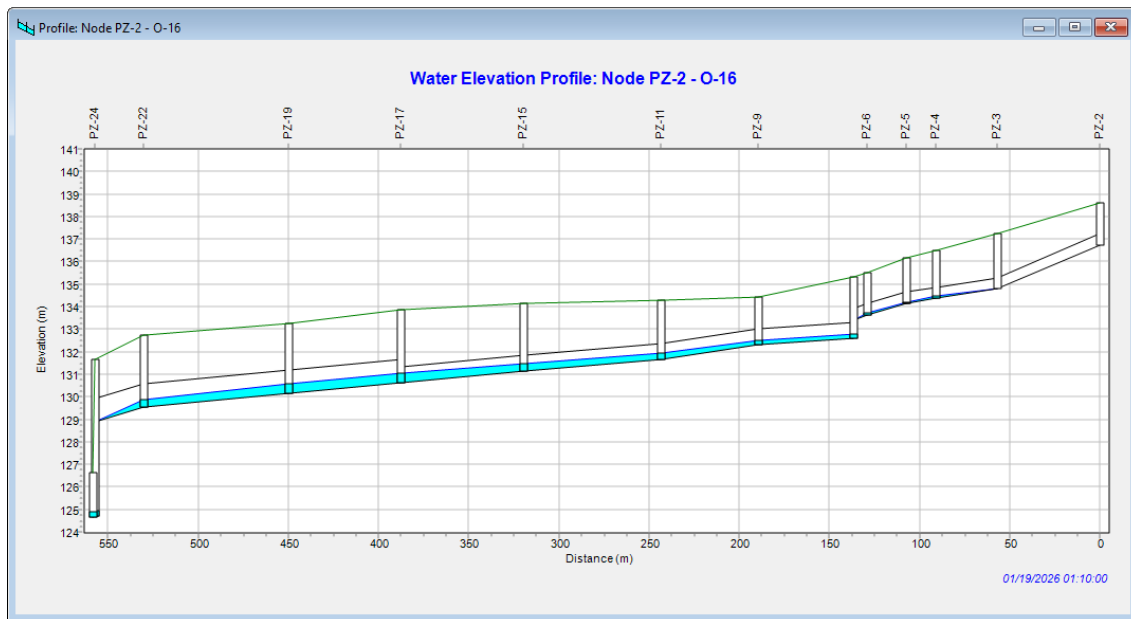
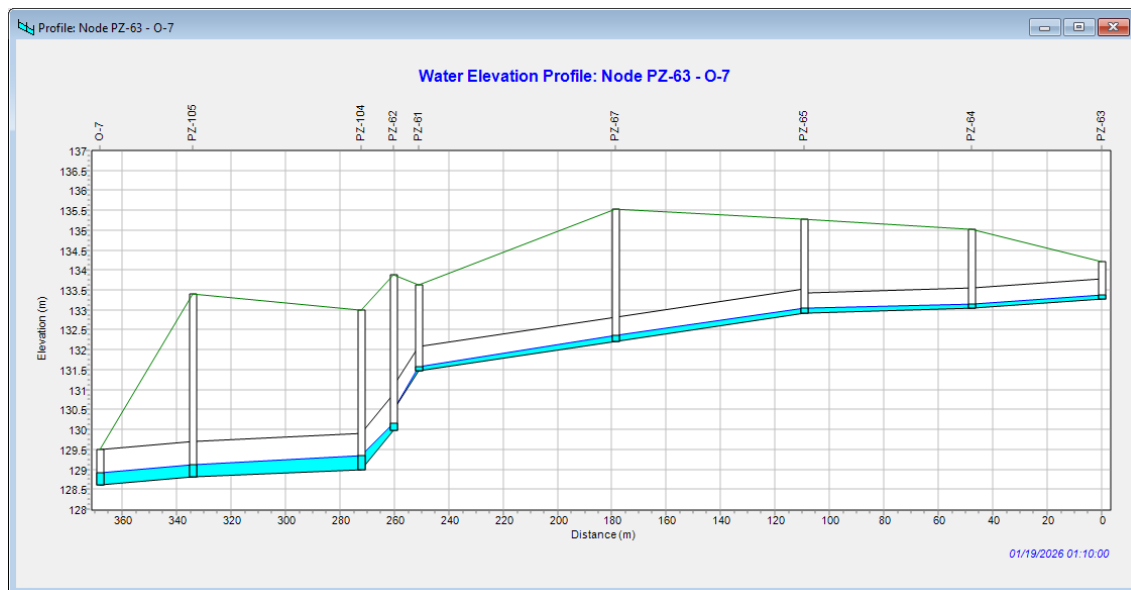


Fig. 7-6 Perfil hidráulico representativo de la red existente: línea PZ-63 - O-7.



La red existente presenta siete conductos críticos, entre ellos T-10, T-29, T-31, T-32, T-33, T-48 y T-64. La máxima relación Q_{max}/Q_o alcanza 1,66 y la relación máxima y_{max}/D llega a 1,00. Estos resultados justifican el redimensionamiento, sustitución o eliminación de los tramos deficientes.

7.4 Modelo de la red propuesta

La red propuesta conserva los elementos aprovechables de la red existente y amplía la cobertura mediante nuevos colectores, pozos y descargas. Su criterio principal consiste en distribuir la esorrentía entre un mayor número de puntos de salida. Al reducir las áreas tributarias asociadas a cada descarga, se limita la concentración de caudales y se favorece el uso de colectores de menor diámetro.

Tabla 7-9 Resumen del modelo de la red propuesta.

Indicador	Valor
Subcuencas	160
Pozos de revisión	185 registros
Conductos	185 tramos de PVC, existentes y nuevos
Descargas	33 puntos
Criterio principal	Mayor número de descargas y menor concentración de caudales
Instante de mayor caudal	Aproximadamente 1 h 10 min
Caudal máximo	1.543,24 l/s en T-101
Velocidad máxima	10,12 m/s en T-100
Máxima relación $Q_{\text{máx}}/Q_0$	1,26
Máxima relación $y_{\text{máx}}/D$	0,97

Fig. 7-7 Vista general del sistema diseñado para la red propuesta.

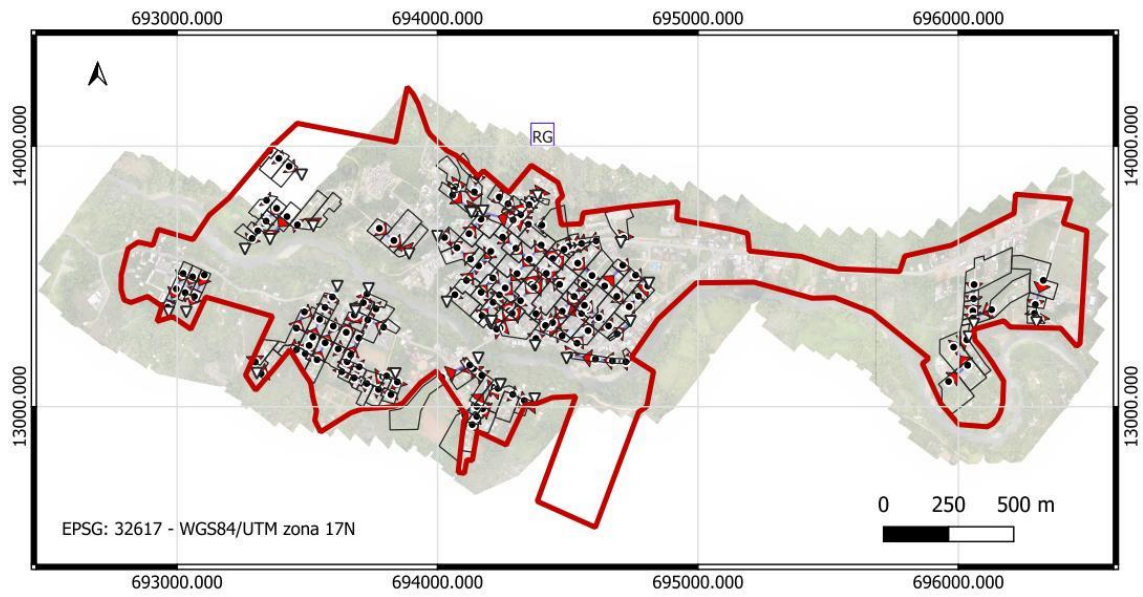
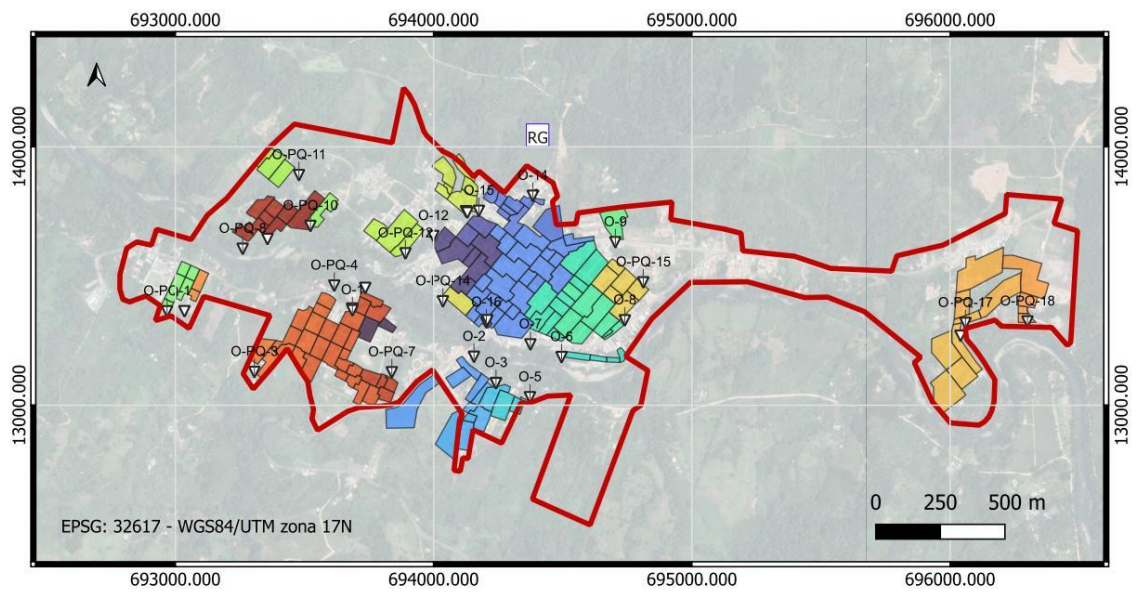


Fig. 7-8 Áreas de drenaje asociadas a las descargas de la red propuesta.



Leyenda

Descargas y	O-13	O-2	O-6	O-PQ-1	O-PQ-13	O-PQ-17	O-PQ-4	O-PQ-8
Subcuencas	O-14	O-3	O-7	O-PQ-10	O-PQ-14	O-PQ-18	O-PQ-5	O-PQ-9
	O-15	O-4	O-8	O-PQ-11	O-PQ-15	O-PQ-2	O-PQ-6	
	O-12	O-16	O-5	O-9	O-PQ-12	O-PQ-16	O-PQ-3	O-PQ-7

Fig. 7-9 Distribución del número de curva CN en la red propuesta.

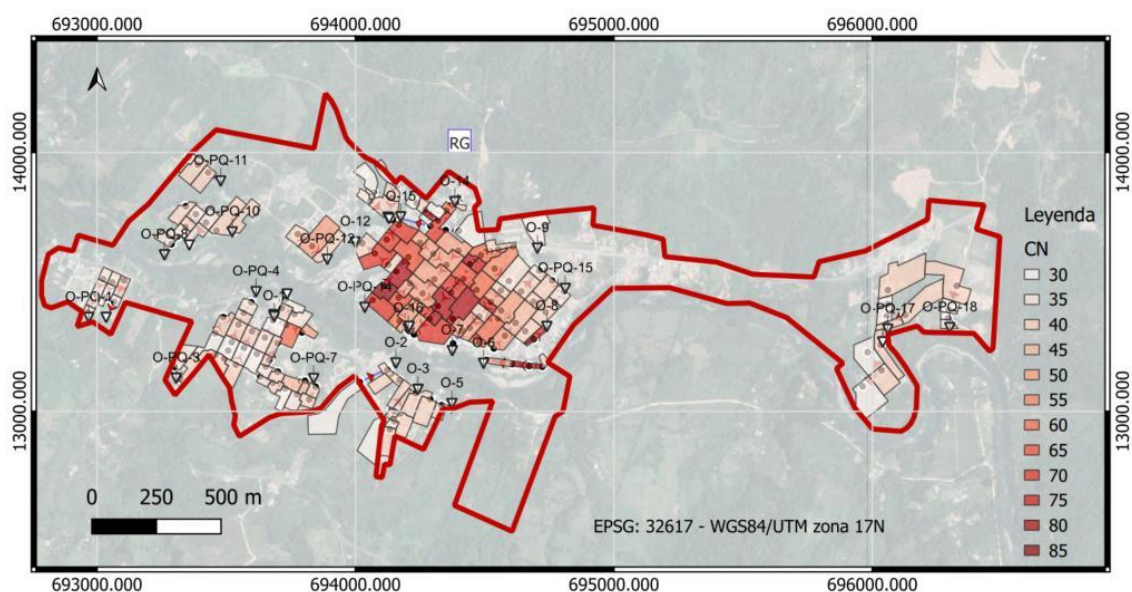


Tabla 7-10 Conductos eliminados o modificados en la red propuesta.

Intervención	Conducto	Finalidad
Eliminados	T-1, T-19, T-23, T-24, T-34, T-80, T-92 y T-93	Se suprimen del esquema de diseño.
Redimensionado	T-29 (300 mm) → T-PQ-75 (400 mm)	Aumento de capacidad.
Redimensionado	T-31 (400 mm) → T-PQ-77 (500 mm)	Aumento de capacidad.
Reconfigurado	T-32 y T-33 → T-PQ-76 (500 mm)	Unificación y aumento de diámetro.
Redimensionado	T-48 (300 mm) → T-PQ-84 (364 mm)	Corrección del tramo crítico.
Redimensionado	T-64 (300 mm) → T-PQ-85 (400 mm)	Corrección del llenado completo.
Redimensionado	T-90 (200 mm) → T-PQ-82 (250 mm)	Adecuación al diámetro de diseño.

7.4.1 Resultados de simulación

La red propuesta fue simulada en período extendido. Los mapas muestran que la redistribución de descargas disminuye el número de tramos con llenado completo respecto de la red existente. En la tabla de resultados, ningún conducto alcanza una relación $y_{\text{máx}}/D$ igual a 1, aunque se mantienen dos tramos con $Q_{\text{máx}}/Q_0$ igual o superior a 1. Estos casos deben revisarse en la fase de diseño definitivo junto con las velocidades elevadas asociadas a conductos de fuerte pendiente.

Fig. 7-10 Capacidad de llenado máxima de los conductos, red propuesta.

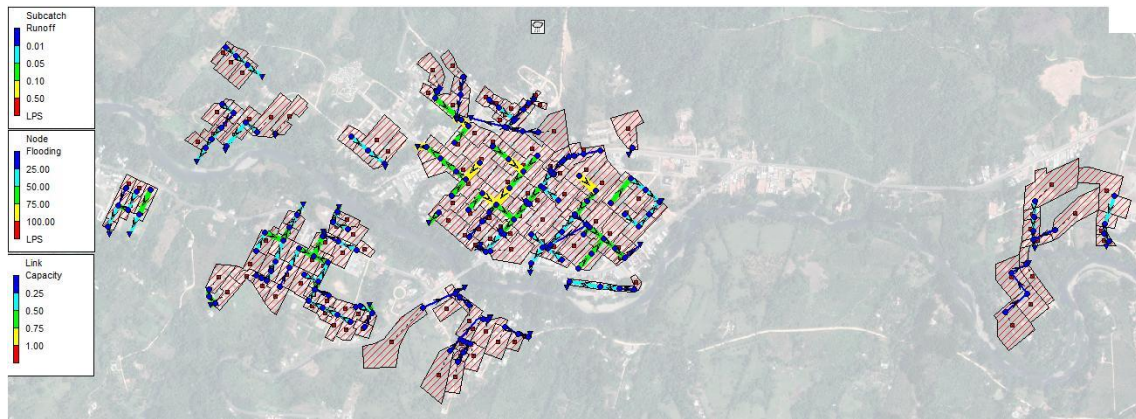


Fig. 7-11 Caudal máximo en los conductos, red propuesta.

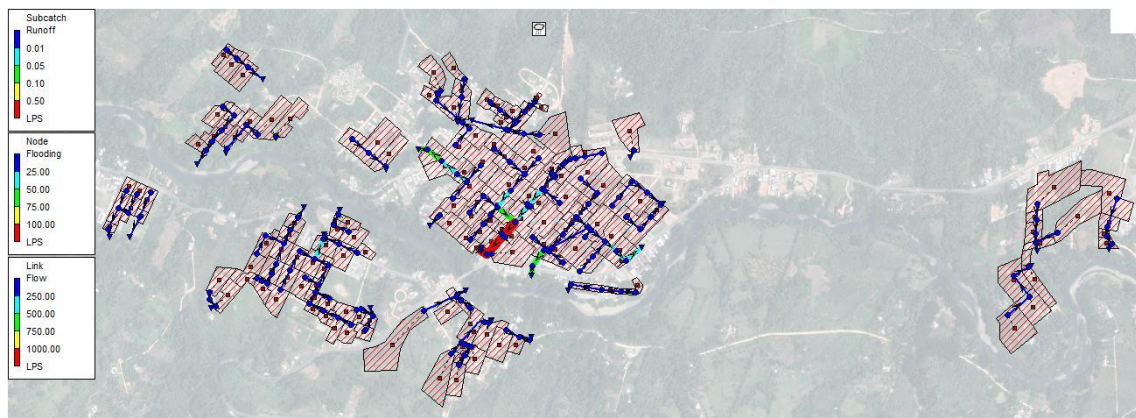


Fig. 7-12 Velocidad máxima en los conductos, red propuesta.

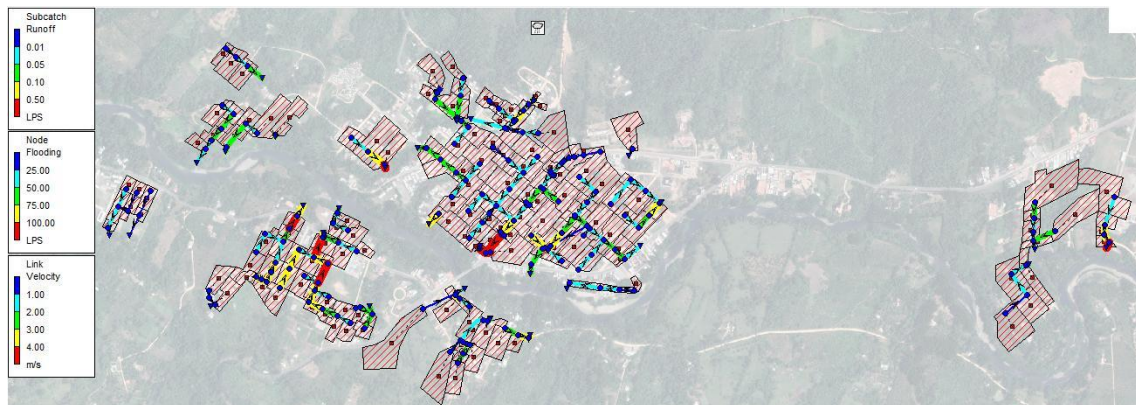


Fig. 7-13 Perfil hidráulico principal de la red propuesta.

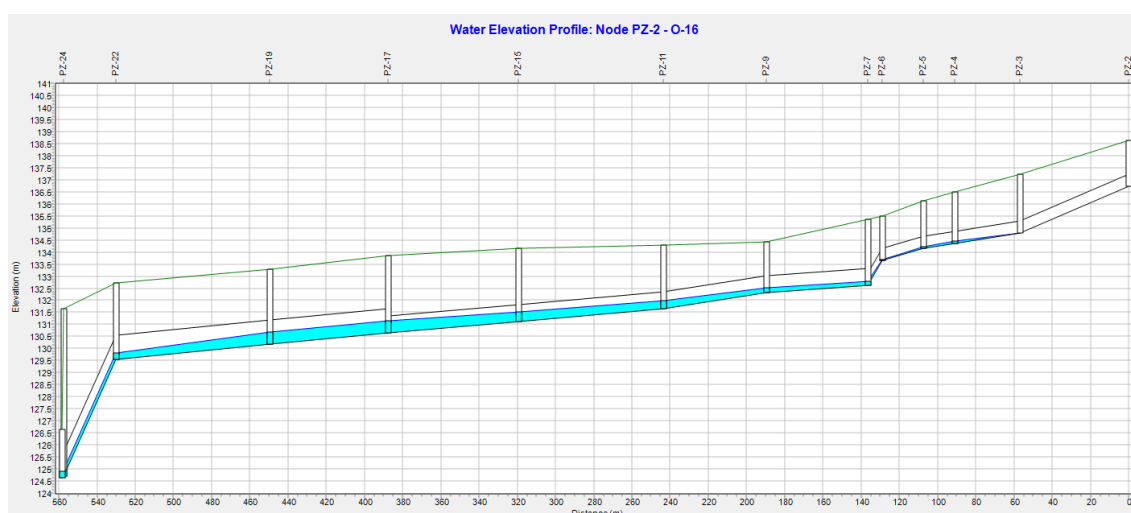


Fig. 7-14 Segundo perfil hidráulico principal de la red propuesta.

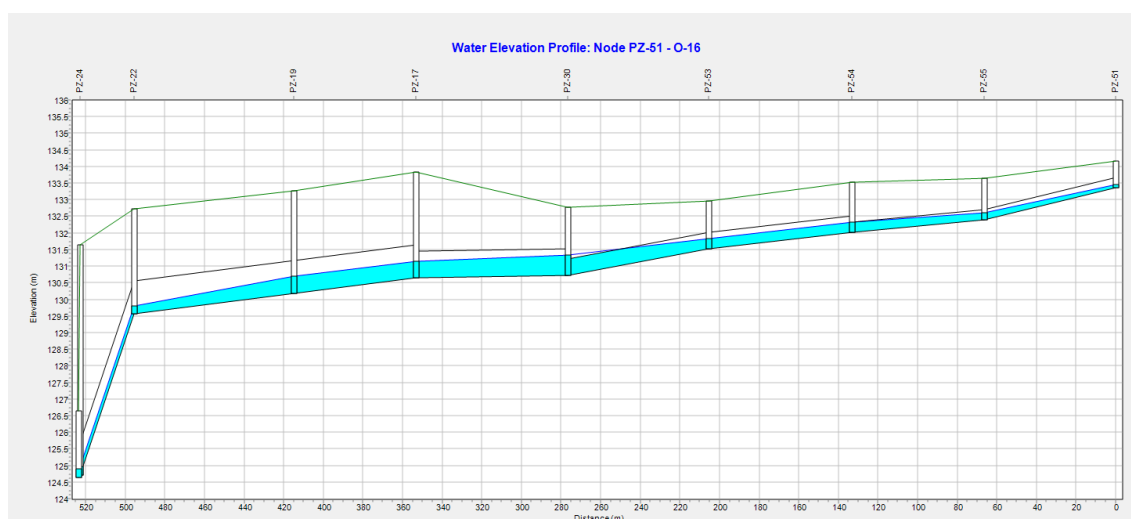


Tabla 7-11 Tabla de apoyo. Verificaciones hidráulicas complementarias de la red propuesta.

Aspecto evaluado	Resultado del modelo	Interpretación técnica	Medida recomendada
Grado máximo de llenado	$\frac{y_{\max}}{D} = 0,97$	El tirante máximo permanece por debajo del diámetro; no se alcanza llenado completo.	Conservar la verificación tramo por tramo y revisar la línea hidráulica en los sectores próximos al límite.
Relación de caudal	$\frac{Q_{\max}}{Q_o} = 1,26$	El caudal máximo supera el caudal uniforme de referencia a tubería llena en al menos un tramo. Este indicador debe analizarse junto con el tirante y la sobrecarga de los nodos.	Comprobar diámetros, pendientes, cotas de entrada y salida, pérdidas locales y posibles efectos de remanso.
Velocidad máxima	10,12 m/s en T-100	La velocidad es elevada y supera el valor referencial de 7,5 m/s indicado para tuberías plásticas en el informe base.	Evaluar pozos de caída, transiciones, disipadores, anclajes y protección del punto de descarga.

Instante crítico	Aproximadamente 1 h 10 min	Corresponde al período de mayor respuesta hidráulica del sistema ante el pluviograma de diseño.	Revisar perfiles, niveles en pozos, caudales y velocidades en ese instante de la simulación.
Distribución de descargas	33 puntos de salida	El mayor número de descargas distribuye los aportes y limita la concentración de caudal en un único colector.	Verificar estabilidad del terreno receptor, erosión local, cabezales y protección de cada descarga.
Conexiones y estructuras	Revisión pendiente en fase definitiva	La modelación hidráulica no sustituye la comprobación estructural de pozos, juntas, anclajes y cabezales.	Realizar verificación estructural y constructiva, considerando cargas de suelo, tránsito y acciones hidráulicas.

En síntesis, la red propuesta presenta una mejora respecto de la red existente porque evita el llenado total de los conductos y distribuye la esorrentía entre un mayor número de descargas. La aceptación definitiva del diseño deberá complementarse con la revisión de los tramos de alta velocidad y con el detalle constructivo de las estructuras de disipación, anclaje y protección contra la erosión.

7.5 Verificación hidráulica de la red propuesta

La red propuesta fue verificada mediante una simulación en período extendido en EPA SWMM 5.2. El análisis se realizó en el instante de 1 hora y 10 minutos, cuando se presentan los mayores caudales en el sistema. Se revisaron el caudal máximo, la velocidad, la relación $Q_{\max} / Q_0$ y la relación $y_{\max} / D$ de cada conducto.

7.5.1 Grado de llenado de los conductos

La simulación no registró conductos con una relación $y_{\max} / D$ igual a 1,00. El valor máximo fue de 0,97 en el conducto T-10, de 300 mm de diámetro, lo que indica que el tramo permanece parcialmente lleno, aunque opera próximo a su capacidad total.

7.5.2 Caudales máximos

El mayor caudal se presenta en el conducto T-101, con 1.543,24 l/s. Este tramo tiene un diámetro de 2.000 mm, una pendiente de 6,21 % y una relación $y_{\max} / D$ de 0,13, por lo que mantiene capacidad disponible durante el evento analizado.

El conducto T-100 transporta un caudal máximo de 1.521,61 l/s, con una relación $y_{\max} / D$ de 0,25. Aunque ambos conductos concentran los mayores caudales de la red, sus secciones no alcanzan condiciones de llenado crítico.

7.5.3 Relación entre caudal máximo y caudal a tubería llena

El conducto T-10 presenta una relación Q_{max} / Q_0 de 1,25, este valor indica que el caudal máximo simulado supera el caudal uniforme de referencia calculado para la tubería llena. El resultado debe analizarse junto con la relación y_{max} / D de 0,97, debido a que ambos parámetros muestran que el conducto trabaja próximo a su capacidad hidráulica.

En los conductos T-100 y T-101, las relaciones Q_{max} / Q_0 son 0,13 y 0,03, respectivamente. Por tanto, el caudal elevado en estos tramos se debe principalmente a sus mayores dimensiones y no a una condición de capacidad limitada.

La velocidad máxima del modelo se presenta en el conducto T-100, con un valor de 10,12 m/s. El tramo tiene 1.000 mm de diámetro, 27,12 m de longitud y una pendiente de 17,92 %. La velocidad obtenida supera el límite referencial adoptado para tuberías de PVC, por lo que requiere una medida de control hidráulico.

El conducto T-101 alcanza una velocidad de 6,68 m/s, mientras que el T-10 registra 2,14 m/s. En el T-100 debe evaluarse la reducción de pendiente o la incorporación de una estructura de caída o disipación de energía. También debe verificarse la protección del conducto, sus conexiones y el punto de descarga asociado.

Tabla 7-12 Verificación hidráulica de los principales conductos de la red propuesta.

Conducto	Diámetro (mm)	Pendiente (%)	Q_{max} (l/s)	V_{max} (m/s)	$\frac{Q_{max}}{Q_0}$	$\frac{y_{max}}{D}$	Evaluación
T-10	300	1,11	149,83	2,14	1,25	0,97	Requiere revisión por llenado
T-100	1.000	17,92	1.521,61	10,12	0,13	0,25	Requiere control de velocidad
T-101	2.000	6,21	1.543,24	6,68	0,03	0,13	Capacidad suficiente
T-11	250	4,29	32,54	1,59	0,22	0,44	Cumple
T-12	600	2,10	120,84	2,11	0,11	0,26	Cumple
T-13	600	0,89	120,69	1,82	0,18	0,28	Cumple

7.6 Síntesis del capítulo

El modelo computacional integró la información espacial procesada en QGIS con EPA SWMM 5.2 mediante Generate SWMM INP. La red existente y la red propuesta fueron simuladas con una lluvia de diseño de 10 años de período de retorno, 2 horas de duración e intervalos de 5 minutos.

La red propuesta quedó conformada por 160 subcuencas, 185 pozos, 185 conductos y 33 descargas. La simulación registró una relación máxima y_{max} / D de 0,97, un caudal

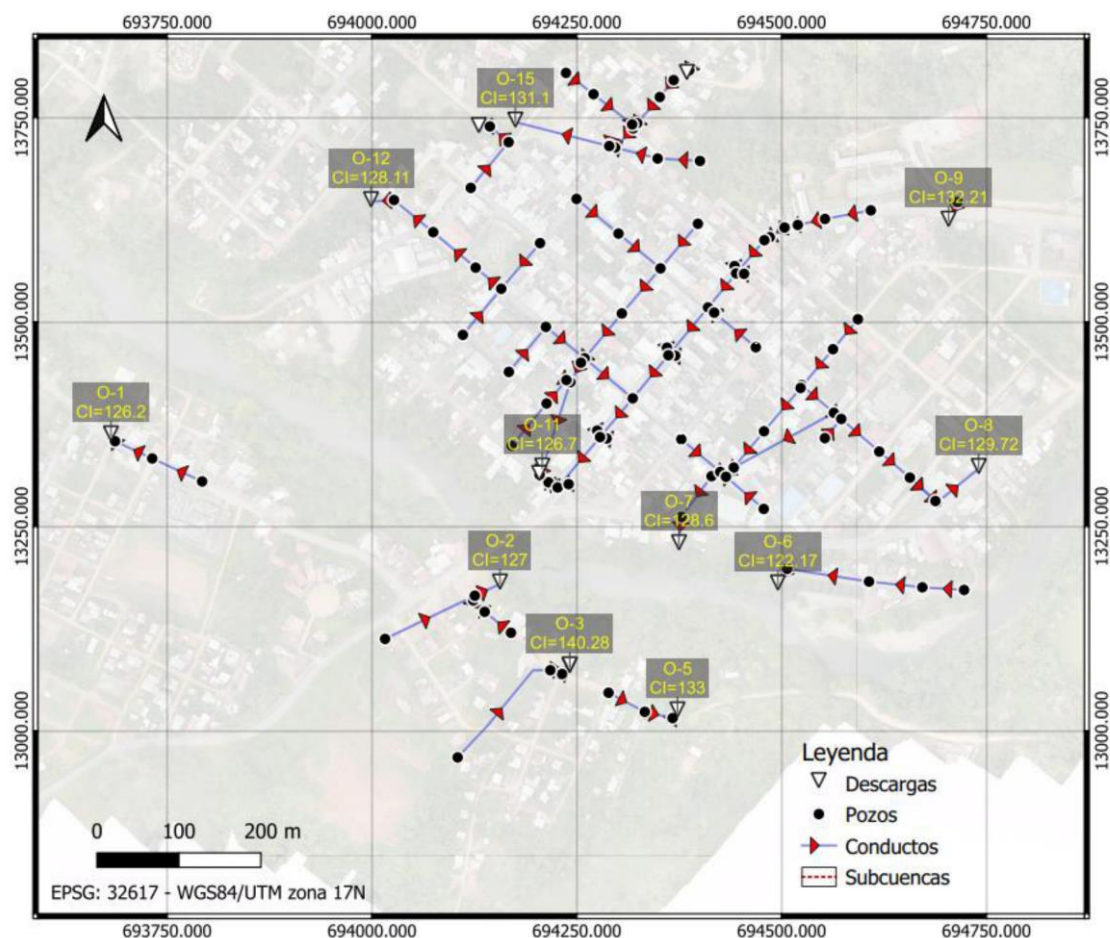
máximo de 1.543,24 l/s y una velocidad máxima de 10,12 m/s. Por tanto, se requiere revisar el llenado del conducto T-10 y controlar la velocidad en el conducto T-100 antes de adoptar el diseño definitivo.

8 CAPÍTULO 4. MEMORIA GRÁFICA

La memoria gráfica consolida las representaciones esenciales utilizadas para comprender la configuración del sistema, el proceso de modelación y la alternativa evaluada. Las láminas se presentan a escala de página y deben complementarse, en la fase de diseño definitivo, con planos constructivos que incluyan coordenadas, cotas, perfiles, detalles de pozos, sumideros y estructuras de descarga.

8.1 Sistema de alcantarillado pluvial existente

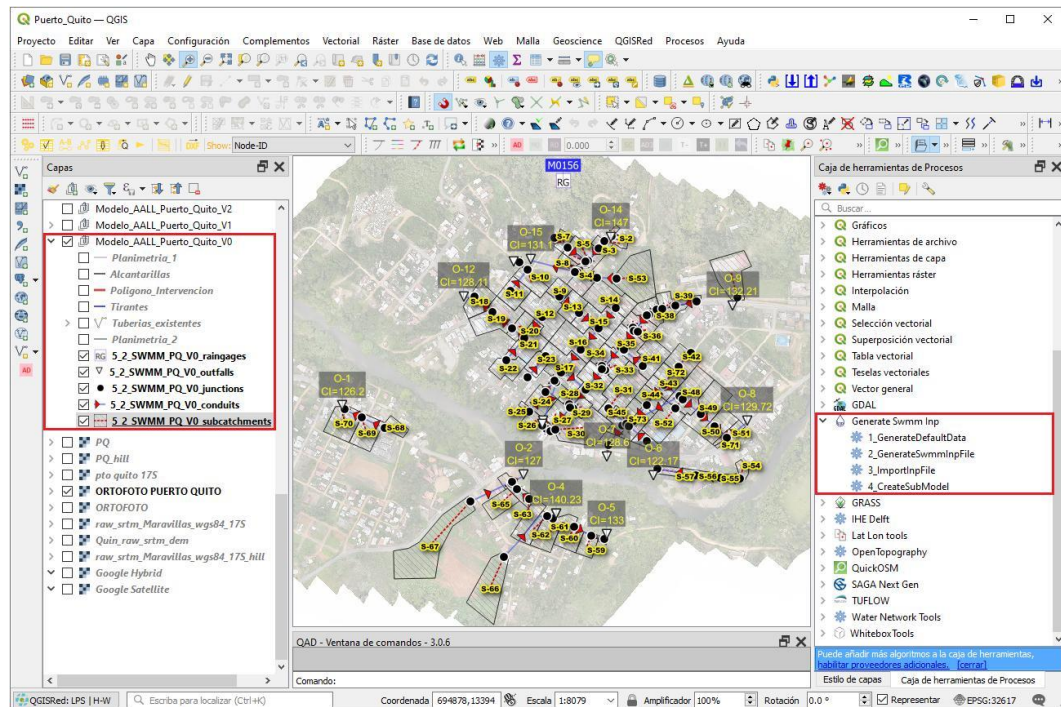
Fig. 8-1 Configuración general del sistema de alcantarillado pluvial existente.



La representación identifica la distribución de subcuencas, pozos, conductos y descargas de la infraestructura existente. Su lectura permite reconocer la concentración de la red en el área urbana consolidada y los sectores que requieren ampliación.

8.2 Preparación del modelo espacial

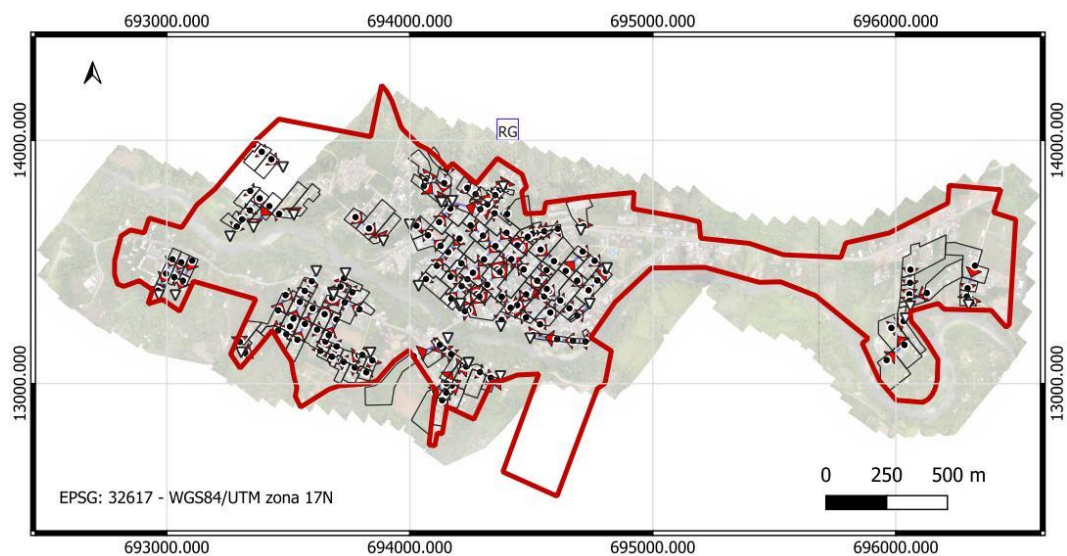
Fig. 8-2 Preparación del modelo en QGIS y Generate SWMM INP.



La integración de capas organiza la geometría y los atributos de los objetos de SWMM. El control topológico asegura que los conductos se encuentren conectados con los nodos y que las subcuencas descarguen hacia el elemento correspondiente.

8.3 Implantación del diseño propuesto

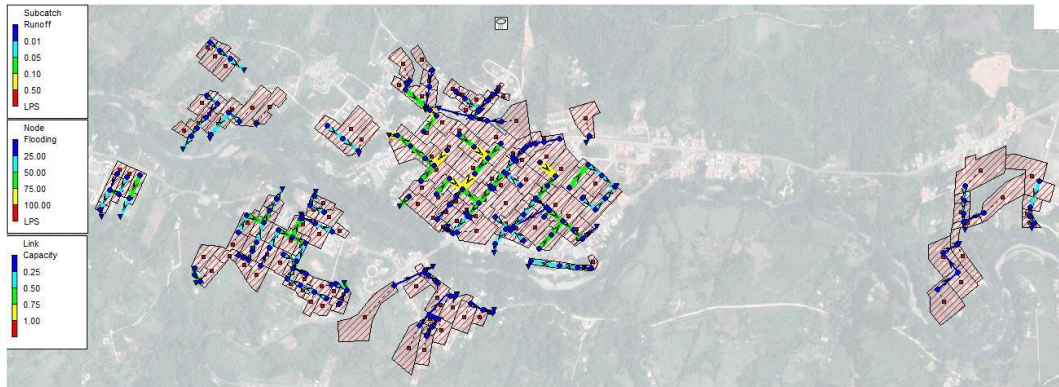
Fig. 8-3 Vista general del sistema diseñado para el diseño propuesto.



En esta propuesta se amplía la cobertura y distribuye los caudales entre 33 descargas.

8.4 Verificación hidráulica para el diseño propuesto

Fig. 8-4 Capacidad de llenado máxima de los conductos para el diseño propuesto.

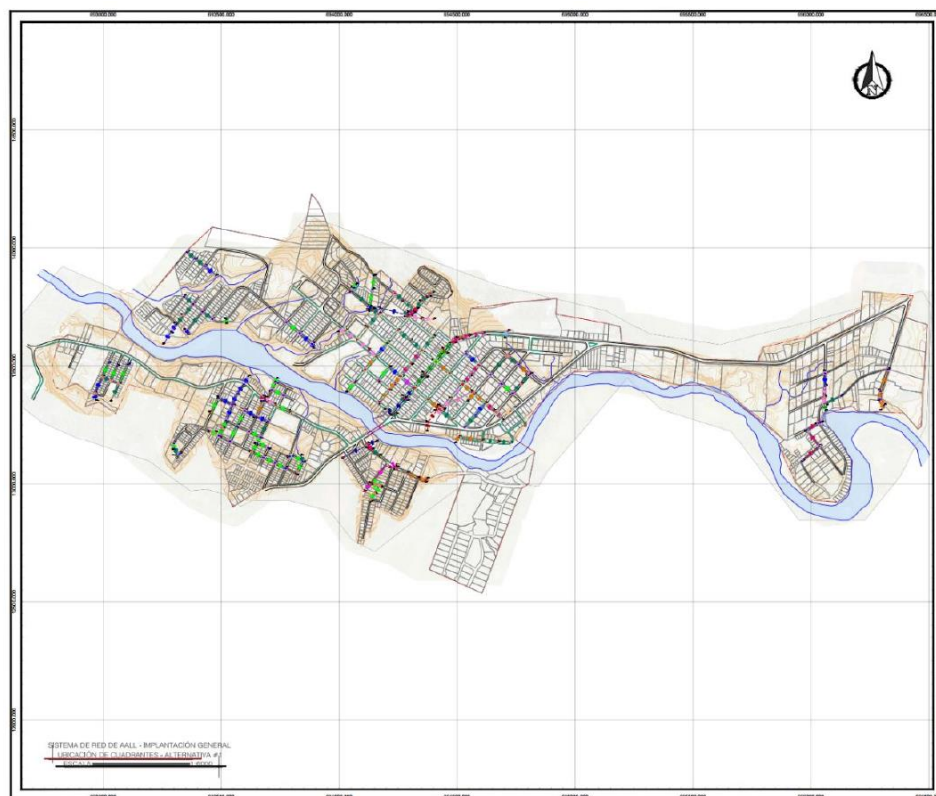


El mapa de llenado muestra la respuesta de los conductos durante el evento de diseño. Este modelo evita que el tirante máximo alcance de forma generalizada el diámetro completo; los tramos con velocidades elevadas requieren revisión de disipación de energía.

8.5 Diseño propuesto

La lámina constituye la referencia gráfica para continuar con el diseño definitivo.

Fig. 8-5 Implantación general de la diseño propuesto.



9 CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN ECONÓMICA REFERENCIAL Y ANÁLISIS PRELIMINAR DE VIABILIDAD DE LA RED PROPUESTA

El presente capítulo analiza el costo referencial y las condiciones preliminares de viabilidad de la red de drenaje pluvial propuesta para varios sectores de la cabecera cantonal de Puerto Quito. La evaluación considera los componentes de obra civil, las medidas ambientales, el desempeño hidráulico, las condiciones constructivas y los requerimientos de operación y mantenimiento.

Los valores corresponden al estudio de prefactibilidad. Por tanto, permiten estimar la inversión inicial, pero no constituyen un presupuesto definitivo para contratación. Antes de ejecutar la obra deberán actualizarse las cantidades, los precios unitarios, las especificaciones técnicas y las condiciones verificadas en campo.

9.1 Presupuesto referencial

El presupuesto de la red propuesta se divide en derrocamientos y reposiciones, redes de aguas lluvias y medidas ambientales. Los derrocamientos y reposiciones incluyen las intervenciones necesarias para instalar los conductos y restituir las superficies afectadas. El componente de redes comprende colectores, pozos de revisión y demás estructuras del sistema pluvial. En la Tabla 9-1 se presenta un

Tabla 9-1 Presupuesto referencial de la red propuesta

Código	Componente	Costo referencial (USD)	Incidencia
2.1	Derrocamientos y reposiciones	252.252,44	18,62 %
2.2	Redes de aguas lluvias	989.387,32	73,02 %
	Subtotal de redes	1.241.639,76	91,65 %
	Medidas ambientales	113.171,52	8,35 %
	Inversión referencial total	1.354.811,28	100,00 %

Fuente: Elaboración propia.

El subtotal de la infraestructura pluvial asciende a USD 1.241.639,76. Las redes de aguas lluvias representan el principal componente del presupuesto, con el 79,68 % del subtotal de redes, mientras que los derrocamientos y reposiciones representan el 20,32 %. Al incorporar las medidas ambientales, la inversión referencial total alcanza USD 1.354.811,28.

El presupuesto ambiental incluye medidas de prevención, seguridad, control y mitigación durante la construcción.

Tabla 9-2 Costos de las medidas ambientales

Código	Rubro ambiental	Costo (USD)	Incidencia ambiental
4.1	Plan de seguridad y salud ocupacional	37.872,68	33,46 %
4.2	Plan de manejo de desechos	27.012,24	23,87 %
4.3	Plan de capacitación y entrenamiento	9.604,52	8,49 %
—	Plan de monitoreo	8.057,28	7,12 %
4.4	Plan de mitigación	30.624,80	27,06 %
	Total	113.171,52	100,00 %

Fuente: Elaboración propia.

El plan de seguridad y salud ocupacional presenta la mayor incidencia dentro del presupuesto ambiental, seguido del plan de mitigación y del manejo de desechos. Estos componentes responden a los riesgos de excavación, tránsito de maquinaria, generación de escombros, polvo, ruido y afectaciones temporales al entorno urbano.

Los valores presentados no incluyen por separado costos de fiscalización, reajustes, contingencias, IVA ni costos anuales de operación y mantenimiento, debido a que estos conceptos no se encuentran desagregados para la red propuesta en la información disponible.

9.2 Análisis preliminar de viabilidad

9.2.1 Viabilidad técnica y constructiva

La red propuesta está conformada por 160 subcuencas, 185 pozos de revisión, 185 conductos y 33 descargas. Su configuración conserva los tramos funcionales de la red existente e incorpora nuevos colectores en los sectores sin cobertura. La distribución del flujo entre varios puntos de descarga permite limitar la concentración de caudales en un solo colector principal.

La simulación en EPA SWMM 5.2 registró un caudal máximo de 1.543,24 l/s en el conducto T-101, una relación máxima y_{max}/D de 0,97 en T-10 y una velocidad máxima de 10,12 m/s en T-100. Ningún conducto alcanzó una relación de llenado igual a 1,00; sin embargo, T-10 requiere revisión por operar próximo a sección llena y T-100 necesita una medida de control o disipación de energía.

Desde el punto de vista constructivo, la red es ejecutable mediante procedimientos convencionales de excavación, instalación de tuberías, construcción de pozos, reposición de pavimentos y conformación de estructuras de descarga. Las profundidades de

instalación dependen de la topografía y de las condiciones del suelo, por lo que influyen directamente en los tiempos de construcción y en los volúmenes de excavación.

La viabilidad técnica queda condicionada a:

- ajustar los tramos T-10 y T-100;
- verificar las cotas y profundidades en campo;
- identificar interferencias con redes existentes;
- comprobar la estabilidad de las descargas;
- diseñar las estructuras de caída, anclaje o disipación requeridas.

9.2.2 Viabilidad económica

La inversión referencial total de USD 1.354.811,28 permite establecer la magnitud económica inicial del proyecto. De este valor, USD 1.241.639,76 corresponden a infraestructura pluvial y USD 113.171,52 a medidas ambientales.

La mayor participación económica se concentra en las redes de aguas lluvias, debido a la construcción de colectores, pozos y estructuras complementarias. Los trabajos de derrocamiento y reposición también representan una incidencia significativa por la intervención de vías y superficies urbanas.

La información disponible permite realizar una evaluación económica preliminar a nivel de prefactibilidad, basada principalmente en la estimación de la inversión referencial. No se calcularon indicadores financieros como el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR), la relación beneficio-costos ni el período de recuperación, debido a que no se dispone de la información necesaria para desarrollar una evaluación de factibilidad económica completa. Tampoco se cuenta con costos anuales detallados de operación y mantenimiento. Por ello, el análisis económico se limita a establecer la magnitud referencial de la inversión y las condiciones necesarias para continuar hacia etapas posteriores del proyecto.

Antes de aprobar el presupuesto se requiere:

- actualizar las cantidades de obra;
- elaborar los análisis de precios unitarios;
- incorporar costos indirectos, fiscalización e impuestos;
- establecer el cronograma valorado;
- considerar contingencias por interferencias y condiciones del suelo.

9.2.3 Viabilidad ambiental, social y operativa

Durante la construcción se prevén afectaciones temporales por excavaciones, circulación de maquinaria, generación de escombros, polvo, ruido y restricciones a la movilidad. Estas actividades pueden incidir en viviendas, comercios, peatones y tránsito vehicular. La ejecución por tramos y la señalización de las zonas de trabajo permiten reducir dichas afectaciones.

El presupuesto incluye medidas de seguridad ocupacional, manejo de desechos, capacitación, monitoreo y mitigación. Su aplicación deberá complementarse con el control de materiales excavados, limpieza de vías, disposición autorizada de residuos, prevención de derrames y protección de los cuerpos receptores.

En la fase operativa, la red funcionará principalmente por gravedad, por lo que no requiere estaciones de bombeo ni equipamiento eléctrico para la conducción ordinaria. Esto simplifica su funcionamiento; no obstante, se necesita inspección y limpieza periódica de sumideros, pozos, colectores y descargas.

Los 33 puntos de descarga distribuyen los caudales y reducen su concentración, pero requieren control individual para prevenir erosión, acumulación de sedimentos, obstrucciones e inestabilidad del terreno receptor. Esta condición implica la necesidad de un programa permanente de inspección y mantenimiento.

Los principales riesgos operativos son:

- obstrucción de sumideros y conductos por residuos;
- sedimentación en tramos de baja velocidad;
- erosión en descargas con velocidades elevadas;
- sobrecarga localizada por cambios futuros en la impermeabilización;
- conexiones indebidas de aguas residuales;
- alteración de cotas durante la construcción.

En consecuencia, el análisis preliminar evidencia condiciones favorables de viabilidad técnica, constructiva, económica, ambiental, social y operativa de la red propuesta a nivel de prefactibilidad. No obstante, su implementación queda condicionada al ajuste hidráulico de los tramos críticos, a las verificaciones de campo y al cumplimiento de las medidas técnicas, económicas y constructivas previas a su ejecución.

9.3 Condiciones para la implementación

Para continuar hacia la ejecución de la red propuesta deberán cumplirse las siguientes condiciones:

- Verificar en campo las cotas, profundidades, materiales, interferencias y estado de los componentes existentes que serán conservados.
- Ajustar el conducto T-10 por su relación de llenado de 0,97.
- Incorporar medidas de control de velocidad en T-100, donde se registraron 10,12 m/s.
- Diseñar cabezales, protecciones contra erosión y disipadores en las descargas que lo requieran.
- Completar los planos constructivos, detalles estructurales y especificaciones técnicas.
- Actualizar el presupuesto mediante cantidades definitivas y precios unitarios vigentes.
- Aplicar los planes ambientales y de seguridad considerados en el presupuesto.
- Programar la construcción por sectores para reducir afectaciones a la movilidad.
- Implementar mantenimiento preventivo de sumideros, pozos, colectores y descargas.
- Actualizar el modelo EPA SWMM 5.2 cuando se modifique la topografía, el trazado, la urbanización o la impermeabilización del área.

9.4 Síntesis del capítulo

La red propuesta presenta una inversión referencial de USD 1.354.811,28, integrada por USD 1.241.639,76 correspondientes a infraestructura pluvial y USD 113.171,52 destinados a medidas ambientales. El análisis realizado evidencia condiciones favorables de viabilidad a nivel de prefactibilidad, debido a que la propuesta amplía la cobertura, aprovecha parte de la infraestructura existente y puede ejecutarse mediante métodos constructivos convencionales.

Su implementación requiere corregir el llenado del conducto T-10, controlar la velocidad en T-100, proteger las estructuras de descarga, verificar las condiciones de campo y actualizar el presupuesto antes de la contratación. Asimismo, deberá establecerse un programa de operación y mantenimiento que garantice la limpieza y conservación de todos los componentes del sistema.

10 CONCLUSIONES

- El diagnóstico determinó que el sistema existente presenta cobertura parcial y falta de continuidad hidráulica en los sectores periféricos. Se inventariaron 157 sumideros, 26 rejillas transversales y 90 pozos de revisión; además, la simulación identificó siete conductos críticos: T-10, T-29, T-31, T-32, T-33, T-48 y T-64. La máxima relación $Q_{\max} / Q_0$ fue 1,66 y el grado de llenado alcanzó $y_{\max} / D_0 = 1$, confirmando la necesidad de ampliar y redimensionar la red.
- Los parámetros hidrológicos se definieron mediante una lluvia sintética con período de retorno de 10 años, duración de 120 minutos y 24 intervalos de 5 minutos. El evento definitivo presentó una precipitación acumulada de 76,852 mm y una lámina máxima de 9,513 mm a los 65 minutos, después de aplicar un factor de reducción areal de 0,87 y un factor orográfico de 0,90. La delimitación de subcuencas incorporó área, impermeabilización, rugosidad, almacenamiento superficial y número de curva.
- La red propuesta quedó conformada por 160 subcuencas, 185 pozos de revisión, 185 conductos y 33 descargas. El diseño conserva los elementos funcionales del sistema existente, incorpora infraestructura en sectores sin cobertura y redimensiona los tramos T-29, T-31, T-32, T-33, T-48, T-64 y T-90, mejorando la distribución de los caudales hacia los puntos de salida.
- El modelo integrado QGIS–Generate SWMM INP–EPA SWMM 5.2 permitió representar la generación de escorrentía y su propagación mediante onda dinámica. La respuesta hidráulica máxima ocurrió aproximadamente a 1 hora y 10 minutos desde el inicio de la tormenta, demostrando que el procedimiento aplicado permite analizar temporalmente caudales, velocidades, tirantes y capacidad de los conductos.
- La verificación de la red propuesta registró un caudal máximo de 1.543,24 l/s en T-101, una relación máxima $y_{\max} / D_0 = 0,97$ en T-10 y una velocidad máxima de 10,12 m/s en T-100. Ningún conducto alcanzó llenado completo; sin embargo, T-10 supera el criterio adoptado de $y_{\max} / D_0 \leq 0,85$, mientras que T-100 excede la velocidad referencial para tuberías plásticas. Por tanto, el diseño es hidráulicamente funcional, pero requiere ajustes antes de su aprobación definitiva.
- La evaluación económica estableció una inversión referencial total de USD 1.354.811,28, conformada por USD 1.241.639,76 de infraestructura pluvial y

USD 113.171,52 de medidas ambientales. El análisis realizado evidencia condiciones favorables de viabilidad a nivel de prefactibilidad; sin embargo, para avanzar hacia una etapa de factibilidad y diseño definitivo se requiere completar los ajustes hidráulicos identificados, verificar las condiciones de campo, actualizar las cantidades y precios unitarios y desarrollar los análisis económicos complementarios correspondientes.

11 RECOMENDACIONES

- Redimensionar o reconfigurar el conducto T-10 hasta obtener una relación de llenado igual o inferior a 0,85 para la lluvia de diseño.
- Incorporar en T-100 una estructura de caída, dissipador de energía, reducción de pendiente o solución equivalente que limite la velocidad y proteja las juntas, pozos y descarga asociada.
- Verificar topográficamente las cotas, profundidades, pendientes e interferencias de toda la red, incluyendo los cuatro pozos que no pudieron inspeccionarse durante el inventario.
- Eliminar las conexiones de aguas residuales domésticas identificadas en la red pluvial y establecer la separación efectiva entre los sistemas sanitario y pluvial.
- Diseñar para las 33 descargas los cabezales, anclajes, escolleras o dissipadores requeridos, considerando velocidad, erosión, estabilidad del terreno y nivel del cuerpo receptor.
- Actualizar el presupuesto con cantidades definitivas, análisis de precios unitarios, costos indirectos, fiscalización, impuestos, contingencias y cronograma valorado.
- Implementar un programa municipal de inspección y mantenimiento preventivo para sumideros, rejillas, pozos, conductos y descargas, con mayor frecuencia antes y durante la época lluviosa.
- Actualizar el modelo cuando cambien la urbanización, la impermeabilización, la topografía o el trazado de la red, y calibrarlo posteriormente con registros observados de lluvia y caudal.

12 BIBLIOGRAFÍA

- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill Interamericana.
- Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización. (2010). Registro Oficial Suplemento N.º 303.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Registro Oficial N.º 449.
- Cronshey, R. (1986). *Urban hydrology for small watersheds*. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Engineering Division.
- Farr, T. G., & Kobrick, M. (2000). Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 81(48), 583–585. doi:10.1029/EO081i048p00583
- Federal Highway Administration. (2024). *Urban drainage design manual*. U.S. Department of Transportation.
- Gironás, J., Roesner, L. A., & Davis, J. (2009). *Storm Water Management Model applications manual*. U.S. Environmental Protection Agency.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Puerto Quito. (2024). Ordenanza de actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial y del Plan de Uso y Gestión de Suelo del cantón Puerto Quito. (*Ordenanza N.º 10-2024*).
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1992). *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1.000 habitantes*.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2015). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación*.
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. (2014). Registro Oficial Suplemento N.º 305.
- QGIS Project. (2026). *Generate SWMM inp [Complemento de QGIS]*. Obtenido de QGIS Python Plugins Repository: https://plugins.qgis.org/plugins/generate_swmm_inp/
- QGIS.org. (2026a). *QGIS Geographic Information System [Software]*. Obtenido de QGIS Association: <https://qgis.org>

- QGIS.org. (2026b). *QGIS user guide: QGIS 3.44*. Obtenido de QGIS Documentation: https://docs.qgis.org/3.44/en/docs/user_manual/
- Rossman, L. A., & Simon, M. A. (2022). *Storm Water Management Model user's manual version 5.2*. U.S. Environmental Protection Agency.
- Schilling, J., & Tränckner, J. (2022). Generate_SWMM_inp: An open-source QGIS plugin to import and export model input files for SWMM. *Water*, 14(14), 2262. doi:10.3390/w14142262
- van der Kwast, H., & Menke, K. (2019). *QGIS for hydrological applications: Recipes for catchment hydrology and water management*. Locate Press.

13 ANEXOS

Anexo 1. APU Replanteo y nivelación del eje de la red

ITEM N°	APU-01	REND	0,0400	UNIDAD	m
DESCRIPCIÓN	Replanteo y nivelación del eje de la red				
A.- EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5 % M.O.)	1,0000	0,02	0,02	1,0000	0,02
Estación total/GNSS	1,0000	5,13	5,13	0,0400	0,21
SUBTOTAL A					0,23
B.- MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Topógrafo	1,0000	8,72	8,72	0,0400	0,35
Ayudante de topografía	1,0000	3,49	3,49	0,0400	0,14
SUBTOTAL B					0,49
C.- MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Estacas, clavos y pintura de replanteo		m	1,0000	0,12	0,12
SUBTOTAL C					0,12
D.- TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Costo
No aplica					
SUBTOTAL D					0,00
M = COSTO DIRECTO (A + B + C + D)					0,84
N = COSTOS INDIRECTOS 20 %					0,17
O = COSTO TOTAL (M + N)					1,01

Anexo 2. APU Corte y demolición de pavimento asfáltico

ITEM N°	APU-02	REND	0,1000	UNIDAD	m²
DESCRIPCIÓN	Corte y demolición de pavimento asfáltico				
A.- EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5 % M.O.)	1,0000	0,04	0,04	1,0000	0,04
Cortadora de pavimento	1,0000	8,21	8,21	0,1000	0,82
Martillo neumático y compresor	1,0000	12,31	12,31	0,1000	1,23
SUBTOTAL A					2,10
B.- MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Peón	2,0000	4,34	8,68	0,1000	0,87
SUBTOTAL B					0,87
C.- MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Discos, combustible y consumibles		m²	1,0000	0,18	0,18
SUBTOTAL C					0,18
D.- TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Costo
No aplica					
SUBTOTAL D					0,00
M = COSTO DIRECTO (A + B + C + D)					3,14
N = COSTOS INDIRECTOS 20 %					0,63
O = COSTO TOTAL (M + N)					3,77

Anexo 3. APU Excavación mecánica de zanja en suelo común, profundidad hasta 2.00mm

ITEM N°	APU-03	REND	0,0900	UNIDAD	m³
DESCRIPCIÓN	Excavación mecánica de zanja en suelo común, profundidad hasta 2,00 m				
A.- EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5 % M.O.)	1,0000	0,03	0,03	1,0000	0,03
Retroexcavadora	1,0000	30,77	30,77	0,0900	2,77
SUBTOTAL A					2,80
B.- MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Operador de maquinaria	1,0000	4,87	4,87	0,0900	0,44
Peón	0,2500	4,34	1,08	0,0900	0,10
SUBTOTAL B					0,54
C.- MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
No aplica					
SUBTOTAL C					0,00
D.- TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Costo
No aplica					
SUBTOTAL D					0,00
M = COSTO DIRECTO (A + B + C + D)					3,33
N = COSTOS INDIRECTOS 20 %					0,67
O = COSTO TOTAL (M + N)					4,00

Anexo 4. APU Entibado discontinuo de zanja

ITEM N°	APU-04	REND	0,4500	UNIDAD	m²
DESCRIPCIÓN	Entibado discontinuo de zanja				
A.- EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5 % M.O.)	1,0000	0,21	0,21	1,0000	0,21
SUBTOTAL A					0,21
B.- MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Carpintero	1,0000	5,13	5,13	0,4500	2,31
Peón	1,0000	4,34	4,34	0,4500	1,95
SUBTOTAL B					4,26
C.- MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
Madera para entibado (con reutilización)	m³	0,0550	350,00	19,25	
Clavos y alambre	kg	0,2500	1,80	0,45	
Puntales y elementos auxiliares	m²	1,0000	3,50	3,50	
SUBTOTAL C					23,20
D.- TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Costo
No aplica					
SUBTOTAL D					0,00
M = COSTO DIRECTO (A + B + C + D)					27,67
N = COSTOS INDIRECTOS 20 %					5,53
O = COSTO TOTAL (M + N)					33,21

Anexo 5. APU Cama de arena colocada, nivelada y compactada

ITEM°	APU-05	REND	0,2000	UNIDAD	m³
DESCRIPCIÓN	Cama de arena colocada, nivelada y compactada				
A.- EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5 % M.O.)	1,0000	0,09	0,09	1,0000	0,09
Vibroapisonador	1,0000	4,87	4,87	0,2000	0,97
SUBTOTAL A					1,06
B.- MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Peón	2,0000	4,34	8,68	0,2000	1,74
SUBTOTAL B					1,74
C.- MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Arena zarandeada		m³	1,1000	14,00	15,40
SUBTOTAL C					15,40
D.- TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Costo
No aplica					
SUBTOTAL D					0,00
M = COSTO DIRECTO (A + B + C + D)					18,20
N = COSTOS INDIRECTOS 20 %					3,64
O = COSTO TOTAL (M + N)					21,84

Anexo 6. APU Suministro e instalación de tubería PVC para alcantarillado, D=250mm

ITEM N°	APU-06	REND	0,1200	UNIDAD	m
DESCRIPCIÓN	Suministro e instalación de tubería PVC para alcantarillado, D = 250 mm				
A.- EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5 % M.O.)	1,0000	0,08	0,08	1,0000	0,08
SUBTOTAL A					0,08
B.- MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Instalador de tubería	1,0000	5,33	5,33	0,1200	0,64
Peón	2,0000	4,34	8,68	0,1200	1,04
SUBTOTAL B					1,68
C.- MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Tubería PVC alcantarillado D=250 mm		m	1,0200	18,50	18,87
Lubricante, junta y accesorios menores		m	1,0000	0,25	0,25
SUBTOTAL C					19,12
D.- TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Costo
No aplica					
SUBTOTAL D					0,00
M = COSTO DIRECTO (A + B + C + D)					20,89
N = COSTOS INDIRECTOS 20 %					4,18
O = COSTO TOTAL (M + N)					25,06

Anexo 7. APU Suministro e instalación de tubería PVC para alcantarillado, D=315 mm

ITEM N°	APU-07	REND	0,1400	UNIDAD	m
DESCRIPCIÓN	Suministro e instalación de tubería PVC para alcantarillado, D = 315 mm				
A.- EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5 % M.O.)	1,0000	0,10	0,10	1,0000	0,10
SUBTOTAL A					0,10
B.- MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Instalador de tubería	1,0000	5,33	5,33	0,1400	0,75
Peón	2,0000	4,34	8,68	0,1400	1,22
SUBTOTAL B					1,96
C.- MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Tubería PVC alcantarillado D=315 mm		m	1,0200	21,40	21,83
Lubricante, junta y accesorios menores		m	1,0000	0,30	0,30
SUBTOTAL C					22,13
D.- TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Costo
No aplica					
SUBTOTAL D					0,00
M = COSTO DIRECTO (A + B + C + D)					24,19
N = COSTOS INDIRECTOS 20 %					4,84
O = COSTO TOTAL (M + N)					29,02

Anexo 8. APU Suministro e instalación de tubería PVC para alcantarillado, D=400 mm

ITEM N°	APU-08	REND	0,1600	UNIDAD	m
DESCRIPCIÓN	Suministro e instalación de tubería PVC para alcantarillado, D = 400 mm				
A.- EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5 % M.O.)	1,0000	0,11	0,11	1,0000	0,11
Camión grúa	0,2000	46,15	9,23	0,1600	1,48
SUBTOTAL A					1,59
B.- MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Instalador de tubería	1,0000	5,33	5,33	0,1600	0,85
Peón	2,0000	4,34	8,68	0,1600	1,39
SUBTOTAL B					2,24
C.- MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
Tubería PVC alcantarillado D=400 mm	m	1,0200	38,80	39,58	
Lubricante, junta y accesorios menores	m	1,0000	0,40	0,40	
SUBTOTAL C					39,98
D.- TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Costo
No aplica					
SUBTOTAL D					0,00
M = COSTO DIRECTO (A + B + C + D)					43,81
N = COSTOS INDIRECTOS 20 %					8,76
O = COSTO TOTAL (M + N)					52,57

Anexo 9. APU Suministro e instalación de tubería PVC para alcantarillado, D=500 mm

ITEM N°	APU-09	REND	0,2000	UNIDAD	m
DESCRIPCIÓN	Suministro e instalación de tubería PVC para alcantarillado, D = 500 mm				
A.- EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5 % M.O.)	1,0000	0,14	0,14	1,0000	0,14
Camión grúa	0,3500	46,15	16,15	0,2000	3,23
SUBTOTAL A					3,37
B.- MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Instalador de tubería	1,0000	5,33	5,33	0,2000	1,07
Peón	2,0000	4,34	8,68	0,2000	1,74
SUBTOTAL B					2,80
C.- MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Tubería PVC alcantarillado D=500 mm		m	1,0200	61,50	62,73
Lubricante, junta y accesorios menores		m	1,0000	0,50	0,50
SUBTOTAL C					63,23
D.- TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Costo
No aplica					
SUBTOTAL D					0,00
M = COSTO DIRECTO (A + B + C + D)					69,40
N = COSTOS INDIRECTOS 20 %					13,88
O = COSTO TOTAL (M + N)					83,28

Anexo 10. APU Suministro e instalación de tubería PVC para alcantarillado, D=400 mm

ITEM N°	APU-10	REND	0,2500	UNIDAD	m
DESCRIPCIÓN	Suministro e instalación de tubería PVC para alcantarillado, D = 600 mm				
A.- EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5 % M.O.)	1,0000	0,18	0,18	1,0000	0,18
Camión grúa	0,5000	46,15	23,07	0,2500	5,77
SUBTOTAL A					5,94
B.- MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Instalador de tubería	1,0000	5,33	5,33	0,2500	1,33
Peón	2,0000	4,34	8,68	0,2500	2,17
SUBTOTAL B					3,50
C.- MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
Tubería PVC alcantarillado D=600 mm	m	1,0200	132,00	134,64	
Lubricante, junta y accesorios menores	m	1,0000	0,75	0,75	
SUBTOTAL C					135,39
D.- TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Costo
No aplica					
SUBTOTAL D					0,00
M = COSTO DIRECTO (A + B + C + D)					144,84
N = COSTOS INDIRECTOS 20 %					28,97
O = COSTO TOTAL (M + N)					173,80

Anexo 11. APU Relleno y compactación con material producto de excavación

ITEM N°	APU-11	REND	0,3000	UNIDAD	m³
DESCRIPCIÓN	Relleno y compactación con material producto de excavación				
A.- EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5 % M.O.)	1,0000	0,20	0,20	1,0000	0,20
Vibroapisonador	1,0000	4,87	4,87	0,3000	1,46
Retroexcavadora	0,2500	30,77	7,69	0,3000	2,31
Tanquero de agua	0,1500	28,72	4,31	0,3000	1,29
SUBTOTAL A					5,26
B.- MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Operador de maquinaria	1,0000	4,87	4,87	0,3000	1,46
Peón	2,0000	4,34	8,68	0,3000	2,60
SUBTOTAL B					4,06
C.- MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
No aplica					
SUBTOTAL C					0,00
D.- TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Costo
No aplica					
SUBTOTAL D					0,00
M = COSTO DIRECTO (A + B + C + D)					9,33
N = COSTOS INDIRECTOS 20 %					1,87
O = COSTO TOTAL (M + N)					11,20

Anexo 12. APU Relleno y compactación con material de mejoramiento

ITEM N°	APU-12	REND	0,1800	UNIDAD	m³
DESCRIPCIÓN	Relleno y compactación con material de mejoramiento				
A.- EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5 % M.O.)	1,0000	0,12	0,12	1,0000	0,12
Vibroapisonador	1,0000	4,87	4,87	0,1800	0,88
Retroexcavadora	0,2500	30,77	7,69	0,1800	1,38
Tanquero de agua	0,1500	28,72	4,31	0,1800	0,78
SUBTOTAL A					3,16
B.- MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Operador de maquinaria	1,0000	4,87	4,87	0,1800	0,88
Peón	2,0000	4,34	8,68	0,1800	1,56
SUBTOTAL B					2,44
C.- MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
Material de mejoramiento	m³	1,1500	16,50	18,97	
SUBTOTAL C					18,97
D.- TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Costo
No aplica					
SUBTOTAL D					0,00
M = COSTO DIRECTO (A + B + C + D)					24,57
N = COSTOS INDIRECTOS 20 %					4,91
O = COSTO TOTAL (M + N)					29,49

Anexo 13. APU Pozo de revisión de hormigón armado, D=1.20m, H<2.00m, incluye tapa

ITEM N°	APU-13	REND	1,5000	UNIDAD	u
DESCRIPCIÓN	Pozo de revisión de hormigón armado, D = 1,20 m, H ≤ 2,00 m, incluye tapa				
A.- EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5 % M.O.)	1,0000	1,09	1,09	1,0000	1,09
Camión grúa	0,5000	46,15	23,07	1,5000	34,61
Mezcladora	0,3000	5,13	1,54	1,5000	2,31
SUBTOTAL A					38,01
B.- MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Albañil	1,0000	4,72	4,72	1,5000	7,08
Peón	2,0000	4,34	8,68	1,5000	13,02
Maestro de obra	0,2000	5,64	1,13	1,5000	1,69
SUBTOTAL B					21,79
C.- MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
Componentes prefabricados de H.A. D=1,20 m	jgo	1,0000	460,00	460,00	
Base de hormigón armado	u	1,0000	60,00	60,00	
Tapa y cerco de hierro fundido	u	1,0000	120,00	120,00	
Mortero, sellos y peldaños	glb	1,0000	12,00	12,00	
SUBTOTAL C					652,00
D.- TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Costo
No aplica					
SUBTOTAL D					0,00
M = COSTO DIRECTO (A + B + C + D)					711,80
N = COSTOS INDIRECTOS 20 %					142,36
O = COSTO TOTAL (M + N)					854,16

Anexo 14. APU Sumidero simple de hormigón armado

ITEM N°	APU-14	REND	1,2000	UNIDAD	u
DESCRIPCIÓN	Sumidero simple de hormigón armado con rejilla de hierro fundido				
A.- EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5 % M.O.)	1,0000	0,84	0,84	1,0000	0,84
Mezcladora	0,4000	5,13	2,05	1,2000	2,46
Vibrador de hormigón	0,2500	5,13	1,28	1,2000	1,54
SUBTOTAL A					4,84
B.- MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Albañil	1,0000	4,72	4,72	1,2000	5,66
Peón	2,0000	4,34	8,68	1,2000	10,42
Maestro de obra	0,1000	5,64	0,56	1,2000	0,68
SUBTOTAL B					16,76
C.- MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
Hormigón fc=21 MPa	m³	0,3500	115,00	40,25	
Acero de refuerzo	kg	22,0000	1,25	27,50	
Rejilla de hierro fundido	u	1,0000	90,00	90,00	
Encofrado reutilizable	m²	3,0000	8,00	24,00	
Mortero y accesorios	glb	1,0000	8,00	8,00	
SUBTOTAL C					189,75
D.- TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Costo
No aplica					
SUBTOTAL D					0,00
M = COSTO DIRECTO (A + B + C + D)					211,35
N = COSTOS INDIRECTOS 20 %					42,27
O = COSTO TOTAL (M + N)					253,62

Anexo 15. APU Cabezal de descarga de hormigón armado con protección de enrocado

ITEM N°	APU-15	REND	12,0000	UNIDAD	u
DESCRIPCIÓN	Cabezal de descarga de hormigón armado con protección de enrocado				
A.- EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5 % M.O.)	1,0000	14,57	14,57	1,0000	14,57
Mezcladora	1,0000	5,13	5,13	12,0000	61,56
Vibrador de hormigón	0,5000	5,13	2,56	12,0000	30,78
Excavadora	0,1000	46,15	4,62	12,0000	55,38
SUBTOTAL A					162,29
B.- MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Albañil	1,0000	4,72	4,72	12,0000	56,64
Peón	3,0000	4,34	13,02	12,0000	156,24
Fierro	0,5000	5,13	2,56	12,0000	30,78
Carpintero	0,5000	5,13	2,56	12,0000	30,78
Maestro de obra	0,2500	5,64	1,41	12,0000	16,92
SUBTOTAL B					291,36
C.- MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
Hormigón f _c =21 MPa	m³	2,0000	115,00	230,00	
Acero de refuerzo	kg	150,0000	1,25	187,50	
Encofrado reutilizable	m²	20,0000	10,00	200,00	
Enrocado de protección	m³	5,0000	30,00	150,00	
Geotextil no tejido	m²	20,0000	2,00	40,00	
Mortero y accesorios	glb	1,0000	20,00	20,00	
SUBTOTAL C					827,50
D.- TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Costo
No aplica					
SUBTOTAL D					0,00
M = COSTO DIRECTO (A + B + C + D)					1.281,15
N = COSTOS INDIRECTOS 20 %					256,23
O = COSTO TOTAL (M + N)					1.537,38

Anexo 16. APU Reposición de pavimento asfáltico, espesor referencial 5cm

ITEM N°	APU-16	REND	0,1200	UNIDAD	m²
DESCRIPCIÓN	Reposición de pavimento asfáltico, espesor referencial 5 cm				
A.- EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5 % M.O.)	1,0000	0,11	0,11	1,0000	0,11
Rodillo liviano	0,2500	30,77	7,69	0,1200	0,92
Compactador tipo plancha	0,2500	7,18	1,79	0,1200	0,22
SUBTOTAL A					1,25
B.- MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Albañil	1,0000	4,72	4,72	0,1200	0,57
Peón	2,0000	4,34	8,68	0,1200	1,04
Operador de maquinaria	1,0000	4,87	4,87	0,1200	0,58
SUBTOTAL B					2,19
C.- MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
Base granular	m³	0,1500	18,00	2,70	
Mezcla asfáltica	t	0,1200	115,00	13,80	
Emulsión asfáltica	L	0,5000	1,50	0,75	
SUBTOTAL C					17,25
D.- TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Costo
Transporte de mezcla asfáltica	t	0,1200	1,20	10,00	1,44
SUBTOTAL D					1,44
M = COSTO DIRECTO (A + B + C + D)					22,13
N = COSTOS INDIRECTOS 20 %					4,43
O = COSTO TOTAL (M + N)					26,56

Anexo 17. APU Transporte y disposición autorizada de escombros

ITEM N°	APU-17	REND	0,0600	UNIDAD	m³
DESCRIPCIÓN	Transporte y disposición autorizada de escombros				
A.- EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5 % M.O.)	1,0000	0,01	0,01	1,0000	0,01
Retroexcavadora	0,5000	30,77	15,38	0,0600	0,92
SUBTOTAL A					0,93
B.- MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Chofer de volqueta/tanquero	0,2000	4,92	0,98	0,0600	0,06
Peón	0,2000	4,34	0,87	0,0600	0,05
SUBTOTAL B					0,11
C.- MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
Tasa de disposición autorizada	m³	1,0000	1,50	1,50	
SUBTOTAL C					1,50
D.- TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Costo
Volqueta 8 m³	m³	1,0000	0,55	10,00	5,50
SUBTOTAL D					5,50
M = COSTO DIRECTO (A + B + C + D)					8,04
N = COSTOS INDIRECTOS 20 %					1,61
O = COSTO TOTAL (M + N)					9,65

Anexo 18. APU Señalización, control de tránsito y seguridad temporal del frente de obra

ITEM N°	APU-18	REND	8,0000	UNIDAD	día
DESCRIPCIÓN	Señalización, control de tránsito y seguridad temporal del frente de obra				
A.- EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5 % M.O.)	1,0000	4,34	4,34	1,0000	4,34
SUBTOTAL A					4,34
B.- MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Peón	2,0000	4,34	8,68	8,0000	69,44
Técnico SSOMA/ambiental	0,2500	8,72	2,18	8,0000	17,44
SUBTOTAL B					86,88
C.- MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Conos, barreras y señales (amortización diaria)		día	1,0000	30,00	30,00
Cinta, chalecos y consumibles		día	1,0000	5,00	5,00
SUBTOTAL C					35,00
D.- TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Costo
No aplica					
SUBTOTAL D					0,00
M = COSTO DIRECTO (A + B + C + D)					126,22
N = COSTOS INDIRECTOS 20 %					25,24
O = COSTO TOTAL (M + N)					151,47

Anexo 19. APU Riego para control de polvo en el frente de obra

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
ITEM N°	APU-19	REND	2,0000	UNIDAD	día
DESCRIPCIÓN	Riego para control de polvo en el frente de obra				
A.- EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5 % M.O.)	1,0000	0,93	0,93	1,0000	0,93
Tanquero de agua	1,0000	28,72	28,72	2,0000	57,44
SUBTOTAL A					58,37
B.- MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Chofer de volqueta/tanquero	1,0000	4,92	4,92	2,0000	9,84
Peón	1,0000	4,34	4,34	2,0000	8,68
SUBTOTAL B					18,52
C.- MATERIALES					
Descripción		Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Agua para riego		m³	5,0000	0,50	2,50
SUBTOTAL C					2,50
D.- TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Costo
No aplica					
SUBTOTAL D					0,00
M = COSTO DIRECTO (A + B + C + D)					79,39
N = COSTOS INDIRECTOS 20 %					15,88
O = COSTO TOTAL (M + N)					95,26

Anexo 20. APU Jornada de capacitación en seguridad y manejo ambiental

ITEM N°	APU-20	REND	4,000	UNIDAD	evento
DESCRIPCIÓN	Jornada de capacitación en seguridad y manejo ambiental				
A.- EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5 % M.O.)	1,000	1,74	1,74	1,000	1,74
SUBTOTAL A					1,74
B.- MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Técnico SSOMA/ambiental	1,000	8,72	8,72	4,000	34,88
SUBTOTAL B					34,88
C.- MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
Material didáctico y certificados	persona	20,000	2,50		50,00
Equipo audiovisual y logística	evento	1,000	20,00		20,00
SUBTOTAL C					70,00
D.- TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Costo
No aplica					
SUBTOTAL D					0,00
M = COSTO DIRECTO (A + B + C + D)					106,62
N = COSTOS INDIRECTOS 20 %					21,32

Anexo 21. APU Monitoreo ambiental y elaboración de informe mensual

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
ITEM N°	APU-21	REND	1,000	UNIDAD	mes
DESCRIPCIÓN	Monitoreo ambiental y elaboración de informe mensual				
A.- EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5 % M.O.)	1,000	29,44	29,44	1,000	29,44
SUBTOTAL A					29,44
B.- MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Técnico SSOMA/ambiental	40,000	8,72	348,80	1,000	348,80
Especialista ambiental	20,000	12,00	240,00	1,000	240,00
SUBTOTAL B					588,80
C.- MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
Equipos y consumibles de monitoreo	mes	1,000	100,00	100,00	
Impresiones, comunicaciones y archivo	mes	1,000	20,00	20,00	
SUBTOTAL C					120,00
D.- TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Costo
Movilización técnica	viaje	1,000	15,00	10,00	150,00
SUBTOTAL D					150,00
M = COSTO DIRECTO (A + B + C + D)					888,24
N = COSTOS INDIRECTOS 20 %					177,65
O = COSTO TOTAL (M + N)					1.065,89

Anexo 22. APU Barrera temporal para control de sedimentos

ITEM N°	APU-22	REND	0,1000	UNIDAD	m
DESCRIPCIÓN	Barrera temporal para control de sedimentos				
A.- EQUIPO					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Herramienta menor (5 % M.O.)	1,0000	0,04	0,04	1,0000	0,04
SUBTOTAL A					0,04
B.- MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Peón	2,0000	4,34	8,68	0,1000	0,87
SUBTOTAL B					0,87
C.- MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
Geotextil no tejido	m²	1,2000	2,50	3,00	
Estacas de madera	u	0,4000	1,50	0,60	
Alambre y fijaciones	kg	0,1000	2,00	0,20	
SUBTOTAL C					3,80
D.- TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Costo
No aplica					
SUBTOTAL D					0,00
M = COSTO DIRECTO (A + B + C + D)					4,71
N = COSTOS INDIRECTOS 20 %					0,94
O = COSTO TOTAL (M + N)					5,65